



**Evaluación geoespacial de suelos degradados para la elaboración de una
propuesta de remediación en el sector Ontaneda, parroquia Conocoto**

Aguirre Rosales, Esteban Adrián

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del
Medio Ambiente

Ing. Haro Robayo Margarita del Pilar, Mgs.

13 de enero de 2022



AGUIRRE ESTEBAN TESIS FINAL MHR.docx

Scanned on: 14:28 January 14, 2022 UTC



Identical Words	258
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Phrases	0
Orphaned Words	1300

Firma:



MARGARITA DEL
PILAR HARO
ROBAYO

Ing. Haro Robayo Margarita del Pilar, MSc.

DIRECTORA

C.C. 1802278067



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: “Evaluación geoespacial de suelos degradados para la elaboración de una propuesta de remediación en el sector Ontaneda, parroquia Conocoto”, fue realizado por el señor Aguirre Rosales Esteban Adrián; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 11 de enero de 2022

Firma:



Ing. Haro Robayo, Margarita del Pilar, Mgs.

Directora

C.C.: 1902278067



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Responsabilidad de Autoría

Yo, Aguirre Rosales Esteban Adrián, con cédula de ciudadanía n° 1728785710, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "Evaluación geoespacial de suelos degradados para la elaboración de una propuesta de remediación en el sector Ontaneda, parroquia Conocoto", es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 11 de enero de 2022

Firma:

Aguirre Rosales, Esteban Adrián

C.C.: 1728785710



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Autorización de Publicación

Yo, Aguirre Rosales Esteban Adrián, con cédula de ciudadanía n° 1728785710, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "Evaluación geoespacial de suelos degradados para la elaboración de una propuesta de remediación en el sector Ontaneda, parroquia Conocoto", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 11 de enero de 2022

Firma:

Aguirre Rosales, Esteban Adrián

C.C.: 1728785710

Dedicatoria

A mi padre Guido Aguirre, mi madre Irene Rosales, mis hermanos Kevin y Sebastián, que son las personas más importantes en mi vida y gracias a ellos puedo cumplir este gran sueño.

A mis angelitos que están en el cielo, Mi Abuelito Jorge, Mi Mamá Sarita y Mi Tío Luis que siempre será como mi segundo padre. Por todo el apoyo, cariño y enseñanzas que me brindaron.

Esteban

Agradecimiento

A Dios por ser mi guía durante todos estos años; a mi Padre, Madre y Hermanos por el cariño, amor y esfuerzo; a mi Familia por su apoyo incondicional; a mis Profesores por su tiempo y dedicación; a mis Amigos por todos esos momentos y experiencias compartidas; a todos quienes fueron partícipes para que hoy pueda cumplir esta meta tan importante en mi vida.

Un agradecimiento especial a la Ingeniera Margarita, quien por casualidades de la vida fue mi profesora en varias materias, por su apoyo desde el primer momento que le comenté de este proyecto y el tiempo que le ha dedicado al mismo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por abrirme sus puertas para formarme como profesional en la mejor carrera, con los mejores profesores y compañeros.

Esteban

Índice de contenido

Índice de contenido.....	8
Índice de Tablas	12
Índice de Figuras	14
Resumen	15
Abstract.....	16
Capítulo I.....	17
Aspectos Generales	17
Antecedentes	17
Planteamiento del Problema	18
Justificación e importancia.....	20
Objetivos	21
Objetivo General.....	21
Objetivos Específicos	21
Metas	22
Capítulo II.....	23
Marco teórico.....	23
El suelo.....	23
Fertilidad del suelo.....	23
Degradación del suelo.....	24
Textura	24
pH	26
Conductividad eléctrica (CE).....	27

Materia orgánica (MO)	28
Macronutrientes	29
Pruebas rápidas de suelo	32
Métodos de remediación	33
Enmiendas orgánicas	33
Compost	34
Compostaje	34
Muestreo de suelos	37
Muestreo a juicio de experto	37
Muestreo estratificado	38
Muestreo aleatorio simple	38
Muestreo sistemático	38
Cartografía	39
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	39
Capítulo III	40
Metodología	40
Área de estudio	40
Identificación de zonas con suelos degradados	41
Determinación de zonas	41
Puntos de muestreo	42
Pruebas rápidas de suelo	44
Determinación de zonas con suelos degradados	47
Caracterización de la parcela de trabajo	48

	10
Selección de la parcela de trabajo	48
Diseño de muestreo	48
Recoger submuestras de suelo	49
Elaboración muestra compuesta	50
Análisis de la muestra	51
Ensayo de remediación de suelos degradados	52
Evaluación de parámetros	54
Eficiencia	54
Económico	54
Ambiental	55
Propuesta de implementación metodológica	58
Capítulo IV	59
Resultados	59
Identificación de zonas con suelos degradados	59
Determinación de zonas con suelos degradados	59
Caracterización de la parcela de trabajo	63
Ensayo de remediación de suelos degradados	64
Evaluación de parámetros	68
Eficiencia	68
Económico	72
Ambiental	73
Propuesta de implementación metodológica	74
Capítulo V	76

	11
Conclusiones	76
Recomendaciones	77
Referencias Bibliográficas	79
Anexos	83

Índice de Tablas

Tabla 1 Tipos de terreno según su clase textural	26
Tabla 2 Clasificación del suelo según su pH	27
Tabla 3 Efecto de la CE en la vegetación.....	28
Tabla 4 Clasificación según el porcentaje (%) de materia orgánica.....	29
Tabla 5 Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de nitrógeno	29
Tabla 6 Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de fósforo	30
Tabla 7 Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de potasio.....	31
Tabla 8 Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de calcio	31
Tabla 9 Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de magnesio.....	32
Tabla 10 Caracterización agroquímica de estiércol de caballo (horse manure)	37
Tabla 11 Puntos de muestreo para cada zona	42
Tabla 12 Escala de valores para la cuantificación de las pruebas rápidas	48
Tabla 13 Rangos de categorización del nivel de degradación de las zonas	48
Tabla 14 Parámetros de medición del suelo.....	51
Tabla 15 Descripción de la formulación de los ensayos experimentales	52
Tabla 16 Formulación de los ensayos experimentales	52
Tabla 17 Parámetros de medición de los tratamientos.....	54
Tabla 18 Criterios de evaluación ambiental método de CONESA	55
Tabla 19 Calificaciones de los criterios de evaluación ambiental	56
Tabla 20 Rangos de los tipos de impacto ambiental	58
Tabla 21 Resultados pruebas rápidas de las muestras de suelo.....	60

Tabla 22 Nivel de degradación de las zonas del sector.....	62
Tabla 23 Resultados del análisis de la muestra compuesta de la parcela de trabajo	63
Tabla 24 Resultados de los tratamientos del ensayo de remediación	64
Tabla 25 Evaluación de eficiencia de pH.....	68
Tabla 26 Evaluación de eficiencia de Nitrógeno (N)	69
Tabla 27 Evaluación de eficiencia de Fósforo (P)	69
Tabla 28 Evaluación de eficiencia de Potasio (K).....	70
Tabla 29 Evaluación de eficiencia de Calcio (Ca)	70
Tabla 30 Evaluación de eficiencia de Magnesio (Mg).....	70
Tabla 31 Evaluación de eficiencia de Materia Orgánica (MO)	71
Tabla 32 Evaluación económica de los tratamientos.....	73
Tabla 33 Evaluación de impactos ambientales.....	74

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama triangular para la determinación de la textura, clasificación USDA.....	25
Figura 2 Componentes del Rapitest Digital Soil Test 1605	33
Figura 3 Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje	35
Figura 4 Tipos de muestreo	39
Figura 5 Propuesta metodológica	40
Figura 6 Mapa de ubicación y cobertura vegetal Ontaneda-Conocoto.....	41
Figura 7 Recolección de las muestras	45
Figura 8 Secado de las muestras de suelo	45
Figura 9 Prueba rápida de pH.....	46
Figura 10 Prueba rápida de macronutrientes primarios (NPK).....	47
Figura 11 Mapa de ubicación y puntos de muestreo de la parcela de trabajo	49
Figura 12 Recolección de submuestras de suelo.....	50
Figura 13 Elaboración muestra compuesta.....	51
Figura 14 Mapa de zonas y puntos de muestreo Ontaneda-Conocoto.....	59
Figura 15 Mapa de zonas con suelos degradados en el Sector Ontaneda, parroquia Conocoto.....	63
Figura 16 Comparación resultados iniciales y finales de pH	65
Figura 17 Comparación resultados iniciales y finales de macronutrientes primarios.....	66
Figura 18 Comparación resultados iniciales y finales de macronutrientes secundarios.....	67
Figura 19 Comparación resultados iniciales y finales de materia orgánica	68
Figura 20 Brote de vegetación de los tratamientos del ensayo de remediación	72

Resumen

La degradación del suelo se refiere a los procesos naturales o antrópicos que alteran y reducen la capacidad del suelo. El crecimiento urbano ocasiona cambios en el uso del suelo, lo que como consecuencia produce fragmentación y pérdida del suelo agrícola. En la actualidad el Valle de Los Chillos ha evidenciado una rápida expansión urbana que ha generado que los procesos de degradación aumenten, afectando a la producción y el trabajo agrícola. El objetivo del presente proyecto fue identificar zonas con suelos degradados en el sector Ontaneda, parroquia Conocoto para la elaboración de una propuesta de remediación. Mediante reconocimiento de campo y criterios establecidos se determinó 10 zonas de las cuales se obtuvo muestras para realizar pruebas rápidas de suelo, con lo que se categorizó según el nivel de degradación a cada zona y posteriormente se escogió una parcela de trabajo para realizar el ensayo de remediación a partir de enmiendas orgánicas mediante la adición de compost de estiércol de caballo, para lo cual, se definió cinco tratamientos (T) en los que se colocó 0, 5, 10, 25 y 50% de compost respectivamente. Previo a la propuesta metodológica se evaluó la eficiencia, costo e impacto ambiental. Se concluyó que existe una relación directa en la mayoría de casos entre el porcentaje de compost aplicado y los resultados finales del ensayo, los tratamientos T4 y T5 obtuvieron los mejores resultados, por lo cual el factor económico fue determinante para la selección del tratamiento a utilizarse en la propuesta metodológica, mismo que determinó que se debe agregar 13.75 kg de compost de estiércol de caballo por metro cuadrado de suelo a una profundidad aproximada de 5 cm.

PALABRAS CLAVE:

- **DEGRADACIÓN DEL SUELO**
- **EXPANSIÓN URBANA**
- **ENSAYO DE REMEDIACIÓN**
- **ENMIENDAS ORGÁNICAS**
- **PÉRDIDA DE SUELO AGRÍCOLA**

Abstract

Soil degradation refers to natural or anthropic processes that alter and reduce soil capacity. Urban growth causes changes in land use, resulting in fragmentation and loss of agricultural land. At present, Los Chillos Valley has shown a rapid urban expansion that has caused degradation processes to increase, affecting agricultural production and work. The objective of this project was to identify areas with degraded soils in the Ontaneda sector, Conocoto parish, in order to elaborate a remediation proposal. Through field reconnaissance and established criteria, 10 zones were determined from which samples were obtained for quick soil tests, with which each zone was categorized according to the level of degradation and subsequently a work plot was chosen to carry out the remediation trial based on organic amendments through the addition of horse manure compost, for which five treatments (T) were defined in which 0, 5, 10, 25 and 50% of compost were placed respectively. Prior to the methodological proposal, efficiency, cost and environmental impact were evaluated. It was concluded that there is a direct relationship in most cases between the percentage of compost applied and the final results of the trial, treatments T4 and T5 obtained the best results, so the economic factor was decisive for the selection of the treatment to be used in the methodological proposal, which determined that 13.75 kg of horse manure compost should be added per square meter of soil at an approximate depth of 5 cm.

KEYWORDS:

- **SOIL DEGRADATION**
- **URBAN SPRAWL**
- **REMEDICATION TEST**
- **ORGANIC AMENDMENTS**
- **AGRICULTURAL SOIL LOSS**

Capítulo I

Aspectos Generales

Antecedentes

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2002), menciona que la degradación del suelo pone en riesgo la seguridad alimentaria y afecta de forma directa la calidad de vida de los seres humanos en el mundo. El uso y calidad del suelo cambian principalmente por el crecimiento demográfico y económico, teniendo en cuenta que la urbanización tiene un rol importante que ha degradado zonas o áreas cada vez más extensas, provocando pérdida de espacio para el cultivo y a su vez la contaminación en los suelos con exceso de sales, metales pesados y acidez (FAO, 2015).

Además, Pla Sentís (2006) menciona que las consecuencias producidas por la degradación acelerada del suelo tienen similar importancia que las producidas por el calentamiento global y pérdida de biodiversidad, porque los suelos son la base de la producción agrícola y del mantenimiento de los ecosistemas. Por esto en la actualidad se genera la necesidad de la implementación de propuestas de remediación que permitan la recuperación y aprovechamiento sostenible del suelo.

Por otra parte, El Ecuador presenta primordialmente variedad y riqueza en recursos naturales renovables y en particular el suelo, por esto es considerado como un país distinguidamente agrícola; alrededor del 50% del territorio ecuatoriano se ve afectado por problemas de procesos erosivos, de los cuales el 35% se ubican donde se extienden los límites de la frontera agrícola. Se considera que la erosión es el principal aspecto de degradación de los recursos naturales (Gómez *et al.*, 1986). Los desafíos que enfrenta la región andina son conservar suelos idóneos para la agricultura y reducir la degradación de los suelos; el pasado volcánico dentro de esta

región ha originado formaciones edafológicas con características que imposibilitan su cultivo (Palacios *et al.*, 2018).

Además, en Ecuador el crecimiento urbano de las ciudades se ha vuelto menos compacto, es decir se expanden de forma desordenada y con el paso del tiempo en efecto se lo interpreta como poco sustentable. Esto ha generado que las ciudades del país se expandan horizontalmente, es decir, los nuevos residentes no se asientan dentro de las zonas consolidadas de la ciudad (Secretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos [SHAH], 2015). En el transcurso de 1970-2000 a nivel mundial, la tasa de crecimiento de la mancha urbana igualó e incluso superó a la del crecimiento poblacional, en efecto, el desarrollo de las ciudades ha sido de baja densidad (UN-Habitat, 2012).

De igual manera, Mejía (2018), menciona que el valle de Los Chillos es considerado como área de las periferias metropolitanas expandidas de Quito, debido a la búsqueda de acceso a la vivienda o por vivir en el sector rural con la sensación de bienestar. La expansión urbana genera que la producción y el trabajo agrícola se transforme en obtener una renta más lucrativa a través de la urbanización. Como consecuencia se produce la fragmentación y pérdida del suelo agrícola.

Planteamiento del Problema

El suelo es esencial para el crecimiento de las plantas y es un filtro ambiental. El suelo tiene la capacidad de funcionar dentro de los límites del ecosistema con el cual interactúa, por lo tanto, sostiene la productividad, mejora la calidad del agua, y a su vez, mantiene la salud y hábitat humano (Bautista *et al.*, 2004).

La degradación del suelo es considerada una amenaza para la producción agrícola y consecuentemente pone en riesgo la seguridad alimentaria, también es señal de un ecosistema que no tiene la capacidad de ejercer sus principales

funciones ambientales como captar, almacenar y reciclar agua, energía y nutrientes, además el potencial productivo asociado al uso del suelo se convierte en un sistema no sustentable (Oswan, 2014).

Para analizar la degradación del suelo es primordial mencionar sus causas. El ecosistema natural, por medio de los diferentes eventos climáticos extremos y persistentes. Así también, el entorno humano produce este efecto a través de la deforestación, eliminación de la cubierta vegetal y expansión urbana que da lugar a modificaciones en el uso del suelo (Espinoza *et al.*, 2011). Esta última como consecuencia provoca cambios en su cobertura, ya que crece el área urbana y se reducen las zonas agrícolas.

La finalidad de una propuesta de remediación es que sirva como guía para remediar la afectación provocada en suelo dependiendo de sus causas, para este caso el crecimiento urbano, con el objetivo de conservar el medio ambiente en condiciones óptimas para la población (Ordoñez *et al.*, 2015).

El valle de Los Chillos, en los últimos años ha evidenciado una rápida expansión urbana, generando fragmentación y pérdida de suelo agrícola. En el área que se considera urbana de la parroquia Conocoto existe densificación de vivienda, pero en la periferia no ocurre lo mismo y crece sin tener una política de densificación. En la actualidad las zonas periféricas se han vuelto atractivas para la implementación de proyectos por parte del sector inmobiliario provocando una reducción considerable de las zonas agrícolas (Mejía, 2018).

Campaña (2016), menciona que en el sector Ontaneda el precio del metro cuadrado de los proyectos inmobiliarios tuvo un crecimiento a partir del año 2012, lo que ha provocado cambios en el uso del suelo. Además, según la información de cobertura vegetal del DMQ, en el área de estudio menos del 5% corresponde a

áreas cultivadas, mientras aproximadamente el 90% (146 Ha) corresponde a áreas artificiales (Secretaría General de Planificación DMQ, 2021).

Justificación e importancia

El presente trabajo aporta a los objetivos de desarrollo sostenible 1 y 2, que tratan sobre el fin de la pobreza y hambre cero respectivamente, estos objetivos son en beneficio de las naciones y su bienestar (ONU, 2015). A escala local el Plan Nacional para el Buen Vivir plantea objetivos para el desarrollo del país, el Objetivo 6 sobre “Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral” se alinea con el propósito del presente estudio. En la actual Constitución de la República del Ecuador en el Art .28 señala que: uno de los objetivos de la política económica es la de asegurar la soberanía alimentaria, lo que implica incentivar, en iguales condiciones, la producción convencional y la producción agroecológica de la Agricultura Familiar Campesina, a través de la redistribución de factores de producción (SENPLADES, 2017).

Además, FAO (2015b), en uno de sus estudios menciona que los persistentes y elevados niveles de hambre y malnutrición dieron como resultados 793 millones de personas que sufrieron hambre crónica en el período 2014-2016. Además, propone a la agricultura sostenible como una opción importante para garantizar la seguridad alimentaria en el mundo y también promover la gestión sostenible del suelo, agua y los recursos naturales.

Por otra parte, la recuperación de suelos es esencial, en la actualidad los métodos de remediación físicos que son costosos, están siendo reemplazados por métodos basados en evidencia científica y de bajo costo como la implementación de enmiendas orgánicas (Rodríguez *et al.*, 2018).

Por este motivo, la importancia del presente proyecto radica en la evaluación geoespacial en el área de estudio aplicando los Sistemas de Información Geográfica y reconocimiento en campo, que permitirán la delimitación de zonas para realizar pruebas rápidas de macronutrientes primarios para la identificación de suelos degradados. Posteriormente, se evaluará el método de remediación a partir de enmiendas orgánicas. En base a los resultados se elaborará la propuesta de remediación para suelos degradados.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar espacial, física y químicamente los suelos degradados para la elaboración de una propuesta de remediación en el sector Ontaneda, parroquia Conocoto.

Objetivos Específicos

- Identificar zonas con suelos degradados en el sector Ontaneda (162 Ha) mediante pruebas rápidas de pH y macronutrientes primarios (NPK) para su representación aplicando los Sistemas de Información Geográfica y selección de la parcela de trabajo.
- Realizar la caracterización del suelo de la parcela de trabajo mediante la determinación de los parámetros pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, materia orgánica.
- Aplicar el ensayo de remediación a partir de enmiendas orgánicas para su posterior evaluación teniendo en cuenta parámetros técnicos, económicos y ambientales.
- Realizar una propuesta metodológica escrita que describa el proceso de remediación de suelos degradados en base a la evaluación de los resultados obtenidos.

Metas

- Mapa de zonas con suelos degradados en el Sector Ontaneda, Parroquia Conocoto (1: 10000).
- Tabla de resultados obtenidos del análisis de las muestras y caracterización de la parcela de trabajo.
- Tablas comparativas de los resultados obtenidos del ensayo de remediación.
- Propuesta de implementación metodológica de remediación de suelos degradados a partir de enmiendas orgánicas.

Capítulo II

Marco teórico

El suelo

FAO (2020), lo define como una capa delgada compuesta por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Formada lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren sobre el suelo, ya que son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo. De ahí que, debido a su lenta regeneración, surge la necesidad de la aplicación de técnicas de remediación como las que se plantea en este proyecto.

Las sustancias presentes en el suelo deben encontrarse en equilibrio, tanto los microorganismos y la materia orgánica aportan nutrientes al suelo, y crean las condiciones adecuadas para el desarrollo de las raíces de la planta (Lanly, 1996).

Fertilidad del suelo

El óptimo crecimiento de un cultivo relacionado con la nutrición vegetal, depende de la capacidad que tiene el suelo para suministrar los elementos nutritivos, en la cantidad y momento adecuados a las exigencias de los mismos. La capacidad de abastecer las necesidades del cultivo en relación con la capacidad del suelo se denomina fertilidad del suelo. En este sentido, los suelos de cultivo se pueden encuadrar dentro de alguno de los siguientes grupos (Báscones, 2004).

- **Suelos ricos**, en los que los cultivos no presentan una respuesta significativa ante el aporte de fertilizantes
- **Suelos medios**, según las situaciones (clima, suelo y cultivos) presentan o no respuestas significativas al aporte de fertilizantes

- **Suelos pobres**, en los que siempre hay una respuesta positiva de los cultivos al abonado.

Degradación del suelo

La importancia del suelo en el crecimiento de las plantas o cultivos radica en que es el encargado de captar, retener y emitir el agua, además de que sirve como filtro ambiental. Con respecto al ecosistema el suelo tiene la capacidad de sostener la productividad y mejorar la calidad del aire y agua, y con esto mejorar las condiciones de vida de las personas y su hábitat (Bautista *et al.*, 2004).

Cuando el suelo empieza a perder su capacidad de cumplir con lo antes mencionado, el potencial productivo se vuelve un sistema poco sustentable, y por ende es una señal que existe degradación en el suelo. Por lo tanto, la degradación del suelo es un indicador del cambio de rendimiento de la capacidad que tiene el suelo para cumplir con funciones ambientales, producir material vegetal (Oswan, 2014).

Báscones (2004) menciona que uno de los procedimientos para estimar el nivel de fertilidad y degradación de un sector es el análisis de suelo, donde las determinaciones más frecuentes e importantes son la textura, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y macronutrientes.

Textura

Expresa en proporciones los diferentes tamaños de las partículas inorgánicas que contiene una muestra de suelo. La fracción textural es el conjunto de partículas cuyos tamaños están comprendidos dentro de cierto intervalo (Báscones, 2004).

- Tierra gruesa: partículas > 2 mm
- Tierra fina: partículas < 2 mm

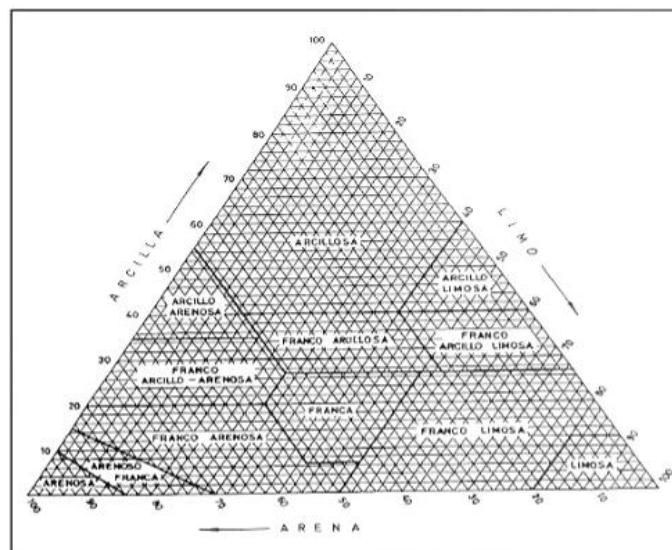
En la macrofracción tierra fina se distinguen tres fracciones texturales: arcilla, limo y arena, que según la clasificación USDA (Departamento de Agricultura de USA) son:

- Arena: partículas entre 2,0 y 0,05 mm
- Limo: partículas entre 0.05 y 0.002 mm
- Arcilla: partículas < 0.002 mm

Mediante el método de Bouyoucos se puede obtener los porcentajes de arena, arcilla y limo, y con esto determinar su clase textural mediante del uso del triángulo textural (Ver Figura 1).

Figura 1

Diagrama triangular para la determinación de la textura, clasificación USDA.



Nota: Tomado de Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico, por Ciancaglini, 2010.

Las diferentes clases texturales se agrupan en tres categorías que definen el tipo de terreno (Ver Tabla 1).

Tabla 1*Tipos de terreno según su clase textural*

		Tipo de terreno		
		Ligero	Medio	Fuerte
TEXTURA		Arenosa	Franco-Arenosa	Franco-Arcillosa
		Arenosa-Franca	Franco-Arcillo-Arenosa	Franco-Arcillo-Limosa
			Franco-Limosa	Arcillosa
			Franca	Arcillo-Arenosa
			Limosa	

Nota: Tomado de *Análisis de suelo y consejos de abonado*, por Báscones, 2004.

En los terrenos ligeros las características físicas del suelo, tienen poca capacidad de retención de agua, elevada permeabilidad, buen drenaje y desde el punto de vista químico son suelos inertes, lavadas y de pH ácido. Por otra parte, los terrenos medios presentan propiedades intermedias entre ligeros y fuertes (son los más adecuados para el desarrollo de cultivos). Por último, los terrenos fuertes son suelos que tienen la capacidad de retener gran capacidad de agua, pero tienen menor permeabilidad, aireación y drenaje, desde el punto de vista químico son suelos fértiles, con elevada capacidad de intercambio catiónico y de pH básico (Báscones, 2004).

pH

El pH expresa la concentración de iones hidrógeno que están presentes en la solución del suelo, es decir el grado de acidez de un suelo. En la escala (0-14), el valor cuando un suelo es neutro es 7, siendo básicos todos aquellos que tienen valores mayores a 7, y ácidos cuando tienen valores inferiores a éste (Báscones, 2004). En la Tabla 2 se muestra la clasificación según el pH que tenga el suelo.

Tabla 2*Clasificación del suelo según su pH*

pH	Valoración	Observación
$\text{pH} \leq 5,5$	Muy ácido	Dificultad de desarrollo de la mayoría de cultivos, y deficiente retención de nutrientes
$5,5 < \text{pH} \leq 6,5$	Ácido	
$6,5 < \text{pH} \leq 7,5$	Neutro	Intervalo óptimo para los cultivos
$7,5 < \text{pH} \leq 8,5$	Alcalino	
$\text{pH} > 8,5$	Muy Alcalino	Dificultad de desarrollo de la mayoría de cultivos, posible aparición de clorosis férrica

Nota: Tomado de *Análisis de suelo y consejos de abonado*, por Báscones, 2004.

El pH es importante en las propiedades desde suelo porque regula las propiedades químicas del suelo e influye sobre las propiedades biológicas del suelo donde deben presentar un pH óptimo para el desarrollo y crecimiento de cultivos, por lo general debe ser un pH próximo a la neutralidad ($6,5 < \text{pH} < 7,5$) (Báscones, 2004).

Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. La conductividad eléctrica es proporcional al contenido de sales disueltas, por lo que, está directamente relacionada con la suma de cationes y aniones y presenta una estrecha relación con los sólidos totales disueltos (Región de Murcia, 2013).

Las sales presentes en el suelo afectan la vegetación dada la inherente toxicidad de algunos iones y el aumento de la presión osmótica que dificulta la absorción de agua por parte de las raíces de la planta. De acuerdo al valor de CE del suelo, se puede predecir el efecto sobre la vegetación como se muestra en la Tabla 3 (Rueda *et al.*, 2009).

Tabla 3*Efecto de la CE en la vegetación*

CE (dS/m)	Grado	Efecto en la vegetación
0 – 2	Nula	Ninguno
2 – 4	Escasa	Afectación en cultivos muy sensibles
4 – 8	Moderada	Únicamente se desarrollan plantas tolerantes
8 – 16	Alta	Únicamente y con dificultad se desarrollan plantas muy tolerantes
> 16	Excesiva	Únicamente se desarrolla vegetación halófila

Nota: Tomado de *La salinidad: ¿un problema o una opción para la agricultura?*, por Rueda *et al.*, 2009.

Materia orgánica (MO)

La materia orgánica que aparece en el suelo natural está constituida por la mezcla de microorganismos y restos vegetales y animales, en diferente grado de descomposición, se expresa en porcentaje (%) y se caracteriza por tener buena capacidad de intercambio catiónico, además tiene un rol importante para evitar la erosión del suelo (Báscones, 2004). El contenido en M.O. es más elevado, en general, en los primeros centímetros del suelo (primeros 5 cm de profundidad en zonas naturales y unos 10 cm en zonas cultivadas), disminuyendo en profundidad primero drásticamente y después paulatinamente hasta llegar casi a desaparecer a los 30-60 cm según el caso (Garrido, 1993).

El contenido de materia orgánica en la parte superior de los suelos cultivados suele variar por lo general entre 1 y 3%. Cuando se analiza este contenido a lo largo del perfil del suelo, se comprueba que por lo general disminuye con la profundidad (Báscones, 2004).

Según Agrinova (2020), existen 7 clases dependiendo el porcentaje de materia orgánica que tenga el suelo como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación según el porcentaje (%) de materia orgánica

Clase	Porcentaje (%)
Extremadamente pobre	0,00-0,60
Pobre	0,61-1,20
Medianamente pobre	1,21-1,80
Mediano	1,81-2,40
Medianamente rico	2,41-3,00
Rico	3,01-4,20
Extremadamente rico	Mayor a 4,20

Macronutrientes

Se definen como los elementos que se necesitan en cantidades considerables para garantizar el óptimo crecimiento y estabilidad de las plantas.

Están conformados por dos grupos:

Macronutrientes primarios

- **Nitrógeno (N):** Una vez que el nitrógeno se incorpora al suelo, por lo general su acumulación es de forma orgánica, dicha forma no es asimilable por la planta de manera directa, sino hasta después del proceso de mineralización donde se transforma en nitrógeno mineral. Además, el nitrógeno mineral del suelo se presenta en forma amoniacal (N-NH_4^+) y nítrica (N-NO_3^-). Los cultivos asimilan tanto las dos formas y la superioridad de una u otra depende de la especie cultivada y de las condiciones del medio (Báscones, 2004). Los criterios de interpretación según su contenido de nitrógeno se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de nitrógeno

Nivel de Nitrógeno (N)	(ppm)
Bajo	<30
Medio	31-60
Alto	>60

Nota: Tomado de *Primer Curso Nacional de Leguminosas de Grano*, por INIAP, 1974.

- **Fósforo (P):** El fósforo en el suelo se encuentra combinado formando parte de diferentes fosfatos minerales y orgánicos, además, se combina con ácidos orgánicos. En la solución del suelo se presentan diferentes especies iónicas del ácido fosfórico. El método oficial para la determinación del fósforo lábil del suelo es el método Olsen (Báscones, 2004). La interpretación de la fertilidad del suelo, en función de la respuesta que los diferentes sistemas de cultivos ofrecen en las distintas clases de suelos, puede hacerse siguiendo las directrices que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6

Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de fósforo

Nivel de Fósforo (F)	(ppm)
Bajo	<15
Medio	16-30
Alto	>30

Nota: Tomado de *Primer Curso Nacional de Leguminosas de Grano*, por INIAP, 1974.

- **Potasio (K):** En la fracción mineral del suelo existe potasio combinado en diferentes silicatos que forman parte de las rocas de origen magmático y de las arcillas. También aparece potasio en compuestos de origen sedimentario, en forma de cloruros y sulfatos que, por su menor dureza y mayor solubilidad, se meteorizan más fácilmente que los silicatos. Las plantas absorben el potasio (K^+) por vía radicular a partir de la solución del suelo (Báscones, 2004). La interpretación de la fertilidad del suelo en potasio asimilable puede hacerse siguiendo los criterios que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de potasio

Nivel de Potasio (K)	(meq/100g)
Bajo	<0.19
Medio	0.19-0.38
Alto	>0.38

Nota: Tomado de *Primer Curso Nacional de Leguminosas de Grano*, por INIAP, 1974.

Macronutrientes Secundarios

- **Calcio (Ca):** El calcio en el suelo se encuentra combinado en compuestos minerales y orgánicos. Existen además calcio iónico (Ca^{2+}) fijado sobre el complejo adsorbente o libre en la solución del suelo. En el complejo de cambio suele ser el catión más abundante. El calcio en el suelo es importante debido a que es necesario para una buena estructura, regula las posibilidades de solubilizar el resto de elementos, es antagónico del hidrógeno, por lo que los suelos ricos en Ca presentan un pH básico y, además, es necesario para la nutrición de las plantas y permite aumentar la velocidad de descomposición de la materia orgánica (Báscones, 2004). La interpretación de la fertilidad cálcica del suelo se la puede realizar como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 8

Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de calcio

Nivel de Calcio (Ca)	(meq/100g)
Bajo	<0.20
Medio	0.21-0.70
Alto	>0.71

Nota: Tomado de *Primer Curso Nacional de Leguminosas de Grano*, por INIAP, 1974.

- **Magnesio (Mg):** El magnesio se encuentra presente en el suelo principalmente en forma mineral como silicatos, carbonatos, sulfatos y cloruros. La planta puede absorber el Mg^{2+} de la solución del suelo, por vía radicular. El conocimiento del contenido en magnesio del suelo, es necesario

para caracterizar su capacidad para alimentar los cultivos (Báscones, 2004). La interpretación de la fertilidad magnésica del suelo se la puede realizar como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido de magnesio

Nivel de Magnesio (Mg)	(meq/100g)
Bajo	<0.33
Medio	0.33-0.66
Alto	>0.66

Nota: Tomado de *Primer Curso Nacional de Leguminosas de Grano*, por INIAP, 1974.

Pruebas rápidas de suelo

La mayoría de los métodos de análisis rápido de nutrientes disponibles para el suelo se basan en principios de colorimetría. El kit de pruebas rápidas de suelo está diseñado para simplificar metodologías y proporcionar resultados cualitativos precisos. Por lo tanto, en los métodos de prueba colorimétricos, los diferentes nutrientes se indican mediante diferentes reacciones de color o turbidez. Los procedimientos se basan en protocolos de laboratorio estándar, pero se puede realizar pruebas de pH, nitrógeno, fósforo y potasio en menor tiempo (Dimkpa *et al.*, 2017). El Rapitest Digital Soil Test 1605 tiene un sistema cuyo componente principal es la cámara de prueba óptica del suelo, ya que esta reconocerá el tono de color específico para el pH y macronutrientes primarios (NPK). Las pruebas se realizan en cuatro tubos de ensayo codificados por colores al igual que las cápsulas de cada reactivo como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Componentes del Rapitest Digital Soil Test 1605



Nota: Tomado de *Rapitest Digital Soil Test 1605 Report*, por Luster leaf, 2020.

Métodos de remediación

United States Environmental Protection Agency (US EPA, 2000), define a los métodos de remediación como las actividades y procesos que se realizan en conjunto con el objetivo de regresar lo que más se pueda a la condición inicial un recurso, para este proyecto se tomó en cuenta el método de remediación a partir de enmiendas orgánicas.

Enmiendas orgánicas

El fin de la aplicación de una enmienda en el suelo es el mejoramiento de su calidad, por la adición de sustancias que complementan la falta de nutrientes y componentes orgánicos o fisicoquímicos. Este método al aplicar las enmiendas busca remediar parámetros como el pH, nutrientes y mejorar la estructura del suelo. Los principales compuestos orgánicos que se adicionan en el suelo son el compost y el humus, debido a que contribuyen mejorando la capacidad de intercambio catiónico, aumentan los nutrientes, mejoran la estructura y ayudan a la retención de agua por parte del suelo (Bonnet, 1960).

Compost

El compost es un abono orgánico, obtenido a partir de la descomposición controlada de la materia orgánica. El compost en general se utiliza para garantizar que las plantas cuenten con una reserva suficiente de las sustancias nutritivas que necesitan, además que actúa en favor de la absorción y retención de agua, de la circulación del aire y hace que los cambios bruscos de temperatura y humedad tengan un menor impacto en el desarrollo de las plantas (Amigos de la Tierra, 2004).

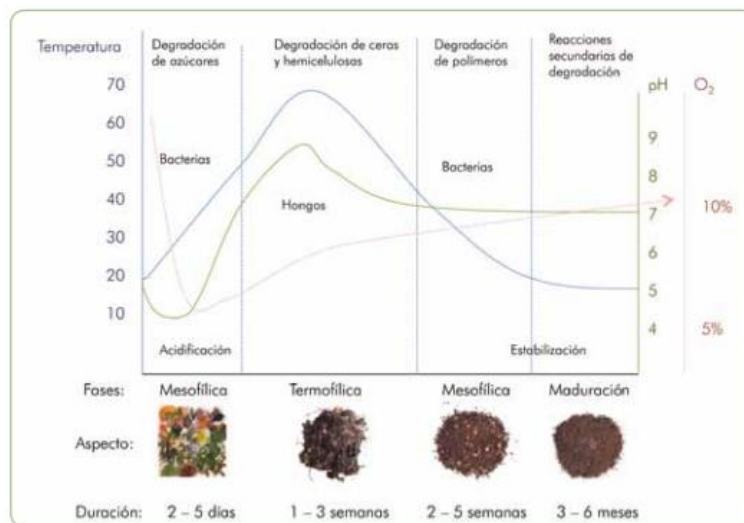
La gran cantidad de residuos orgánicos generados en los procesos agrícolas puede convertirse en un gran problema ambiental, ya que por lo general no se les da un uso o tratamiento adecuado, y lo más común es quemar o enterrar dichos residuos, en ese sentido es importante tener presente que todos aquellos residuos orgánicos generados de la poda, cosecha, estiércol de animales, frutos caídos, entre otros pueden entrar en un proceso de compostaje (FAO, 2013).

Compostaje

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Se debe tener principal atención en el control de pH, humedad y temperatura, ya que son los factores que garantizan que ocurra una transformación de los restos orgánicos en el material que se debe utilizar en las plantas (FAO, 2013) (Ver Figura 3).

Figura 3

Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje



Nota: Tomado de *Manual de compostaje del agricultor: Experiencia América Latina*, por FAO, 2013.

El compostaje se encuentra formado por una serie de procesos metabólicos que realizan los microorganismos, que utilizan el nitrógeno y carbono existentes para producir su propia biomasa, para lo cual es necesario la presencia de oxígeno. Además, dichos microorganismos son generadores de calor y propiamente del compost, que, aunque tienen menor cantidad de nitrógeno y carbono, es más estable (FAO, 2013).

Según FAO (2013), el compostaje se encuentra formado por tres fases principales y una de maduración, mismas que se caracterizan por la temperatura obtenida y generada durante el proceso:

- **Fase mesófila:** En esta primera fase, debido principalmente a la gran cantidad de actividad microbiana la temperatura alcanza los 45°C a los pocos días, teniendo en cuenta que la temperatura inicial de compostaje es a temperatura ambiente (FAO, 2013).

- **Fase termófila o de higienización:** Esta fase del compostaje empieza cuando el material supera los 45°C, ya que las bacterias termófilas reemplazan a los microorganismos mesófilos, lo que hace que las fuentes complejas de carbono se degraden fácilmente. A partir de los 60°C el nitrógeno se transforma en amoníaco haciendo que el pH aumente, por lo cual, es importante llevar un control constante del mismo. Existen ciertos factores determinantes en el tiempo de duración de esta fase (días o semanas) como las condiciones climáticas, la calidad del material inicial, factores relacionados al lugar, entre otros (FAO, 2013).
- **Fase de enfriamiento o mesófila II:** En esta fase la temperatura entra en una etapa de descenso que puede llegar 40-45°C y por lo general el pH es ligeramente alcalino. Dependiendo de los factores determinantes antes mencionados, el número de semanas de duración puede variar, por lo que hay que procurar identificar cuando termina para que no se confunda con la fase de maduración (FAO, 2013).
- **Fase de maduración:** Esta fase a temperatura ambiente por lo general tiene una duración de dos meses, durante este tiempo se producen reacciones secundarias de las cuales se forman los ácidos húmicos y fúlvicos, que son producto de la descomposición de la materia orgánica y compuestos nitrogenados (FAO, 2013).

El estiércol animal se ha convertido en un activo valioso y altamente rentable, ya que permite sacarle el mejor provecho y rentabilidad a los desechos que generan los animales principalmente caballos, ovejas, cabras, vacas y cerdos (Pineda, 2020).

Los principales beneficios de utilizar el compost de estiércol animal son la fertilización natural del suelo, mayor producción de los cultivos, reciclaje de nutrientes, alternativa a los fertilizantes químicos, soporta el crecimiento de microorganismos del suelo, reducción de la erosión, ecológico con los recursos

naturales, alivia el impacto de la industria contaminante, flora microbiana con gran valor y muchos otros aportes (Pineda, 2020). En el presente estudio se va utilizar el estiércol de caballo como enmienda orgánica para los ensayos que se realizarán en el suelo. La caracterización agroquímica elaborada por Albuquerque (2009) (C1) y la obtenida mediante el análisis realizado en el compost utilizado para los ensayos de remediación (C2), se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Caracterización agroquímica de estiércol de caballo (horse manure)

Parámetros	C1	C2
Materia Orgánica (%)	57.8	20.2
pH	7.24	7.10
N (g/kg)	15.3	13.6
P (g/kg)	2.3	5.8
K (g/kg)	21.2	6.0
Ca (g/kg)	58.6	12.7
Mg (g/kg)	14.9	4.6

Muestreo de suelos

El muestreo del suelo es una de las etapas primordiales para saber las condiciones en las que se encuentra, los tipos de muestreo más utilizados son el muestreo a juicio de experto, aleatorio estratificado, aleatorio simple y sistemático.

Muestreo a juicio de experto

Como lo indica su nombre este tipo de muestreo tiene validez cuando un experto en base a su criterio y experiencia determina los elementos que se van a muestrear y su ubicación. Entre los principales beneficios se encuentran su bajo costo, su fácil realización, la optimización del tiempo y que se puede realizar indistintamente del tipo de zona que se vaya a muestrear (INECC, 2015; Mason, 1992).

Muestreo estratificado

Es necesario que exista información anticipada de la zona que se va a muestrear, para de esta forma poder subdividir un área en estratos que presenten cierta homogeneidad o similitud con respecto a un parámetro específico (Figura 4) (a). Posteriormente por lo general se realiza un muestreo aleatorio simple, para extraer las características principales independientemente del estrato al que pertenece. Es recomendable utilizar este tipo de muestreo en zonas homogéneas cuyas áreas superen las 10 hectáreas (Mason, 1992; Valencia & Hernández, 2002).

Muestreo aleatorio simple

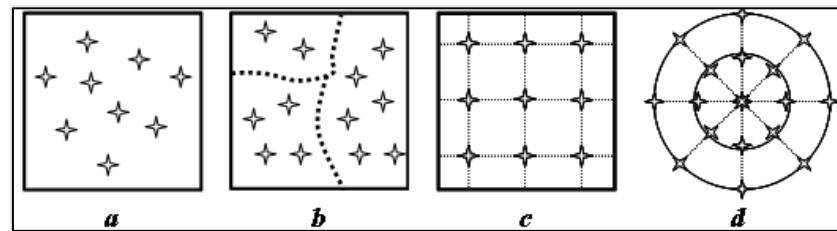
Es recomendable utilizarlo cuando existe poca información del lugar que se desea muestrear, se encuentra basado en la teoría de las probabilidades, por lo cual es necesario un análisis estadístico. Todos los puntos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados (Figura 4) (b), por lo general se utiliza de manera directa las herramientas que incorporan ciertos programas. Es recomendable utilizar este tipo de muestreo en zonas homogéneas cuyas áreas no superen las 10 hectáreas (Valencia & Hernández, 2002).

Muestreo sistemático

El uso de este tipo de muestreo es independiente del área de muestreo, ya que se basa en colocar de manera regular o a una misma distancia los puntos, lo que hace que se reduzca la variabilidad de las muestras (INECC, 2015; Mason, 1992). Por lo general se lo coloca en forma de red rígida o de manera polar como se observa en la Figura 4 (c y d) (INECC, 2015; Valencia & Hernández, 2002).

Figura 4

Tipos de muestreo



Nota: a) Aleatorio simple, b) Aleatorio estratificado, c) Sistemático rejilla y d) Sistemático polar Tomado de *Capítulo tercero: Muestreo y caracterización de un sitio*, por Instituto Nacional Ecología y Cambio Climático (INECC, 2015).

Cartografía

Ciencia que consiste en representar en forma convencional la superficie terrestre sobre un plano, utilizando un sistema de proyección y una relación de proporcionalidad (escala) entre el terreno y el mapa (Blanco, 2014). Luque (2011), menciona que el uso de mapas permite realizar un análisis geográfico temático de diferentes variables espaciales, ilustrar gráficamente áreas de los que se tenga interés y mostrar la pluralidad de ámbitos temáticos, en este caso la degradación del suelo en el área de estudio.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG tienen varias funciones como el almacenamiento de datos espaciales, la visualización de esos datos en forma de mapas, permite realizar análisis con el fin de verificar hipótesis, también la generación o aplicación de modelos estadísticos o físicos y la digitalización principalmente en base a cartas topográficas e imágenes georreferenciadas como para el caso del presente estudio (Sarria, 2004).

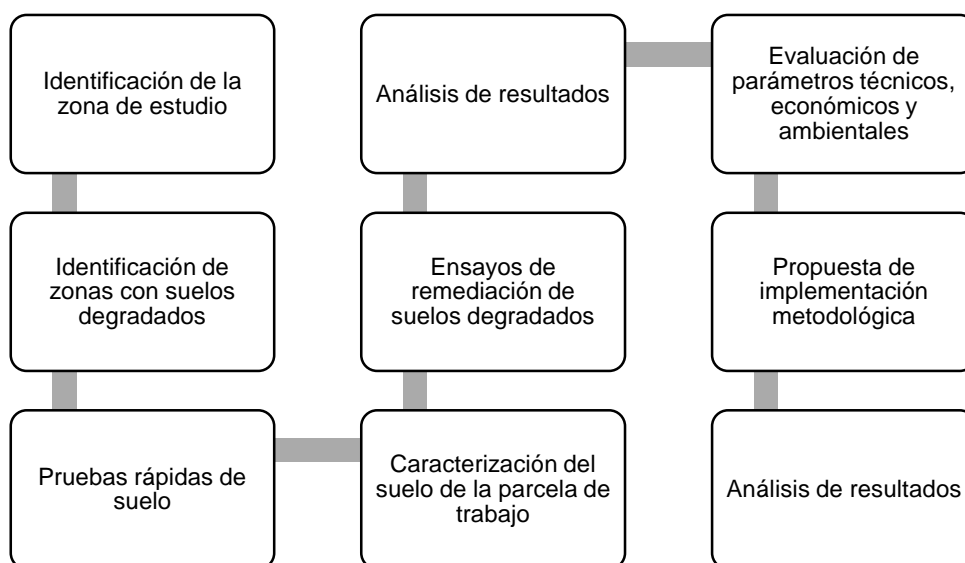
Capítulo III

Metodología

En la Figura 5, se presenta un esquema de la propuesta metodológica que comprende recopilación, identificación, tratamiento, procesamiento, y análisis de la información y de las muestras:

Figura 5

Propuesta metodológica

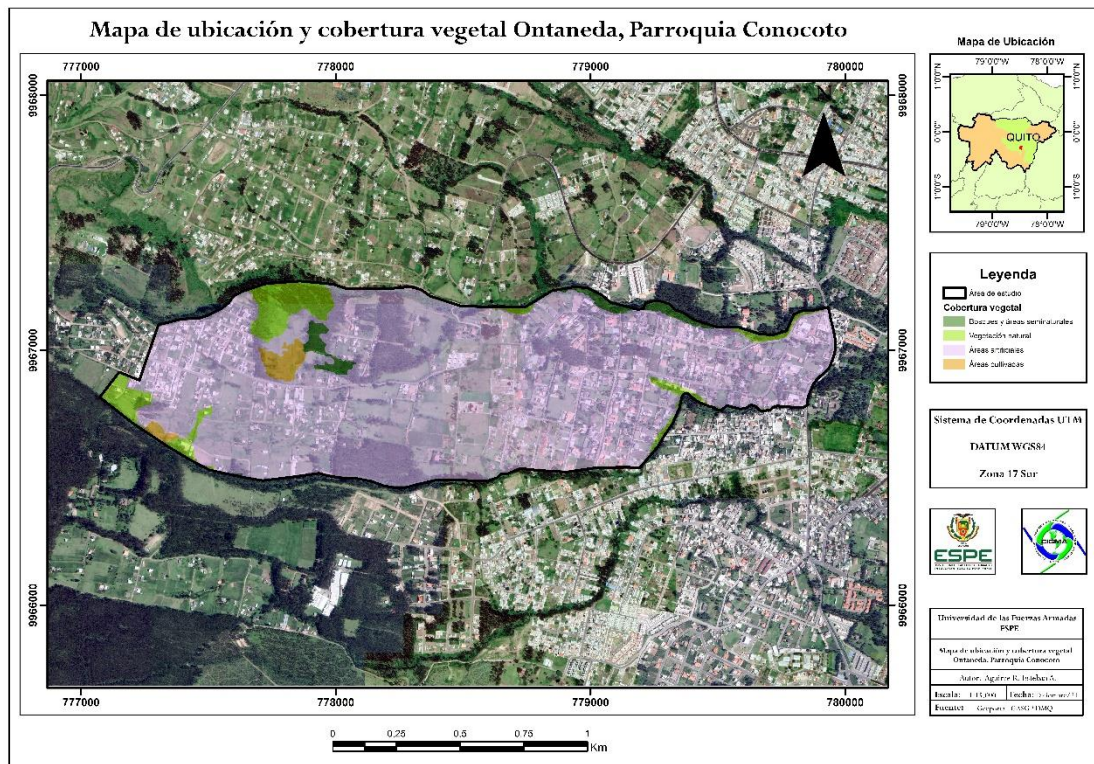


Área de estudio

El área de estudio del trabajo de titulación se encuentra localizada en la provincia de Pichincha, Cantón Quito, Parroquia de Conocoto, Sector Ontaneda, tiene un área de aproximadamente 162 Ha. Según la información de cobertura vegetal (Nivel 1) disponible en el Geoportal Gobierno Abierto de la Secretaría General de Planificación del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en el área de estudio el 90% (146 Ha) corresponde a áreas artificiales, es decir que han existido cambios de cobertura y uso del suelo principalmente por acción antrópica (Ver Figura 6).

Figura 6

Mapa de ubicación y cobertura vegetal Ontaneda-Conocoto



Nota: Elaboración propia, información tomada del *Geoportal Gobierno Abierto de la Secretaría General de Planificación DMQ*, 2021.

Identificación de zonas con suelos degradados

Determinación de zonas

Para la determinación de 10 zonas dentro del área de estudio se digitalizó sectores sobre la imagen georreferenciada del lugar, después se realizó reconocimiento de campo de los mismos, las zonas cumplieron con los siguientes criterios:

- Las zonas se ubican donde no existan conjuntos residenciales, urbanizaciones o zonas consolidadas.
- Tienen que estar en sitios de fácil acceso para extraer muestras de suelo.
- Evitar que los bosques formen parte de las zonas.
- Las zonas deben tener un área de máximo 8 ha.

Puntos de muestreo

En base a la Norma mexicana NOM-021-RECNAT-2000, mediante muestreo aleatorio simple se determinó 10 puntos de muestreo para cada zona los cuales se muestran en la Tabla 11, para posteriormente extraer las muestras de suelo (Ver Anexo 1).

Tabla 11

Puntos de muestreo para cada zona

Zona	Muestra	Código	Coord. Este	Coord. Norte
1	1	Z01-M01	777731,919	9966922,554
	2	Z01-M02	777734,428	9967185,816
	3	Z01-M03	777860,423	9967044,161
	4	Z01-M04	777853,341	9966961,297
	5	Z01-M05	777876,043	9967123,039
	6	Z01-M06	777788,187	9966928,714
	7	Z01-M07	777752,875	9967087,949
	8	Z01-M08	777796,878	9967083,056
	9	Z01-M09	777752,524	9967160,463
	10	Z01-M10	777788,148	9967009,911
2	1	Z02-M01	778069,765	9967180,225
	2	Z02-M02	778009,496	9966989,400
	3	Z02-M03	778104,208	9967019,434
	4	Z02-M04	777902,292	9966976,928
	5	Z02-M05	778039,267	9966991,030
	6	Z02-M06	777891,374	9966886,712
	7	Z02-M07	777928,592	9966916,086
	8	Z02-M08	778101,452	9967055,268
	9	Z02-M09	778106,617	9966945,101
	10	Z02-M10	778147,305	9967194,901
3	1	Z03-M01	778378,670	9967099,998
	2	Z03-M02	778624,265	9967133,425
	3	Z03-M03	778333,156	9967231,135
	4	Z03-M04	778323,187	9967147,197
	5	Z03-M05	778406,114	9966951,269
	6	Z03-M06	778345,887	9967018,207
	7	Z03-M07	778316,655	9967088,855
	8	Z03-M08	778546,640	9967005,578
	9	Z03-M09	778405,602	9967063,036
	10	Z03-M10	778511,233	9967122,541
4	1	Z04-M01	778573,432	9966846,728
	2	Z04-M02	778524,719	9966533,582
	3	Z04-M03	778531,747	9966743,728
	4	Z04-M04	778592,555	9966804,535
	5	Z04-M05	778594,389	9966725,633

Zona	Muestra	Código	Coord. Este	Coord. Norte	
	6	Z04-M06	778498,930	9966915,415	
	7	Z04-M07	778593,283	9966951,414	
	8	Z04-M08	778539,687	9966566,963	
	9	Z04-M09	778484,949	9966705,538	
	10	Z04-M10	778509,689	9966591,730	
	5	1	Z05-M01	778392,779	9966687,548
		2	Z05-M02	778382,167	9966754,146
		3	Z05-M03	778373,183	9966874,772
		4	Z05-M04	778448,987	9966601,476
		5	Z05-M05	778426,342	9966825,650
6		Z05-M06	778412,219	9966890,170	
7		Z05-M07	778369,365	9966525,712	
8		Z05-M08	778381,215	9966626,672	
9		Z05-M09	778426,059	9966537,411	
10		Z05-M10	778449,805	9966771,122	
6	1	Z06-M01	778290,562	9966759,455	
	2	Z06-M02	778288,552	9966789,146	
	3	Z06-M03	778256,732	9966646,876	
	4	Z06-M04	778176,091	9966763,465	
	5	Z06-M05	778187,475	9966688,729	
	6	Z06-M06	778032,117	9966672,703	
	7	Z06-M07	778217,100	9966837,004	
	8	Z06-M08	778085,711	9966762,041	
	9	Z06-M09	778049,391	9966700,807	
	10	Z06-M10	778077,092	9966845,183	
7	1	Z07-M01	777907,583	9966645,876	
	2	Z07-M02	778005,065	9966831,283	
	3	Z07-M03	777971,500	9966712,796	
	4	Z07-M04	777898,524	9966828,376	
	5	Z07-M05	777849,011	9966525,826	
	6	Z07-M06	777885,187	9966808,953	
	7	Z07-M07	777872,311	9966607,658	
	8	Z07-M08	777959,204	9966561,871	
	9	Z07-M09	777994,630	9966740,742	
	10	Z07-M10	777964,255	9966838,909	
8	1	Z08-M01	777711,669	9966820,046	
	2	Z08-M02	777823,174	9966649,066	
	3	Z08-M03	777778,390	9966574,881	
	4	Z08-M04	777670,459	9966576,772	
	5	Z08-M05	777704,917	9966747,701	
	6	Z08-M06	777796,676	9966695,991	
	7	Z08-M07	777734,135	9966697,396	
	8	Z08-M08	777805,285	9966619,479	
	9	Z08-M09	777820,667	9966694,651	
	10	Z08-M10	777782,402	9966789,078	
9	1	Z09-M01	777500,521	9966695,375	
	2	Z09-M02	777570,675	9966551,039	
	3	Z09-M03	777546,021	9966555,441	
	4	Z09-M04	777574,979	9966649,219	

Zona	Muestra	Código	Coord. Este	Coord. Norte
	5	Z09-M05	777589,873	9966707,734
	6	Z09-M06	777569,598	9966593,495
	7	Z09-M07	777415,026	9966715,990
	8	Z09-M08	777636,649	9966595,841
	9	Z09-M09	777371,824	9966654,830
	10	Z09-M10	777463,872	9966625,657
	1	Z10-M01	777643,022	9966847,898
	2	Z10-M02	777633,179	9966882,610
	3	Z10-M03	777652,663	9966731,892
	4	Z10-M04	777401,500	9966767,363
10	5	Z10-M05	777561,622	9966816,952
	6	Z10-M06	777436,458	9966829,552
	7	Z10-M07	777473,559	9966882,114
	8	Z10-M08	777674,755	9966874,730
	9	Z10-M09	777590,323	9966816,740
	10	Z10-M10	777588,668	9966740,892

Pruebas rápidas de suelo

Para realizar las pruebas rápidas de suelo se utilizó la metodología especificada en el manual de uso del *Rapitest Digital Soil Test 1605* como se indica a continuación:

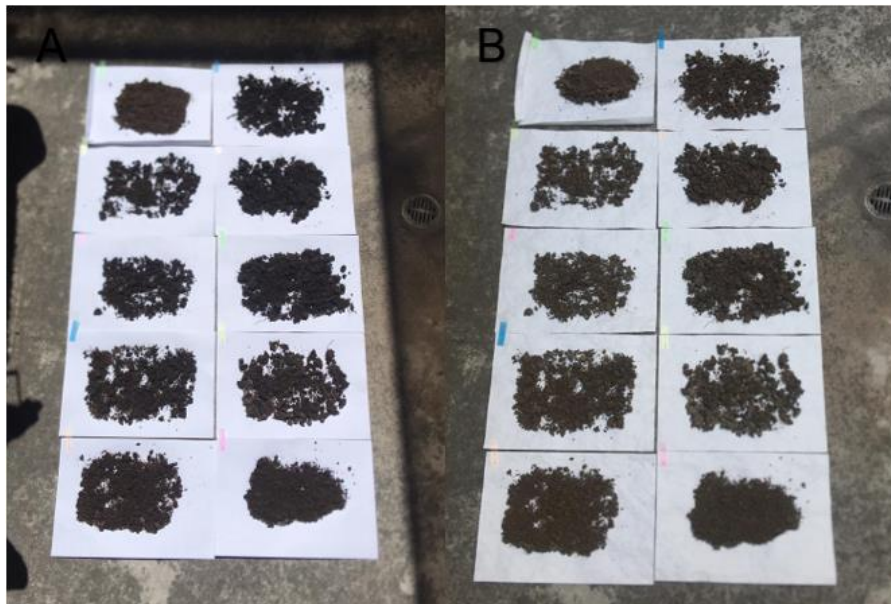
- **Recoger muestra de suelo:** En primer lugar, se retiró la hierba, raíces, rocas o similares que se encontraron en cada sitio de muestreo, evitando tocar el suelo con las manos, para la colecta de las muestras se utilizó un barreno con el cual se extrajo muestras a una profundidad de 10 cm. La muestra se colocó en una funda plástica etiquetada, previo a realizar las pruebas rápidas se colocó cada muestra en una bandeja donde se la dejó secar naturalmente (Ver Figura 7 y 8).

Figura 7

Recolección de las muestras

**Figura 8**

Secado de las muestras de suelo



Nota: a) Colocación de las muestras, b) Muestras secas.

- **Prueba rápida de pH:** En el tubo de ensayo correspondiente se colocaron las muestras (relación suelo: agua 1:5), después de agitarla se debe dejó en

reposo dos minutos, por último, se insertó el tubo en el equipo *Rapitest Digital Soil Test 1605* y se realizó la medición (Ver Figura 9).

Figura 9

Prueba rápida de pH



Nota: A) Colocación de la muestra en el tubo correspondiente (pH-verde), B) Muestra después de agitarla dejada en reposo, C) Medición mediante el equipo *Rapitest Digital Soil Test 1605*.

- Prueba rápida de macronutrientes primarios (NPK):** En un recipiente aparte se preparó la muestra (relación suelo: agua 1:5), después de agitarla se dejó en reposo por 24 horas. A continuación, se coloca el reactivo correspondiente en el tubo de ensayo y mediante un gotero se debe colocar la muestra preparada evitando colocar sedimentos. Se agita el tubo de ensayo y se deja reposar 10 minutos antes de insertarlo en el equipo Rapitest (Ver Figura 10).

Figura 10

Prueba rápida de macronutrientes primarios (NPK)



Nota: A) Preparación de las muestras (Nitrógeno-purpura; Fósforo-azul; Potasio-naranja), B, C y D) Medición NPK mediante el equipo *Rapitest Digital Soil Test 1605*.

Mediante las pruebas rápidas realizadas en el equipo *Rapitest 1605 Digital Soil Tester* se obtuvieron resultados cuantitativos para pH con intervalos de 0.5 y cualitativos para macronutrientes primarios (NPK), éstos se codificaron como se indica a continuación:

- Surplus (Superávit/Exceso): E
- Sufficient (Suficiente): S
- Adequate (Adecuado/Óptimo): O
- Deficient (Deficiente): D
- Depleted (Agotado/Déficit): A

Determinación de zonas con suelos degradados

Para la determinación de zonas con suelos degradados en base a las pruebas rápidas que se realizaron, se asignó una escala de valores para cuantificar los resultados obtenidos de pH y macronutrientes primarios como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Escala de valores para la cuantificación de las pruebas rápidas

Valor	pH	N-P-K
5	7.0	O
4	7.5 o 6.5	S
3	6.0	E
2	5.5	D
1	5.0	A

Una vez cuantificados los resultados se realizó la sumatoria de todos los valores de cada zona, además, se establecieron los rangos correspondientes para cada nivel de degradación (Tabla 13).

Tabla 13

Rangos de categorización del nivel de degradación de las zonas

Nivel	Rango
Alto	100-125
Medio	126-150
Bajo	151-175
Muy bajo	176-200

Caracterización de la parcela de trabajo

Selección de la parcela de trabajo

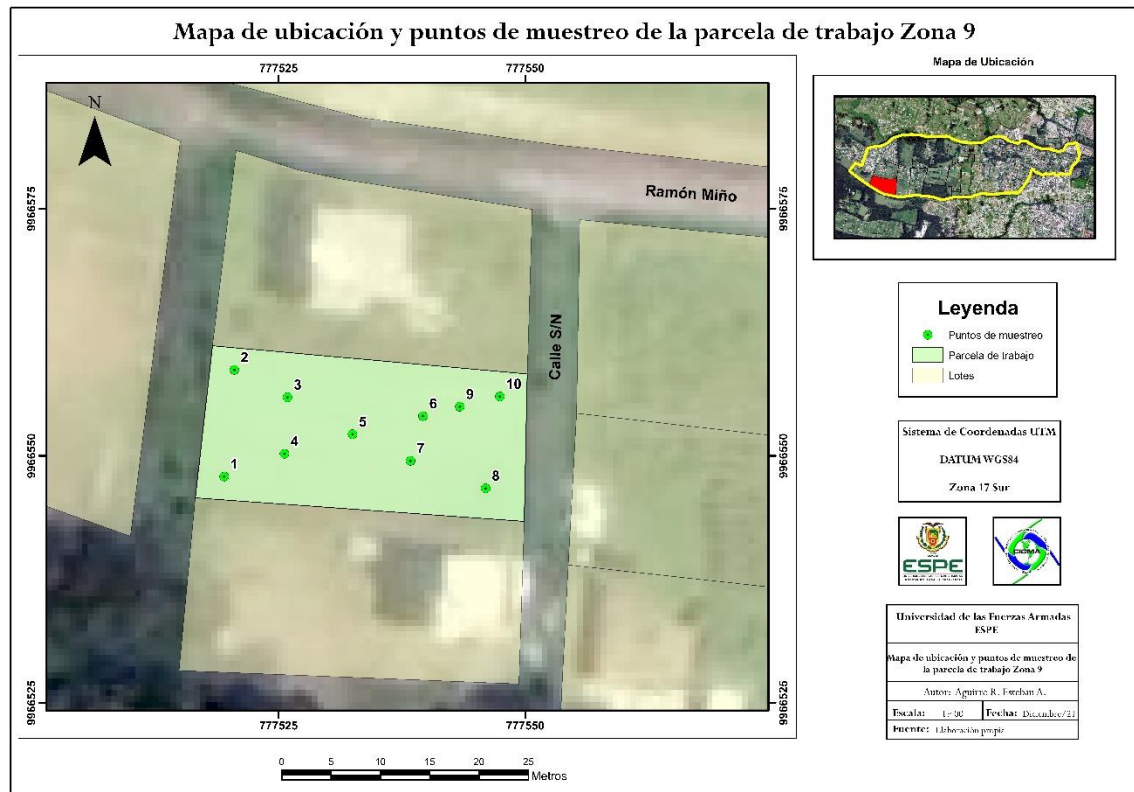
Después de realizar la determinación de zonas con suelos degradados se escogió una parcela de trabajo para realizar la caracterización del suelo.

Diseño de muestreo

Una vez seleccionada la parcela de trabajo, en base al instructivo del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) sobre como tomar muestras de suelo para sus análisis químicos, donde menciona que para áreas pequeñas se recomienda tomar un mínimo de 10 submuestras siguiendo un camino en zig-zag o mediante diagonales cruzadas rotantes, se determinaron los puntos de muestreo para extraer dichas submuestras de suelo (Figura 11).

Figura 11

Mapa de ubicación y puntos de muestreo de la parcela de trabajo Zona 9



Recoger submuestras de suelo

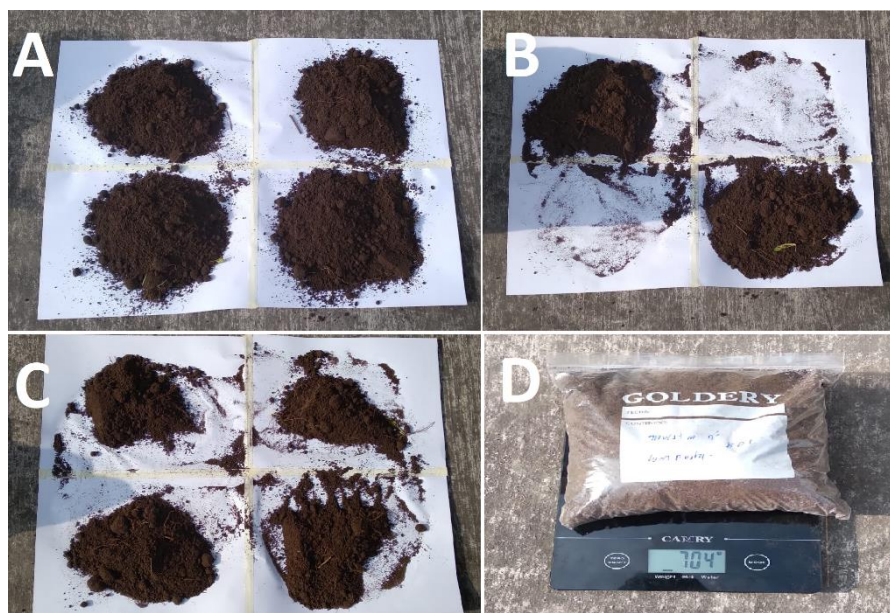
Para cada punto de muestreo se raspó en la superficie y se retiró los restos vegetales del suelo, la obtención de las submuestras se la realizó mediante un barreno a una profundidad de 15 cm con el fin de que todas tengan un volumen similar. Se realizó este procedimiento para recolectar las 10 submuestras de suelo de cada punto de la parcela presentada en la Figura 11. Posteriormente, una a una, cada submuestra se la fue colocando en un recipiente plástico (balde), realizando un buen mezclado cada que se agregaba una nueva submuestra hasta completar las diez, de tal forma que al final se obtuvo una sola mezcla homogénea (Ver Figura 12).

Figura 12*Recolección de submuestras de suelo*

Nota: A) Obtención submuestra mediante barreno, B y C) Colocación de submuestras en un recipiente plástico, D) Mezcla se submuestras.

Elaboración muestra compuesta

La muestra compuesta se elaboró mediante el método de cuarteo, para lo cual se colocó la mezcla homogénea de suelo obtenido previamente en una superficie limpia y se dividió en 4 partes similares como se muestra en la Figura 13 y se separó dos de ellas, se repitió el proceso hasta obtener la muestra deseada para realizar los análisis respectivos.

Figura 13*Elaboración muestra compuesta*

Nota: A) Distribución de la mezcla homogénea en cuatro partes similares, B) Separación de dos partes y C) Repetición de la distribución de las partes sobrantes D) Verificación del peso deseado y etiquetado.

Análisis de la muestra

En la Tabla 14 se detallan los métodos y parámetros que se midieron en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas y aguas del INIAP.

Tabla 14*Parámetros de medición del suelo*

Parámetros	Método de análisis
pH	Potenciométrico, relación suelo:agua (1:2.5)
Textura	Método de Bouyoucos modificado
Conductividad eléctrica	Conductométrico en extracto de pasta saturada
Nitrógeno	Fotocolorimétrico-Azul Indofenol en extracto Olsen Modificado
Fósforo	Fotocolorimétrico-Azul de fosfomolibdato en extracto Olsen Modificado
Potasio	Espectroscopia de Absorción Atómica en extracto Olsen Modificado
Magnesio	Espectroscopia de Absorción Atómica en extracto Olsen Modificado
Calcio	Espectroscopia de Absorción Atómica en extracto Olsen Modificado
Materia Orgánica	Combustión seca (análisis elemental)

Ensayo de remediación de suelos degradados

Se aplicó el ensayo de remediación a partir de enmiendas orgánicas, mediante la adición de compost de estiércol de caballo. Dicho ensayo se realizó adaptando la metodología propuesta por Ramos *et al.* (2011), por lo cual se utilizó 5 macetas, donde la cantidad de suelo extraído de la parcela de trabajo y la cantidad de compost que se aplicó en el ensayo se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Descripción de la formulación de los ensayos experimentales



Tratamiento	Compost (kg)	Porcentaje (%)	Suelo extraído de la parcela (kg)	Porcentaje (%)
T1	Muestra testigo	0	4	100
T2	0.2	5	3.8	95
T3	0.4	10	3.6	90
T4	1	25	3	75
T5	2	50	2	50







Nota: Adaptado de Potential use in agricultura of sewage sludge from Punete Piedra's waste wáter treatment plant, por Ramos et al., 2011.

Se colocó la cantidad de compost de estiércol de caballo y suelo extraído de la parcela correspondiente a cada uno de los tratamientos en cada una de las macetas (Tabla 16).

Tabla 16

Formulación de los ensayos experimentales

Tratamiento	Compost (g)	Suelo extraído de la parcela (g)
T1		

Tratamiento	Compost (g)	Suelo extraído de la parcela (g)
T2		
T3		
T4		
T5		

Se realizó los análisis de cada uno de los tratamientos correspondientes al inicio y final del ensayo, el cual tuvo una duración de 60 días, los métodos y parámetros que se midieron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas del INIAP se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17*Parámetros de medición de los tratamientos*

Parámetros	Método de análisis
pH	Potenciométrico, relación suelo:agua (1:2.5)
Nitrógeno	Fotocolorimétrico-Azul Indofenol en extracto Olsen Modificado
Fósforo	Fotocolorimétrico-Azul de fosfomolibdato en extracto Olsen Modificado
Potasio	Espectroscopia de Absorción Atómica en extracto Olsen Modificado
Magnesio	Espectroscopia de Absorción Atómica en extracto Olsen Modificado
Calcio	Espectroscopia de Absorción Atómica en extracto Olsen Modificado
Materia Orgánica	Combustión seca (análisis elemental)

Evaluación de parámetros**Eficiencia**

Para calcular la eficiencia del ensayo de remediación en base a cada uno de los tratamientos, se utilizó la fórmula para estimar la tasa de crecimiento (Ecuación 1), donde se consideró el resultado final del tratamiento T1 correspondiente a la muestra testigo como el valor inicial, y los resultados finales de los demás tratamientos (T2, T3, T3 y T5) son el valor final.

$$Ef = \frac{Vf_{Ti} - Vf_{T1}}{Vf_{T1}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Ef es la eficiencia del ensayo de remediación (%)

Vf_{Ti} son los resultados finales de los tratamientos T2, T3, T4 y T5

Vf_{T1} es el resultado final del tratamiento T1

Económico

Para calcular el costo de la aplicación del método de remediación a partir de enmiendas orgánicas mediante la adición de compost de estiércol de caballo en el suelo, se calculó la capa arable del suelo en toneladas por hectárea (Ecuación 2),

también la cantidad de compost en base a los resultados obtenidos del ensayo de remediación (Ecuación 3), para finalmente multiplicar por el costo del compost.

$$P = D \times \frac{10000 \text{ m}^2}{\text{ha}} \times f \quad (2)$$

Donde:

P es el peso de la capa arable del suelo por hectárea (t/ha)

D es la densidad aparente del suelo (t/m³)

f es la profundidad aproximada (m)

$$Cc = P \times Pc \quad (3)$$

Donde:

Cc es la cantidad de compost empleado (t/ha)

P es el peso de la capa arable del suelo por hectárea (t/ha)

Pc es el porcentaje de compost (%)

Ambiental

El factor ambiental es un parámetro importante al momento de evaluar la alternativa de remediación de suelo, ya que, considera los criterios positivos y negativos, para asegurar que no existan alteraciones significativas de los componentes ambientales al implementar dicha alternativa de remediación. El impacto ambiental se obtuvo mediante el método de CONESA, por lo cual se consideró los criterios que se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18

Criterios de evaluación ambiental método de CONESA

Criterio	Símbolo	Interpretación
Naturaleza	+	Se refiere al carácter benéfico (+) o perjudicial (-) de las diferentes acciones que actúan sobre los factores considerados
	-	
Intensidad	IN	Es el grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en el que actúa.

Criterio	Símbolo	Interpretación
		(1-12) donde 12 es la expresión de la destrucción total del factor en el área y 1 es la mínima afectación
Extensión	EX	Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno de la actividad. (1-8) donde 8 se refiere a una influencia generalizada donde el impacto será total y 1 es que el impacto tiene carácter puntual.
Momento	MO	Se refiere al tiempo entre la aparición de la acción que produce el impacto y el comienzo de las afectaciones sobre el factor considerado. (4 o 1) donde 4 se asigna cuando el tiempo es nulo, inmediato o inferior a 1 año, y 1 cuando el tiempo es mayor a 5 años.
Persistencia	PE	Tiempo de permanencia del efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales .
Reversibilidad	RV	Es la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales.
Recuperabilidad	MC	Es la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana
Sinergia	SI	Se refiere al reforzamiento de dos o más efectos simples.
Acumulación	AC	Permite identificar el incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continua o reiterada la acción que lo genera.
Efecto	EF	Es la relación causa-efecto, es decir, la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.
Periodicidad	PR	Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto

Nota: Tomado de *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*, por Conesa, 1995.

Los criterios tienen una calificación cuantitativa de acuerdo a rangos establecidos, como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

Calificaciones de los criterios de evaluación ambiental

Criterio	Rango	Calificación
Naturaleza (NAT)	Impacto benéfico	+
	Impacto perjudicial	-
Intensidad (IN)	Baja	1
	Media	2
	Alta	4
	Muy alta	8
	Total	12
Extensión (EX)	Puntual	1
	Parcial	2
	Extensa	4
	Total	8
	Crítica	(+4)
Momento (MO)	Largo plazo	1
	Mediano plazo	2
	Inmediato	4
	Crítico	(+4)
Persistencia (PE)	Fugaz	1
	Temporal	2
	Permanente	4
Reversibilidad (RV)	Corto plazo	1
	Mediano plazo	2
	Irreversible	4
Recuperabilidad (MC)	Recuperable inmediato	1
	Recuperable a mediano plazo	2
	Mitigable o compensable	4
	Irrecuperable	8
Sinergia (SI)	Sin sinergismo (simple)	1
	Sinérgico	2
	Muy sinérgico	4
cumulación (AC)	Simple	1
	Acumulativo	4
Efecto (EF)	Indirecto (secundario)	1
	Directo (primario)	4
Periodicidad (pr)	Irregular o discontinuo	1
	Periódico	2
	Continuo	4

Nota: Tomado de *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*, por Conesa, 1995.

Una vez que se asignó los valores correspondientes a cada uno de los criterios, se utilizó el algoritmo de la metodología para calcular la importancia mediante la Ecuación 4. El valor calculado se denomina Importancia (I), mismo que

se comparó con los rangos que se muestran en la Tabla 20, para determinar el tipo de impacto ambiental.

$$I = 3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC \quad (4)$$

Donde:

I es la Importancia

Tabla 20

Rangos de los tipos de impacto ambiental

Rango	Impacto
<25	Irrelevante
26-50	Moderado
51-75	Severo
>75	Crítico

Nota: Tomado de *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*, por Conesa, 1995.

Propuesta de implementación metodológica

Se realizó una propuesta de remediación en base a la evaluación documental y de resultados del ensayo de remediación, teniendo en cuenta parámetros técnicos, económicos y ambientales.

Capítulo IV

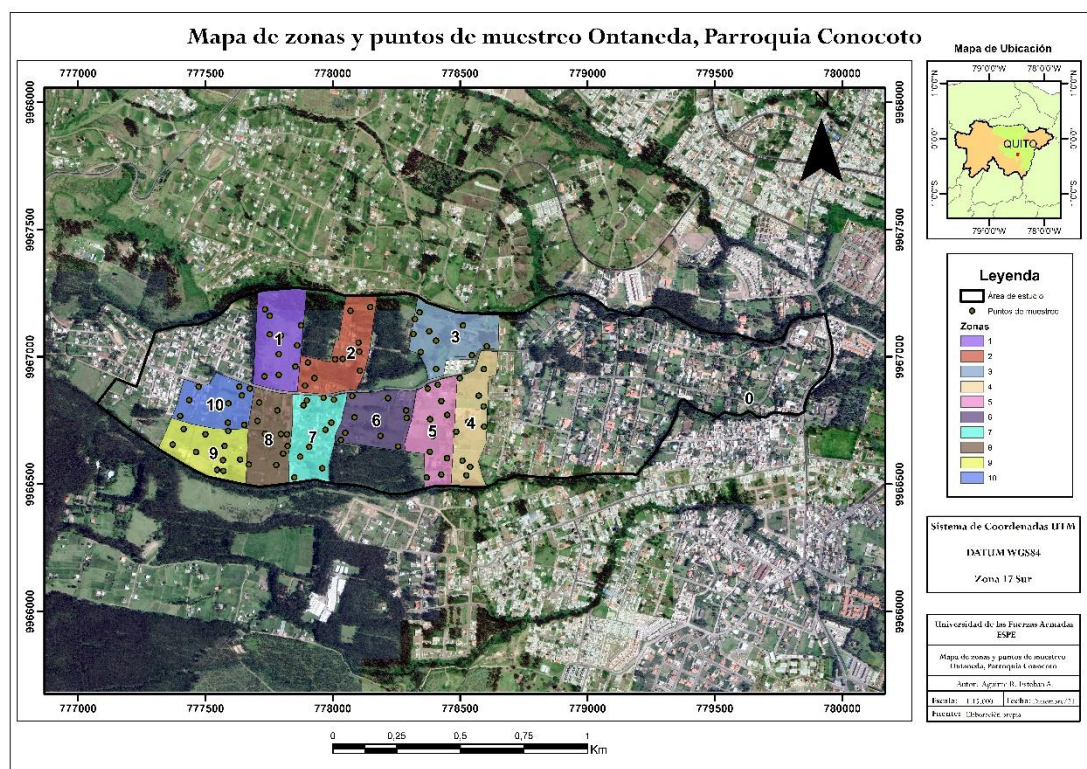
Resultados

Identificación de zonas con suelos degradados

La Figura 14 presenta las 10 zonas con área máxima de 8 (Ver Tabla ##), obtenidas después de realizar la digitalización y el reconocimiento en campo, en cada una de estas zonas se ubicó los puntos de muestreo correspondientes.

Figura 14

Mapa de zonas y puntos de muestreo Ontaneda-Conocoto



Determinación de zonas con suelos degradados

En la Tabla 21 se indica los resultados de las pruebas rápidas que se realizó a cada una de las muestras de las 10 zonas.

Tabla 21

Resultados pruebas rápidas de las muestras de suelo

Zona	Muestra	Código	pH	N	P	K
1	1	Z01-M01	6.5	O	D	O
	2	Z01-M02	6.5	O	O	O
	3	Z01-M03	7.0	O	O	O
	4	Z01-M04	6.5	D	O	O
	5	Z01-M05	6.5	O	S	O
	6	Z01-M06	7.0	O	O	O
	7	Z01-M07	6.0	O	D	O
	8	Z01-M08	6.5	D	O	O
	9	Z01-M09	6.5	D	O	O
	10	Z01-M10	6.0	O	O	O
2	1	Z02-M01	6.5	D	O	O
	2	Z02-M02	7.0	O	D	O
	3	Z02-M03	6.5	O	O	D
	4	Z02-M04	6.0	D	S	O
	5	Z02-M05	6.5	O	D	O
	6	Z02-M06	6.5	D	S	O
	7	Z02-M07	6.5	O	D	O
	8	Z02-M08	6.5	O	O	O
	9	Z02-M09	6.0	D	O	D
	10	Z02-M10	7.0	O	O	O
3	1	Z03-M01	6.5	D	O	O
	2	Z03-M02	7.0	A	D	O
	3	Z03-M03	6.5	O	O	O
	4	Z03-M04	6.5	O	D	D
	5	Z03-M05	7.0	O	D	S
	6	Z03-M06	6.5	D	O	O
	7	Z03-M07	6.5	D	D	O
	8	Z03-M08	6.5	D	O	D
	9	Z03-M09	6.5	O	D	O
	10	Z03-M10	6.0	O	O	S
4	1	Z04-M01	6.0	O	D	O
	2	Z04-M02	6.5	D	O	O
	3	Z04-M03	6.5	S	D	O
	4	Z04-M04	7.0	S	O	O
	5	Z04-M05	5.5	O	O	O
	6	Z04-M06	6.0	O	D	O
	7	Z04-M07	6.0	O	D	O
	8	Z04-M08	7.0	S	O	O
	9	Z04-M09	6.5	O	D	O
	10	Z04-M10	6.5	D	D	O
5	1	Z05-M01	6.5	D	O	D
	2	Z05-M02	6.5	O	O	D
	3	Z05-M03	6.0	D	D	O
	4	Z05-M04	6.5	D	D	O

Zona	Muestra	Código	pH	N	P	K	
	5	Z05-M05	7.0	O	D	O	
	6	Z05-M06	6.5	O	D	D	
	7	Z05-M07	5.5	O	D	O	
	8	Z05-M08	7.0	O	O	S	
	9	Z05-M09	7.5	O	O	O	
	10	Z05-M10	7.0	D	D	O	
	6	1	Z06-M01	7.0	O	O	O
		2	Z06-M02	7.0	E	O	O
		3	Z06-M03	7.0	S	O	D
		4	Z06-M04	6.0	D	D	O
5		Z06-M05	6.5	O	O	D	
6		Z06-M06	6.5	O	D	O	
7		Z06-M07	6.5	D	O	D	
8		Z06-M08	6.0	O	O	D	
9		Z06-M09	5.5	O	D	D	
10		Z06-M10	6.5	D	O	O	
7	1	Z07-M01	6.0	O	O	O	
	2	Z07-M02	6.5	O	D	O	
	3	Z07-M03	7.0	D	D	D	
	4	Z07-M04	6.5	O	D	O	
	5	Z07-M05	6.0	D	D	O	
	6	Z07-M06	6.5	D	D	D	
	7	Z07-M07	6.5	O	D	S	
	8	Z07-M08	6.5	D	D	D	
	9	Z07-M09	6.5	O	O	D	
	10	Z07-M10	6.0	D	O	D	
8	1	Z08-M01	7.0	D	D	O	
	2	Z08-M02	6.0	D	D	D	
	3	Z08-M03	6.5	D	D	O	
	4	Z08-M04	6.5	O	D	D	
	5	Z08-M05	6.5	D	D	D	
	6	Z08-M06	6.5	O	D	D	
	7	Z08-M07	6.5	O	O	D	
	8	Z08-M08	6.0	D	D	O	
	9	Z08-M09	6.5	D	O	O	
	10	Z08-M10	6.5	D	O	D	
9	1	Z09-M01	6.0	A	D	D	
	2	Z09-M02	6.0	A	A	D	
	3	Z09-M03	6.0	D	D	D	
	4	Z09-M04	6.5	O	D	D	
	5	Z09-M05	6.5	O	D	D	
	6	Z09-M06	6.0	D	D	O	
	7	Z09-M07	6.5	O	D	O	
	8	Z09-M08	6.5	D	O	O	
	9	Z09-M09	6.0	D	D	O	
	10	Z09-M10	7.5	D	O	O	
10	1	Z10-M01	6.0	A	D	D	
	2	Z10-M02	6.5	D	O	D	
	3	Z10-M03	6.5	O	D	O	

Zona	Muestra	Código	pH	N	P	K
	4	Z10-M04	6.0	O	O	D
	5	Z10-M05	6.5	D	D	D
	6	Z10-M06	6.5	D	O	O
	7	Z10-M07	7.0	O	O	D
	8	Z10-M08	7.0	D	D	D
	9	Z10-M09	7.0	O	O	D
	10	Z10-M10	6.5	O	D	O

Nota: Exceso/Superávit (E); Suficiente (S); Adecuado/Óptimo (O), Deficiente (D); Agotado/Déficit (A)

Se realizó la sumatoria para cada zona de todos los valores cuantificados obtenidos en base a las mediciones realizadas y se estableció el nivel de degradación para cada zona, de acuerdo a la Tabla 22.

Tabla 22

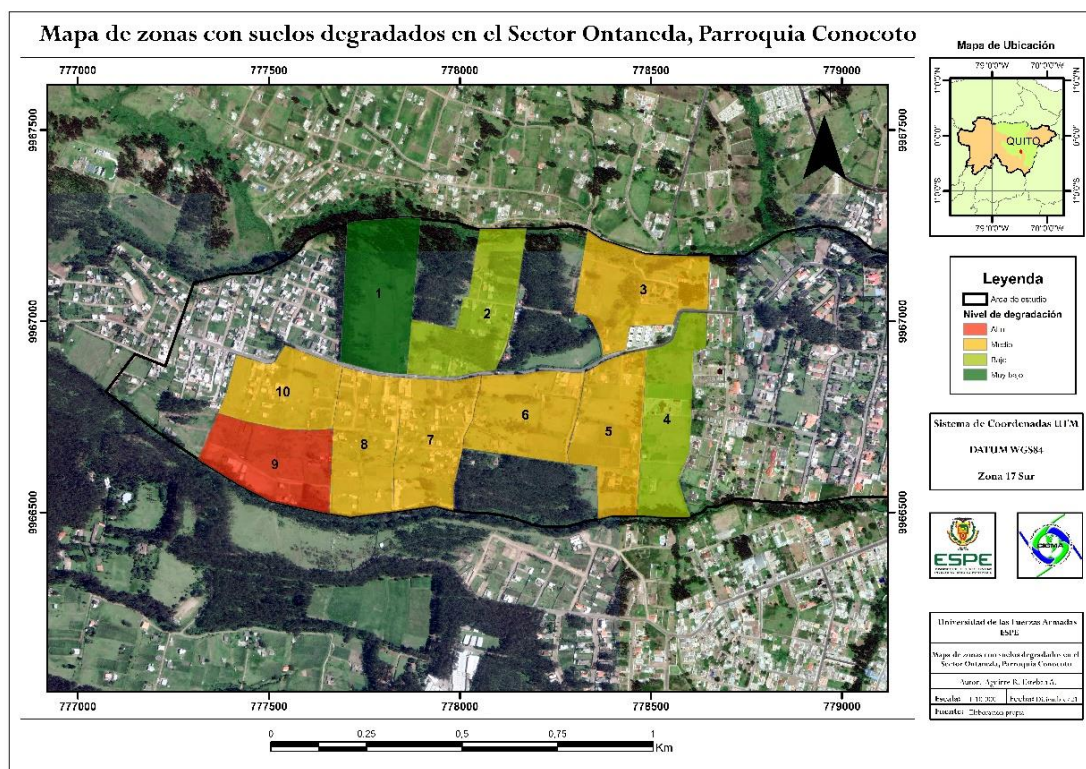
Nivel de degradación de las zonas del sector

Zona	Valor	Nivel
1	176	Muy bajo
2	161	Bajo
3	145	Medio
4	160	Bajo
5	149	Medio
6	149	Medio
7	136	Medio
8	129	Medio
9	122	Alto
10	139	Medio

Una vez que se determinó el nivel de degradación de los suelos de cada una de las zonas se realizó el mapa de zonas con suelos degradados (Figura 15).

Figura 15

Mapa de zonas con suelos degradados en el Sector Ontaneda



En base a los resultados obtenidos se escogió la parcela de trabajo dentro de la Zona 9, donde se realizó la caracterización del suelo, y posteriormente se extrajo el suelo con el que se realizó el ensayo de remediación.

Caracterización de la parcela de trabajo

Los resultados de la caracterización de la muestra compuesta que se extrajo de la parcela de trabajo, se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23

Resultados del análisis de la muestra compuesta de la parcela de trabajo

Análisis	Resultado	Interpretación
pH	6.8	Prácticamente neutro
Textura	Franco	Medio
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0.14	No salino
Nitrógeno (ppm)	61	Alto

Análisis	Resultado	Interpretación
Fósforo (ppm)	10	Bajo
Potasio (meq/100g)	0.34	Medio
Magnesio (meq/100g)	2.95	Alto
Calcio (meq/100g)	8.35	Alto
Materia Orgánica (%)	1.10	Medio

El pH es prácticamente neutro, lo cual no afecta las condiciones de vida del suelo y combinado con la textura franca, que tuvo 49% de arena, 30% de limo y 21 de arcilla hacen que sea óptimo para el desarrollo y crecimiento de cultivos, la conductividad eléctrica indicó que el suelo es no salino, es decir que no produce afectación en cultivos sensibles. El contenido de materia orgánica es pobre lo que hace que el suelo sea susceptible a procesos erosivos. Con relación a los macronutrientes primarios el contenido de nitrógeno es alto, mientras que el contenido de fósforo y potasio es bajo y medio respectivamente. Mientras que los macronutrientes secundarios que son necesarios para la nutrición de cultivos presentan un contenido alto.

Ensayo de remediación de suelos degradados

Los resultados de los análisis de cada uno de los tratamientos correspondientes al inicio (I) y final (F) del ensayo de remediación a partir de enmiendas orgánicas, se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24

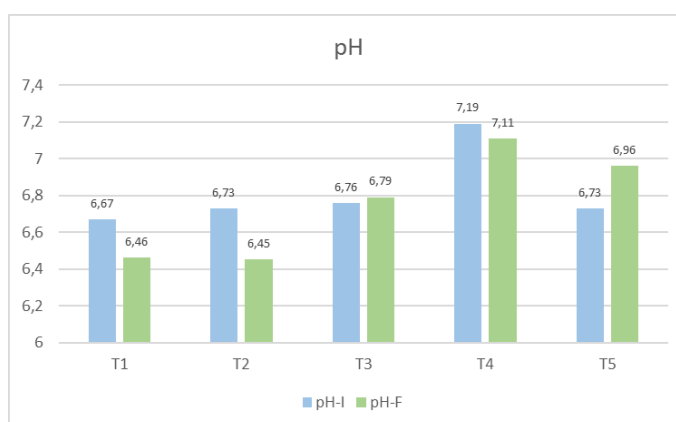
Resultados de los tratamientos del ensayo de remediación

Tratamiento	T1		T2		T3		T4		T5	
	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F
pH	6.67	6.46	6.73	6.45	6.76	6.79	7.19	7.11	6.73	6.96
Nitrógeno (ppm)	42	31	71	36	45	31	86	79	64	82
Fósforo (ppm)	71	9	128	30	32	50	289	187	149	208
Potasio (meq/100g)	0.27	0.03	0.84	0.19	0.41	0.25	1.05	0.63	3.16	1.23
Calcio (meq/100g)	7.84	4.23	10.82	4.16	8.35	4.77	14.93	6.31	11.18	6.53
Magnesio (meq/100g)	2.67	1.54	4.49	1.77	3.13	2.15	6.71	3.03	4.80	3.50
Materia Orgánica (%)	1.2	0.5	3.6	0.3	1.6	1.1	11.9	3.4	2.9	4.2

Con respecto al pH, el T1 correspondiente a la muestra testigo dentro del ensayo, tuvo un valor final de 6.46, que se encuentra dentro del rango de ligeramente alcalino. Mientras que para los T4 y T5, los valores finales fueron los más cercanos a 7, que es lo óptimo para la mayoría de cultivos. En la Figura 16 se muestra los diferentes cambios que existió con respecto al pH.

Figura 16

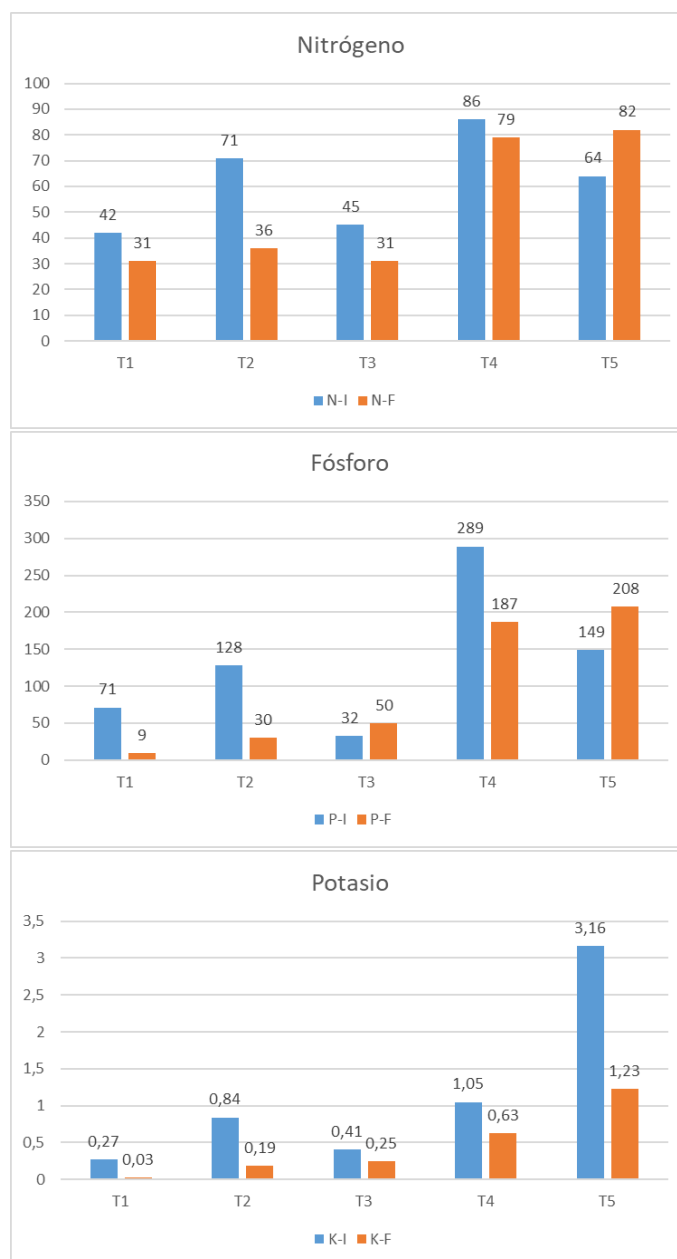
Comparación resultados iniciales y finales de pH



Los resultados del análisis de macronutrientes primarios mostraron que, los tratamientos T3 y T4 al final del ensayo alcanzaron niveles altos de nitrógeno, fósforo y potasio. Mientras que para los tratamientos restantes existieron niveles medios y bajos de macronutrientes, mismos que son necesarios en niveles altos para garantizar el óptimo crecimiento y estabilidad de los cultivos. En la Figura 17 se muestran los diferentes cambios que existieron con respecto a los macronutrientes primarios (NPK).

Figura 17

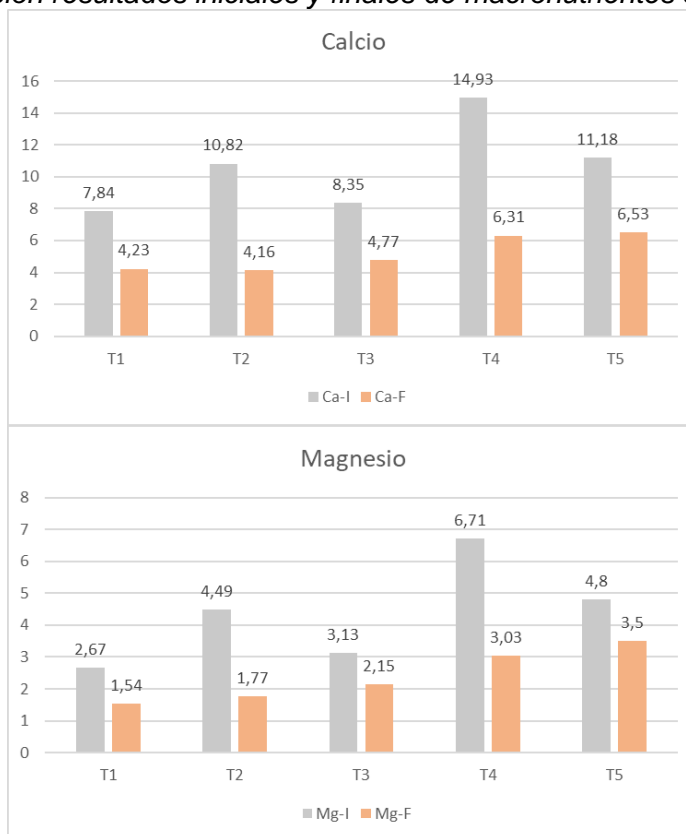
Comparación resultados iniciales y finales de macronutrientes primarios



Los resultados del análisis de macronutrientes secundarios mostraron que, al inicio y final del ensayo de remediación los niveles fueron altos en todos los tratamientos, lo que garantiza una buena nutrición de las plantas principalmente. En la Figura 18 se muestran los diferentes cambios que existieron con respecto a los macronutrientes secundarios (Ca y Mg).

Figura 18

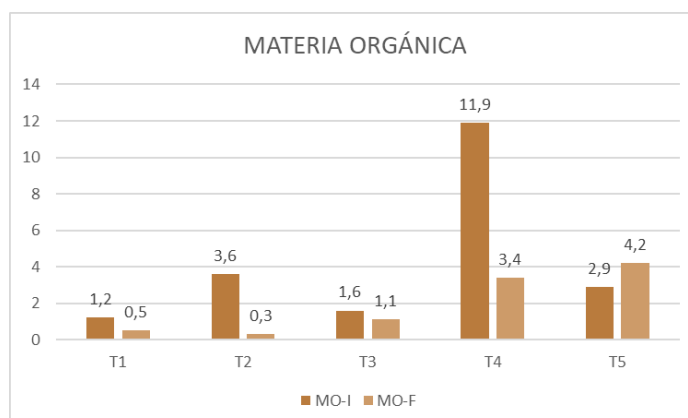
Comparación resultados iniciales y finales de macronutrientes secundarios



El contenido de materia orgánica en el T1, T2 y T3 al final del ensayo fue pobre, mientras que en el T4 y T5 fue rico lo cual es óptimo para el suelo, ya que evita procesos erosivos, mejora la estructura del suelo y aumenta la tasa de infiltración del agua. En los resultados iniciales de los tratamientos T2 y T4, posiblemente se obtuvo valores atípicos, ya que no existe una relación con los resultados finales, esto puede ser resultado de una mala homogenización del suelo y el compost utilizado en dichos tratamientos (Figura 19).

Figura 19

Comparación resultados iniciales y finales de materia orgánica



Evaluación de parámetros

Eficiencia

Se calculó la eficiencia de cada uno de los tratamientos, con respecto al pH los tratamientos T4 y T5 obtuvieron los mejores resultados, ya que sus valores fueron cercanos a 7 teniendo una eficiencia del 6.60 y 4.35% respectivamente (Tabla 25). Según el Manual de Compostaje del Agricultor de la FAO (2013), cuando se utilice un compost que aún no tenga un pH estable o cuando se lo coloque en excesivas cantidades, puede provocar que el pH tienda a la acidez, lo cual puede causar un efecto negativo en el suelo y cultivos.

Tabla 25

Evaluación de eficiencia de pH

pH				
Tratamiento	% Compost	Valor inicial	Valor final	Eficiencia (%)
T1	0	6.67	6.46	-3.15
T2	5		6.45	-3.30
T3	10		6.79	1.80
T4	25		7.11	6.60
T5	50		6.96	4.35

El compost de estiércol es rico en macronutrientes primarios (FAO, 2013) el nitrógeno es el menos estable y se encuentra disponible por menor tiempo en el suelo, lo cual se vio reflejado en que existió una disminución de hasta el 26%, mientras que los tratamientos T4 y T5 tuvieron una eficiencia positiva cercana al 100% (Tabla 26), lo cual es favorable para la absorción de los otros nutrientes y para el desarrollo de la planta (FAO, 2013). Para el fósforo la eficiencia calculada fue elevada, por lo que, se puede decir que es directamente proporcional a la cantidad de compost utilizado en cada uno de los tratamientos (Tabla 27). Con respecto al potasio, su eficiencia se vio reflejada de manera positiva a partir del T4, mientras que para el T1 correspondiente a la muestra testigo, su reducción fue del 88%, esto demuestra que para que el compost aporte de manera eficiente los macronutrientes necesarios se deben utilizar cantidades superiores al 10%.

Tabla 26

Evaluación de eficiencia de Nitrógeno (N)

N				
Tratamiento	% Compost	Valor inicial (ppm)	Valor final (ppm)	Eficiencia (%)
T1	0	42	31	-26.19
T2	5		36	-14.29
T3	10		31	-26.19
T4	25		79	88.10
T5	50		82	95.24

Tabla 27

Evaluación de eficiencia de Fósforo (P)

P				
Tratamiento	% Compost	Valor inicial (ppm)	Valor final (ppm)	Eficiencia (%)
T1	0	7.1	9	26.76
T2	5		30	322.54
T3	10		50	607.23
T4	25		187	2533.80
T5	50		208	2829.58

Tabla 28*Evaluación de eficiencia de Potasio (K)*

K				
Tratamiento	% Compost	Valor inicial (meq/100)	Valor final (meq/100)	Eficiencia (%)
T1	0	0.27	0.03	-88.89
T2	5		0.19	-29.63
T3	10		0.25	-7.41
T4	25		0.63	133.33
T5	50		1.23	355.56

El calcio tuvo un comportamiento variable ya que en todos los casos existió una disminución con respecto al valor inicial (Tabla 29), sin embargo, los valores finales siguen siendo de nivel alto al igual que para el caso del magnesio (Tabla 30).

Tabla 29*Evaluación de eficiencia de Calcio (Ca)*

Ca				
Tratamiento	% Compost	Valor inicial (meq/100)	Valor final (meq/100)	Eficiencia (%)
T1	0	7.84	4.23	-46.05
T2	5		4.16	-46.94
T3	10		4.77	-39.16
T4	25		6.31	-19.52
T5	50		6.53	-16.71

Tabla 30*Evaluación de eficiencia de Magnesio (Mg)*

Mg				
Tratamiento	% Compost	Valor inicial (meq/100)	Valor final (meq/100)	Eficiencia (%)
T1	0	2,67	1.54	-42,32
T2	5		1.77	-33,71
T3	10		2.15	-19.48
T4	25		3.03	13,48
T5	50		3.50	31,09

Determinar la eficiencia que tuvo el ensayo de remediación con respecto a la materia orgánica es importante debido a que, su valor inicial indicó que es de clase pobre, en ese sentido se puede decir que los tratamientos T1, T2 y T3, no obtuvieron los resultados necesarios y esperados para ser considerados en la propuesta de remediación. El uso de compost de estiércol de caballo en los tratamientos T4 y T5, hizo que la eficiencia sea superior al 100%, lo que permitió que se convierta en un suelo rico en materia orgánica, lo cual aumenta la sustentabilidad en el suelo, influyendo de manera directa en el mejoramiento de las propiedades físicas y la fertilidad del mismo (Tabla 31).

Tabla 31

Evaluación de eficiencia de Materia Orgánica (MO)

Materia Orgánica				
Tratamiento	% Compost	Valor inicial (%)	Valor final (%)	Eficiencia (%)
T1	0	1,2	0,5	-58,33
T2	5		0,3	-75,00
T3	10		1,1	-8.33
T4	25		3,4	183,33
T5	50		4,2	250,00

Los valores de eficiencia obtenidos, también se pueden ver reflejados en la Figura 20, donde se observa que existe una relación directa entre la cantidad de compost utilizado y el brote de vegetación en cada uno de los tratamientos, donde, cabe mencionar que en ninguno de los casos se colocó algún tipo de semilla y que todos los tratamientos fueron sometidos a las mismas condiciones.

Figura 20

Brote de vegetación de los tratamientos del ensayo de remediación



Nota: A) Inicio del ensayo de remediación, B) Final del ensayo de remediación (60 días).

Económico

El peso de la capa arable de suelo (P) fue de 550 t/ha, se utilizó la densidad aparente medida de la muestra compuesta que fue de 1.1 t/m³ y 5 cm de profundidad para la aplicación de las enmiendas orgánicas. Se debe tener en cuenta que, en la actualidad el compost de estiércol de caballo no es tan comercial como otros tipos de abonos orgánicos, su precio aproximado es de 5\$ el saco de 30 Kg. En ese sentido, se calculó el costo que tiene aplicar este tipo de abono orgánico dependiendo del porcentaje de compost (Pc) utilizado (Tabla 32).

Tabla 32*Evaluación económica de los tratamientos*

Tratamiento	P (t/ha)	Pc (%)	Cc (t/ha)	Cc (kg/m ²)	\$/m ²
T2	550	5	27.50	2.75	0.46
T3		10	55.00	5.50	0.91
T4		25	137.50	13.75	2.29
T5		50	275.00	27.50	4.58

Considerando algunas cotizaciones realizadas para comparar con otros tipos de enmiendas agrícolas u orgánicas, la cal agrícola que se utiliza para mejorar la conservación de la materia orgánica y disminuir la acidez del suelo tiene un costo aproximado de 25 centavos el kilogramo, adicional, el vermicompost que se utiliza para mejorar la estructura y el aporte de nutrientes en el suelo tiene un costo aproximado de 32 centavos el kilogramo. Mientras que, en la actualidad el compost de estiércol de caballo tiene un costo de 17 centavos el kilogramo, es decir, su valor es menor que la cal agrícola y el vermicompost, pero, debido a que no es tan comercial es complicado encontrarlo en grandes cantidades, por lo cual se debe utilizar de forma focalizada o en terrenos de áreas pequeñas.

Ambiental

En la Tabla 33 se muestra la evaluación de impactos ambientales, donde se consideró tres impactos positivos y negativos. Con respecto a los impactos positivos, dos fueron de tipo irrelevante, y la mejora de las características fisicoquímicas del suelo fue de tipo moderado. Para los impactos negativos, dos fueron de tipo irrelevante, y la potencial acidez en los suelos fue de tipo moderado, en ese sentido se debe realizar mediciones periódicas de pH para plantear acciones de corto plazo que eviten este impacto.

Tabla 33

Evaluación de impactos ambientales

Impacto	NAT	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	I	Impacto
Mejora de la porosidad, aireación e infiltración del suelo	+	0	4	2	2	2	1	4	1	1	0	21	Irrelevante
Generación de malos olores por aplicación de compost inmaduro	-	1	2	2	1	1	2	4	4	1	2	24	Irrelevante
Potencial acidez en los suelos	-	4	4	2	2	2	2	4	4	1	2	39	Moderado
Posible generación o aumento de plagas	-	2	2	2	1	1	2	4	1	1	1	23	Irrelevante
Mejora de las características fisicoquímicas del suelo	+	0	4	2	2	2	2	4	4	4	0	28	Moderado
Aumento de la disponibilidad hídrica en la capa arable	+	0	4	2	2	2	1	4	1	1	0	21	Irrelevante

Propuesta de implementación metodológica

Una vez que se determinó que la aplicación de enmiendas orgánicas a partir de compost de estiércol de caballo es una alternativa de recuperación de los suelos degradados, cuya eficiencia depende de porcentaje de compost que se utilice, además que el factor económico es favorable comparado con otros métodos, y que su aplicación no conlleva impactos ambientales negativos severos o críticos, se determinó la metodología adecuada para implementar dicha alternativa:

- Para la selección del terreno donde se va a implementar la alternativa de recuperación de suelos, se debe tener presente ciertos criterios como el área, nivel de degradación y costo. Espinosa (2021), menciona que una de las potencialidades del compost es su uso para la creación de huertos urbanos productivos en suelos con poca materia orgánica, en ese sentido el compost debe ser utilizado de manera focalizada dentro de la parcela para evitar costos elevados.
- Una vez seleccionado el sitio, se debe agregar 13.75 kg de compost por metro cuadrado a una profundidad aproximada de 5 cm, lo que permitirá que mejore la retención de humedad, ventilación y fertilidad del suelo (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2019). El compost utilizado debe tener

un pH estable, es decir se lo debe utilizar una vez cumplida su fase de maduración y además debe colocarse en las cantidades establecidas, ya que, al no cumplir con lo mencionado, se provocaría un posible incremento en la acidez en los suelos. En base a lo mencionado, se vuelve indispensable contar con un pH metro, con el cual se podrá llevar un control adecuado, evitando posibles efectos negativos que se pueden ver reflejados en el suelo o en los cultivos.

- Para complementar el proceso de recuperación y mantenimiento de la fertilidad de los suelos, se puede empezar agregando cultivos de leguminosas, ya que, como expone Benites (2016), tienen la capacidad de incrementar la fertilidad de los suelos aportando materia orgánica y de fijar nitrógeno en el suelo a través de sus raíces que poseen bacterias llamadas *rhizobium*. Además, las leguminosas son tolerantes y no necesitan de un cuidado exhaustivo, regeneran el terreno de manera gradual, fertilizan cultivos y protegen las raíces de hongos y bacterias patógenas (Benites, 2016).

Capítulo V

Conclusiones

Se delimitaron diez zonas dentro del área de estudio, mismas que cumplieron con los criterios establecidos, dentro de cada zona se determinaron diez puntos de muestreo aleatorios para extraer las muestras de suelo. A las muestras obtenidas se les realizó pruebas rápidas de pH y macronutrientes primarios (NPK) mediante el equipo *Rapitest Digital Soil Test 1605*, una vez cuantificados los resultados se obtuvo el Mapa de zonas con suelos degradados en el Sector Ontaneda. Con respecto al nivel de degradación una zona fue de nivel muy bajo (Zona 1), dos de nivel bajo (Zonas 2 y 4), seis de nivel medio (Zonas 3, 5, 6, 7, 8 y 10) y una de nivel alto (Zona 9).

Se seleccionó una parcela de trabajo dentro de la Zona 9 para realizar la caracterización de la misma, donde se identificó que, el principal problema radica en el bajo porcentaje de materia orgánica presente en el suelo, lo que hace que este sea susceptible a procesos erosivos. Mientras que, con respecto al pH y conductividad eléctrica los resultados fueron adecuados, además, el contenido de macronutrientes primarios y secundarios en el suelo fue de nivel alto, excepto el fósforo y potasio donde tuvieron niveles medio y bajo respectivamente. Por lo mencionado, es necesario la aplicación de enmiendas orgánicas que permitan aumentar el contenido de materia orgánica y mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo.

El ensayo de remediación se realizó a partir de enmiendas orgánicas, para lo cual se diseñó cinco ensayos experimentales (tratamientos), en los cuales se adicionó 0, 5, 10, 25 y 50% de compost de estiércol de caballo al suelo para obtener un peso total de 4 kg por tratamiento. Una vez finalizados los ensayos experimentales cuya duración fue de 60 días se determinó que existe una relación directa en la mayoría de los casos entre el porcentaje de compost aplicado y el

mejoramiento de los parámetros medidos. En ese sentido los tratamientos T4 (25% de compost) y T5 (50% de compost) obtuvieron los mejores resultados con respecto a la eficiencia, mientras que en el tema económico tuvieron un costo aproximado de 2.29 y 4.58 dólares respectivamente. El método demostró no tener un impacto ambiental considerable, pues en ninguno de los casos presentó impactos de tipo severos o críticos.

La aplicación de enmiendas orgánicas a partir de compost de estiércol de caballo es una alternativa para la recuperación de suelos degradados. En ese sentido, una vez realizada la evaluación de las variables eficiencia, costo e impacto ambiental, se realizó una propuesta metodológica escrita describiendo el proceso a partir de la adición del 25% de compost de estiércol de caballo en el suelo, es decir que se debe agregar 13.75 kg de compost por metro cuadrado a una profundidad aproximada de 5 cm, adicional se puede complementar el proceso de recuperación del suelo agregando cultivos de leguminosas.

Recomendaciones

Se sugiere realizar el análisis cuantitativo de los parámetros fisicoquímicos mediante los métodos convencionales, ya que esto permitiría obtener modelos de la distribución de cada uno de los parámetros mediante la aplicación del método de interpolación IDW o mediante el método geoestadístico Kriging.

Se recomienda realizar un estudio comparativo de los métodos convencionales y las pruebas rápidas de suelo que permita identificar posibles patrones entre los resultados de los métodos.

Se recomienda el uso de una planta indicadora dentro de los ensayos de remediación, que permita realizar mediciones biométricas de la planta (altura, grosor, materia seca, número de planta emergentes) en cada ensayo, para

posteriormente realizar un análisis estadístico de dichas mediciones y de esa forma poder evaluar la eficiencia del método con relación a su impacto sobre la planta.

Se sugiere incluir tratamientos con porcentajes de compost intermedios (15 y 20%) y también controles intermedios (15, 30 y/o 45 días), para poder identificar de manera óptima su eficiencia dentro del ensayo de remediación, lo cual podría tener un impacto favorable en el costo de su aplicación.

Referencias Bibliográficas

- Agrinova. (2020). *La utopía del 5% de la materia orgánica*. AGRINOVA Science.
<https://agri-nova.com/noticias/la-utopia-del-5-de-la-materia-organica/>
- Amigos de la Tierra. (2004). *Manual básico para hacer Compost*.
[http://www.factoria3.com/documentos/Manual basico para hacer Compost.pdf](http://www.factoria3.com/documentos/Manual_basico_para_hacer_Compost.pdf)
- Báscones, E. (2004). *Análisis de suelo y consejos de abonado*. Diputación de Valladolid.
- Bautista, A., Etchever, J., del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90–97.
- Benites, J. (2016). Las leguminosas en la alimentación y en la fertilidad de los suelos. *Revista de Agroecología LEISA*, 32(2). <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-32-numero-2>
- Blanco, S. (2014). *Conceptos básicos de cartografía*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Bonnet, J. (1960). Estación experimental agrícola. In *Edafología de los suelos salinos y sódicos*. Universidad de Puerto Rico.
- Campaña, D. (2016). *Estudio multitemporal del mercado inmobiliario en el Valle de Los Chillos* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11892/2/T-ESPE-053258.pdf>
- Ciancaglini, N. (2010). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO _R001_Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R001_Guía_para_la_determinación_de_textura_de_suelos_por_método_organoléptico.pdf)
- Conesa, V. (1995). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*.

- Dimkpa, C., Bindraban, P., McLean, J. E., Gatere, L., Singh, U., & Hellums, D. (2017). Methods for Rapid Testing of Plant and Soil Nutrients. In *Sustainable Agriculture Reviews* (Vol. 25, pp. 1–43). https://doi.org/10.1007/978-3-319-58679-3_1
- Espinosa, S. (2021). *Ecovidasolar*. La Clave de Un Huerto Urbano: El Compostaje. <https://www.ecovidasolar.es/blog/la-clave-de-un-huerto-urbano-el-compostaje/>
- Espinoza, M., Andrade, E., Rivera, P., & Romero, D. (2011). *Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México*.
- FAO. (2002). *Agricultura de Conservación: Estudios de casos en América Latina y África*. http://www.fao.org/tempref/agl/AGLW/ESPIM/CD-ROM/documents/6E_s.pdf
- FAO. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf>
- FAO. (2015). *Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. Impacto Del Crecimiento Demográfico, La Urbanización y El Cambio Climático.
- FAO. (2020). *El Manejo de Suelos Afectados por Salinidad*. Portal de Suelos de La FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/es/>
- Garrido, S. (1993). *Interpretación de análisis de suelos*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- INECC. (2015). Muestreo y caracterización de un sitio. In *Capítulo tercero*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/459/cap3.html#top>

INIAP. (1974). *Primer Curso Nacional de Leguminosas de Grano*.

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4627/1/iniapsc635.65E17p12.pdf>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2019). *INTA*. Lombricomposteo, Una Alternativa Para Abonar. <https://inta.gob.ar/documentos/lombricomposteo-una-alternativa-para-abonar>

Lanly, J. (1996). *ECOLOGIA Y ENSEÑANZA RURAL Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas* (O. de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (ed.)).

Luque, R. (2011). El uso de la cartografía y la imagen digital como recurso didáctico en la enseñanza secundaria. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 183–210.

Mason, B. (1992). Preparation of soil sampling protocols. In *Sampling techniques and strategies* (p. 169). United States Environmental Protection Agency.

Mejía, M. (2018). El territorio periurbano de la ciudad de Quito: expansión urbana, cambio de la morfología y valor del suelo. Caso de estudio “valle de Los Chillos”, Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *Eídos*.

Ordoñez, C., Espín, S., & Tufiño, V. (2015). *Caracterización y propuesta de remediación de suelo contaminado con bifenilos policlorados (pcbs) ubicado en la bodega de materiales en la Empresa Eléctrica Quito-Cumbayá*. Universidad Central del Ecuador.

Oswan, K. (2014). *Soil Degradation, Conservation and Remediation*. Springer.

Pla Sentís, I. (2006). Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y consecuencias. *X Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 1–9.

Región de Murcia. (2013). *Servicio de Programas Educativos*.

http://ftp.murciaeduca.es/programas_educativos/Nuevo1/LIBROETSIA/21_analisis_de_aguas_conductividad_elctrica.html

Rueda, E., Barrón, J., Rangel, P., López, G., Murillo, B., García, J. L., Tarazón, M.

A., & Troyo, E. (2009). *La salinidad: ¿un problema o una opción para la agricultura?* Plaza y Valdés, S.A. de C.V.

Sarria, F. (2004). *SIG aplicado al análisis y cartografía de riesgos climáticos*.

Universidad de Murcia.

Secretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos. (2015). Tercera Conferencia de las

Naciones Unidas sobre la vivienda y el desarrollo urbano sostenible Hábitat III.

Expansión Urbana, 58–59.

UN-Habitat. (2012). *Urban patterns for a green economy: Leveraging density*.

US EPA. (2000). Introduction to Phytoremediation. *The U.S. Environmental*

Protection Agency.

Valencia, C., & Hernández, A. (2002). *Muestreo de suelos, preparación de muestras*

y guía de campo. UNAM.

Anexos