



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Ambiental

Evaluación de la calidad de los suelos de la zona urbana de Loja, a través de índices de calidad de suelos basados en servicios ecosistémicos.

Trabajo de Integración Curricular, previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Alan Geovanny Morocho Pullaguari

DIRECTOR:

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 24 de marzo de 2023

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho, Mg. Sc

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la calidad de los suelos de la zona urbana de Loja, a través de índices de calidad de suelos basados en servicios ecosistémicos**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Ambiental**, de autoría del estudiante **Alan Geovanny Morocho Pullaguari**, con **cédula de identidad Nro. 1105201956**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS GUILLERMO
CHUNCHO MOROCHO**

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Alan Geovanny Morocho Pullaguari**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Alan Morocho Pullaguari', written over a faint circular stamp or watermark.

Cedula de identidad: 1105201956

Fecha: 06/02/2024

Correo electrónico: alan.morocho@unl.edu.ec

Teléfono: 0988732403

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Alan Geovanny Morocho Pullaguari**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la calidad de los suelos de la zona urbana de Loja, a través de índices de calidad de suelos basados en servicios ecosistémicos**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Ambiental**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, al día seis del mes de febrero del dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: Alan Geovanny Morocho Pullaguari

Cédula: 1105201956

Dirección: Barrio Motupe

Correo electrónico: alan.morocho@unl.edu.ec

Teléfono: 0988732403

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho, Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente Trabajo de Integración Curricular se lo quiero dedicar con mucho amor y alegría a mis queridos padres Geovanny y Monica, así como también a mis a hermanos Joe y Alisson, quienes fueron guía en mi camino, por enseñarme a cumplir mis sueños y objetivos, por su amor incondicional y más que todo por su apoyo durante los momentos buenos y malos de la vida.

Alan Geovanny Morocho Pullaguari

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios, a mis queridos padres, a mis hermanos y a mis demás familiares por su apoyo incondicional y por ser una fuente de inspiración que permitieron cumplir con esta etapa en mi vida. Así mismo, quiero extender mi gratitud a la planta docente de la Carrera de Ingeniería Ambiental y de manera muy especial a mi director de TIC Ing. Carlos Chuncho Morocho quién desde un inicio me apoyó personal y académicamente durante el proceso y desarrollo del presente Trabajo de Integración Curricular.

Además, quiero agradecer a mis compañeros y amigos, quienes contribuyeron en el trabajo de campo, brindándome gratas experiencias y compartiendo conocimientos.

Alan Geovanny Morocho Pullaguari

Índice de contenidos

| | |
|--|------------|
| Portada | i |
| Certificación | ii |
| Autoría | iii |
| Dedicatoria | v |
| Agradecimiento | vi |
| Índice de contenidos | vii |
| Índice de tablas..... | ix |
| Índice de figuras..... | x |
| Índice de anexos..... | xi |
| 1. Título | 1 |
| 2. Resumen | 2 |
| Abstract | 3 |
| 3. Introducción | 4 |
| 4. Marco Teórico | 6 |
| 4.1 Fundamento Teórico | 6 |
| 4.1.1 Calidad e importancia del suelo..... | 6 |
| 4.1.2 Causas de la degradación de los suelos. | 7 |
| 4.1.3 Consecuencias de la degradación de los suelos. | 7 |
| 4.1.4 ¿Por qué evaluar la calidad del suelo? | 8 |
| 4.1.5 Funciones o servicios ecosistémicos del suelo. | 8 |
| 4.1.6 Índices de calidad del suelo, una herramienta para evaluar la calidad del suelo. | 10 |
| 4.1.7 Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo..... | 10 |
| 4.1.8 Infraestructura verde..... | 14 |
| 5. Metodología | 16 |
| 5.1 Ubicación. | 16 |
| 5.2 Selección de la infraestructura verde..... | 16 |
| 5.3 Muestras del Suelo | 19 |
| 5.3.1 Patrones de Muestreo..... | 19 |
| 5.4 Análisis de suelos | 20 |
| 5.5 Selección y desarrollo de Índices de calidad del suelo (ICS) basados en servicios ecosistémicos. | 22 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.5.1 | Identificación de un conjunto mínimo de datos (CMD) a partir de un conjunto total de datos. | 22 |
| 5.5.2 | Normalización de los Indicadores..... | 23 |
| 5.5.3 | Integración de las puntuaciones de los indicadores en un ICS..... | 25 |
| 5.6 | Comparar, mediante el uso de ICS, la calidad de los suelos de la infraestructura verde de la zona urbana de Loja. | 25 |
| 6. | Resultados | 27 |
| 6.1 | Selección de los indicadores de calidad de suelo basados en los servicios ecosistémicos que provee la infraestructura verde y su suelo de la zona urbana de Loja..... | 27 |
| 6.1.1 | Conjunto total de Datos | 27 |
| 6.2 | Desarrollo del Índice de Calidad del Suelo | 32 |
| 6.2.1 | Conjunto mínimo de datos (CMD). | 32 |
| 6.2.2 | Transformación de los indicadores | 34 |
| 6.2.3 | Índices de calidad del suelo (ICS)..... | 34 |
| 6.3 | Comparación de la calidad de los suelos de la infraestructura verde de la zona urbana de Loja mediante el uso de ICS. | 37 |
| 6.3.1 | Spider plot..... | 39 |
| 7. | Discusión..... | 42 |
| 8. | Conclusiones | 46 |
| 9. | Recomendaciones | 47 |
| 10. | Bibliografía..... | 48 |
| 11. | Anexos | 56 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Indicadores físicos para la calidad del suelo. | 12 |
| Tabla 2. Indicadores químicos para la calidad del suelo. | 13 |
| Tabla 3. Indicadores biológicos para la calidad del suelo. | 14 |
| Tabla 4. Clasificación de la Infraestructura verde de la ciudad de Loja. | 19 |
| Tabla 5. Método de laboratorio para determinar el valor de los indicadores del conjunto mínimo de datos (CMD) | 21 |
| Tabla 6. Clasificación de la calidad del suelo. | 25 |
| Tabla 7. Conjunto total de datos (CTD) para el desarrollo del ICS de la infraestructura verde de la ciudad de Loja. | 30 |
| Tabla 8. Medida de ajuste de muestreo (MAM) para indicadores CMD de acuerdo con KMO, aplicados en la infraestructura verde de la ciudad de Loja. | 32 |
| Tabla 9. Factores y similitudes para el modelo de dos factores basado en los indicadores del CMD de la infraestructura verde de la ciudad de Loja. | 33 |
| Tabla 10. Curvas de normalización de indicadores del CMD. | 34 |
| Tabla 11. Medidas de resumen de ICS por su forma tipo línea y polígono. | 37 |
| Tabla 12. Medidas de Resumen de ICS según la zona. | 37 |
| Tabla 13. Test Tukey (Alfa=0.05) entre las tres zonas estudiadas. | 37 |
| Tabla 14. Test Tukey (Alfa=0.05) para las formas de línea y polígono en la zona Norte del perímetro urbano de la ciudad de Loja. | 38 |
| Tabla 15. Test Tukey (Alfa=0.05) para las formas de línea y polígono en la zona Centro del perímetro urbano de la ciudad de Loja. | 38 |
| Tabla 16. Test Tukey (Alfa=0.05) para las formas de línea y polígono en la zona Sur del perímetro urbano de la ciudad de Loja. | 39 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación Geográfica del Área de estudio | 16 |
| Figura 2. Áreas verdes y perímetro urbano de la ciudad de Loja..... | 18 |
| Figura 3. Patrón de muestreo diagonal simple. | 20 |
| Figura 4. Esquema de clasificación de los indicadores del suelo. | 24 |
| Figura 5. Campo de búsqueda de información..... | 27 |
| Figura 6. Nodos temáticos..... | 28 |
| Figura 7. Prueba paralela de las variables para determinar el número de factores a utilizar. . | 33 |
| Figura 8. Calidad del Suelo de las áreas en forma de línea y polígono de las áreas verdes de la ciudad de Loja Mediante ICS. | 35 |
| Figura 9. Calidad del Suelo de las tres zonas estudiadas de la ciudad de Loja Mediante ICS. | 36 |
| Figura 10. Spider plot de los ICS de las áreas de la zona Norte de la ciudad de Loja..... | 39 |
| Figura 11. Spider plot de los ICS de las áreas en forma de líneas en la zona Centro de la ciudad de Loja..... | 40 |
| Figura 12. Spider plot de los ICS de las áreas en forma de polígono en la zona Centro de la ciudad de Loja..... | 40 |
| Figura 13. Spider plot de los ICS de las áreas en forma de líneas en la zona Sur de la ciudad de Loja. | 41 |
| Figura 14. Spider plot de los ICS de las áreas en forma de polígono en la zona Sur de la ciudad de Loja..... | 41 |

Índice de Anexos

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Captura de carbono de la vegetación de las áreas verdes de la ciudad de Loja. | 56 |
| Anexo 2. Frecuencia de especies forestales encontradas en los puntos de muestreo. | 57 |
| Anexo 3. Frecuencia de revistas a través del análisis bibliométrico..... | 58 |
| Anexo 4. Indicadores citados para el desarrollo de ICS. | 59 |
| Anexo 5. Resultados análisis de laboratorio | 61 |
| Anexo 6. Grafica de Indicadores Normalizados. | 63 |
| Anexo 7. Normalización de Indicadores..... | 64 |
| Anexo 8. Certificado de traducción del abstract. | 65 |

1. Título

Evaluación de la calidad de los suelos de la zona urbana de Loja, a través de índices de calidad de suelos basados en servicios ecosistémicos.

2. Resumen

La vegetación urbana en conjunto con el suelo, proporcionan servicios ecosistémicos (SE) y contribuye al bienestar humano. Además, desempeña un papel importante en la mitigación de los principales problemas ambientales urbanos como la contaminación del aire y atenuación del ruido. Sin embargo, existen pocos estudios sobre la evaluación de la calidad del suelo urbano basados en servicios ecosistémicos y la multifuncionalidad del suelo. En el presente estudio se evaluó el estado del suelo en 18 áreas verdes de la ciudad de Loja mediante la creación y desarrollo de un índice de calidad del suelo urbano (ICS), el cual se diseñó con el objetivo de proporcionar una evaluación detallada del suelo. Para ello se empleó la base de datos de artículos científicos publicados entre 1992 y 2022, obtenida de la Web of Science. Con estos se realizó un estudio bibliométrico con la ayuda de la librería “Bibliometrix” en R, lo cual permitió identificar los SE y los indicadores que mejor los representan la calidad del suelo urbano. En total se consideraron 13 indicadores, de los cuales mediante el uso del análisis factorial se extrajeron los indicadores con mayor correlación, siendo los seleccionados: pH, MO, N, P y Ca. El ICS se calculó como la media aritmética de los puntajes de los indicadores antes mencionados, obtenidos a través de funciones matemáticas. El ICS identificó con éxito los sitios de baja calidad del suelo entre las 18 áreas verdes con diferentes tipos espaciales (línea y polígono), siendo la Av. 8 de diciembre la zona con menor calidad de suelo (0.13); por u otro lado el parque Infantil presentó la más alta calidad del suelo en la ciudad (0.35). Además, el ICS puede ayudar a las partes interesadas urbanas a evaluar y monitorear la calidad del suelo de la vegetación urbana de la ciudad de Loja.

Palabras clave: Calidad del suelo, Índices de calidad, Indicadores, Servicios ecosistémicos, Funciones del suelo.

Abstract

Urban vegetation, as well as soil, provides us with ecosystem services (ES) and contributes to human well-being. In addition, it plays an important role in mitigating major urban environmental problems such as air pollution and noise attenuation. However, there are few studies on the assessment of urban soil quality based on ecosystem services and soil multifunctionality. In this study, the soil condition of 18 green areas in Loja was evaluated through the creation and development of an urban soil quality index (SQI), which was designed to provide a detailed soil evaluation. The database of scientific articles published between 1992 and 2022, obtained from the Web of Science, was used for this purpose. A bibliometric study was carried out, using the "Bibliometrix" R library, which made it possible to identify the ES and the indicators that best represent urban soil quality. A total of 13 indicators were considered; the indicators with the highest correlation were selected by using factor analysis, the selected ones being: pH, MO, N, P, and Ca. The SQI was calculated by considering the arithmetic mean of the indicators, which were obtained through mathematical functions. The SQI successfully identified the sites of low soil quality among the 18 green areas with different spatial types (line and polygon). As a result, Av. 8 de diciembre was the area with the lowest soil quality index (0.13); on the other hand, Parque Infantil was the area with the highest soil quality index in the city (0.35). Moreover, the SQI can help urban stakeholders evaluate and monitor the soil quality of urban vegetation in Loja.

Keywords: Ecosystem services, soil functions, indicators, soil quality, soil quality index.

3. Introducción

El suelo es un recurso natural que desempeña funciones ambientales, económicas y sociales; y, sumado a su calidad, es clave para el desarrollo de la vida (Vrshchai et al., 2008). Al hablar de calidad del suelo nos referimos a un término cuyo significado ha sido discutido por varios autores, siendo uno de los aceptados al propuesto por el comité de la Soil Science Society of America que lo define como: "la capacidad del suelo para funcionar, dentro de condiciones naturales o límites de ecosistemas gestionados, para sustentar la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y apoyar la salud humana y la vivienda" (Simfukwe et al., 2021). En las zonas urbanas el suelo es la base del funcionamiento de los ecosistemas, proporcionando servicios ecosistémicos, clave para que una ciudad sea habitable (Tresch et al., 2018). Sin embargo, este recurso no ha recibido de la sociedad la atención que merece y durante los últimos años las actividades antropogénicas, y en especial el desarrollo urbano, han reducido su seguridad y salud, aumentando su inestabilidad (Bone et al., 2010), su calidad y capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos (Joimel et al., 2017), que son obtenidos directa o indirectamente del ecosistema para el beneficio de las poblaciones humanas, beneficios que comprenden mejoras funcionales para los ambientes naturales y antrópicos (Montico et al., 2021).

En Ecuador se estima que anualmente se pierden entre 30 y 50 toneladas de suelo fértil por hectárea, siendo las principales causas las malas prácticas de manejo en la agricultura, ganadería y la expansión urbana, siendo esta última una de las actividades que perjudica el recurso suelo (Ministerio del Ambiente, 2018). En la ciudad de Loja la expansión urbana; ha experimentado un incremento del 42%, pasando de 3 316,6 ha en 1997 a 5 742,35 ha en el año 2010 (Carrillo, 2010), siendo la principal causa, junto al crecimiento urbanístico acelerado y desorganizado (GAD Municipal de Loja, 2014), del daño a las características físicas, químicas y biológicas de los suelos (Adhikari & Hartemink, 2016); además, de la degradación de áreas verdes, impactos negativos a la flora, fauna y agua, y su subsiguiente deterioro de las funciones y servicios de los ecosistemas (Civeira, 2016).

Dado que el suelo es un componente importante de los ecosistemas urbanos, su calidad debe reconocerse e integrarse en la gestión de la calidad ambiental y mantenerse en un nivel adecuado (Dobson et al., 2021), por ello la evaluación de la calidad del suelo en zonas urbanas es crucial para comprender la salud del suelo y sus efectos en la salud

humana y el medio ambiente (Zhang et al., 2012), sin embargo, la calidad del suelo no puede medirse ni monitorearse directamente, pero puede evaluarse y calcularse mediante un conjunto de atributos e índices del suelo (Mamehpour et al., 2020), que son la agrupación de varios indicadores, los cuales pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas. En este contexto, el Índice de calidad del suelo es un método beneficioso que permite la agrupación de indicadores (Armenise et al., 2013), información que permite conocer el estado, uso y manejo del suelo, aspectos importantes debido a su relación con calidad ambiental y aspectos económicos (Chuncho & Arrellano, 2018) además sirve como herramienta para generar buenas prácticas de manejo (Banegas, 2014). Los suelos urbanos son una mezcla de factores naturales propios del suelo y actividades antropogénicas (Tresch et al., 2018) y son el único medio de conexión de las ciudades con la naturaleza por lo que evaluar la calidad del suelo de la infraestructura verde de las zonas urbanas es de mucha importancia, debido a su rol al brindar varios servicios ecosistémicos, como la mitigación de los principales problemas ambientales urbanos (Hyun et al., 2022), como el cambio climático, la contaminación por elementos tóxicos y la contaminación del aire (Mamehpour et al., 2020).

La presente investigación tiene por objetivo determinar la calidad de los suelos de 18 áreas verdes de la zona urbana de Loja, a través del desarrollo de índices de calidad de suelo, basados en servicios ecosistémicos. El desarrollo del ICS permitió evaluar la calidad del suelo a partir de un conjunto de datos, (indicadores físicos y químicos). La selección de estos indicadores se basó en los principales servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos urbanos en conjunto con la infraestructura verde, se relacionaron con las funciones del suelo que lo sustentan, y por último se seleccionó un conjunto de indicadores que puedan evaluar cuantitativamente las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos. En este contexto, en esta investigación, para analizar la calidad del suelo relacionada con; servicios ecosistémico y el área urbana de la ciudad de Loja, se plantearon los siguiente objetivos; i) Seleccionar indicadores de calidad de suelo basados en los servicios ecosistémicos que provee la infraestructura verde y su suelo de la zona urbana de Loja, ii) Desarrollar índices de calidad del suelo (ICS) y iii) Comparar, mediante el uso de ICS, la calidad de los suelos de la infraestructura verde de la zona urbana de Loja.

4. Marco Teórico

4.1 Fundamento Teórico

4.1.1 *Calidad e importancia del suelo*

La calidad del suelo (SQ), es un concepto que se dio a conocer a principios de la década de 1990 junto con la conciencia global de la importancia del suelo para la sostenibilidad agrícola y la calidad ambiental (Kazmierczak et al., 2020). Uno de los conceptos aceptados para definir la calidad del suelo es el propuesto por un comité de la Soil Science Society of America que describe la calidad del suelo como: "la capacidad del suelo para funcionar, dentro de condiciones naturales o límites de ecosistemas gestionados, para sustentar la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y apoyar la salud humana y la vivienda" (Oliveira et al., 2014; Simfukwe et al., 2021).

El suelos es considerado como un recurso viviente, dinámico y de suma importancia para entorno natural, constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, debido a su importancia para la explotación agropecuaria y forestal (García et al., 2012). Además, es indispensable para el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes, dado que, es parte esencial de los ciclos biogeoquímicos, en los cuales hay distribución, transporte, almacenamiento y transformación de materiales y energía necesaria para la vida en el planeta (Van Miegroet & Johnson, 2009). Su disponibilidad es limitada y está constituido por aire, agua, materia orgánica, microorganismos que realizan procesos bióticos y abióticos esenciales para la sociedad y el planeta (FAO, 2018).

Este recurso se utiliza para fines muy diversos: agricultura, ganadería, pastos y montes, extracción de minerales y de materiales para la construcción, soporte para las edificaciones, eliminación de residuos y actividades de ocio y recreo, entre otros (Silva & Correa, 2009). En este sentido, puede decirse que el suelo provee importantes funciones ambientales, de las cuales se derivan servicios ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana (Cotler et al., 2007). La degradación de este recurso es considerada como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos y una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible de los terrenos agrícolas (Bone et al., 2010).

La calidad del suelo es un parámetro que no puede medirse directamente, sin embargo, engloba el examen e integración de relaciones y funciones entre varios

parámetros biológicos, químicos y físicos que son medidos e integrados (Hemati et al., 2020). De acuerdo con su variabilidad espacial y temporal, sensibilidad a cambios de uso y manejo del suelo, clara discriminación entre los sistemas de manejo, rápida respuesta al cambio y facilidad en su interpretación y ejecución, pueden ser utilizadas como indicadores de calidad (Ballestar & Quiñones, 2006).

4.1.2 Causas de la degradación de los suelos.

La calidad y salud del suelo es más propensa a ser modificada a causa de dos grandes categorías, la primera se refiere a la degradación por desplazamiento del material edáfico, en ella podemos encontrar a la erosión hídrica y eólica (Schröder et al., 2016) y la segunda categoría se refiere a la degradación como resultado de un deterioro interno, en esta categoría encontramos a la degradación química que engloba la pérdida de nutrientes, la contaminación, la acidificación y la salinización, la degradación física, que abarca la compactación y el deterioro de la estructura del suelo y la degradación biológica (Schindelbeck et al., 2008), resultado de un desequilibrio en la actividad biológica en el suelo, incluida la pérdida del banco de semillas y microorganismos de importancia en procesos de fertilidad y descontaminación (Cotler et al., 2007).

La degradación del suelo puede producirse en zonas rurales y urbanas. En las zonas rurales mediante el cambio de uso para los sistemas de producción agropecuarios, este cambio en el uso de la tierra modifica el tipo y la densidad de las poblaciones vegetales originales y/o que dejan al descubierto la superficie del suelo, propicia su degradación (Cruz et al., 2004). Mientras que en las ciudades las construcciones y el depósito de residuos sólidos generan también un drástico impacto sobre la calidad de dicho recurso (Cotler et al., 2007).

4.1.3 Consecuencias de la degradación de los suelos.

El suelo influye considerablemente sobre el medio en el que se ubica y repercute en las actividades sociales y económicas de los grupos humanos que se asientan en ese territorio (Orjuela, 2016). La historia, da cuenta de cómo el suelo ha hecho parte de la vida de los seres humanos, no obstante, que es el gran olvidado cuando se alude a los recursos naturales, no solo para incrementar la producción de alimentos sino para preservar los servicios ecosistémicos y regular el clima (Rojas & Ibarra, 2003).

4.1.4 ¿Por qué evaluar la calidad del suelo?

Determinar de la calidad del suelo es un proceso de conocimiento eficaz para evaluar la sustentabilidad de las prácticas de manejo del suelo, es una herramienta centrada en la dinámica de las propiedades y procesos de los suelos, realizada para estructurar metas prioritarias, identificar las funciones críticas del suelo necesarias para lograr esas metas (Navarrete Segueda et al., 2011).

La calidad del suelo es dinámica y puede cambiar en el corto plazo, de acuerdo con el uso y prácticas de manejo, y para conservarla es necesario implementar prácticas sustentables en el tiempo (Navarrete Segueda et al., 2011). La evaluación de la calidad del suelo permite entender y revertir el deterioro en la prestación de servicios ecosistémicos, para asegurar una cuidadosa y buena planificación de parte de los tomadores de decisión para preservar este valioso recurso que tarda de cientos a cientos de miles de años para construirse, y que es un componente clave para el bienestar del ecosistema y la salud del hombre (Lopez, 2016).

4.1.5 Funciones o servicios ecosistémicos del suelo.

Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (Mooney et al., 2004). En otras palabras, son beneficios que los ecosistemas nos dan y ayudan a que las poblaciones obtengan lo necesario para vivir, entre muchos otros servicios (Revollo et al., 2020). Estos generalmente según The Millennium Ecosystem Assessment se clasifican en cuatro grandes grupos (Watson & Zakri, 2002)

1) Servicios de suministro o aprovisionamiento: productos que se obtienen de los ecosistemas, como los alimentos y el agua.

2) Servicios de regulación: beneficios que se obtienen de la regulación de los procesos de los ecosistemas, como la regulación de las inundaciones y el clima.

3) Servicios culturales: beneficios intangibles que las personas obtienen de los ecosistemas.

4) Servicios de apoyo: son aquellos que son necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos. Se diferencian de los demás servicios porque sus impactos sobre las personas son a menudo indirectas o se producen en mucho tiempo,

mientras que los cambios en las otras categorías tienen impactos relativamente directos y a corto plazo.

Estos comprenden tanto los beneficios que se obtienen de la interacción directa con la naturaleza, cuya generación depende de la presencia de las personas en el sitio, como aquellos que se obtienen de forma indirecta, tales como los de índole espiritual o simbólica.

El suelo es un componente clave para el bienestar del ecosistema y la salud del hombre, Orjuela (2016) menciona algunos servicios ecosistémicos que proporciona éste, los cuales se mencionan a continuación.

Producción de alimentos y biomasa: El suelo provee más del 95% de la producción mundial de alimentos, ya que éste actúa como soporte para la flora y a su vez suministra los nutrientes necesarios para producir alimentos y biomasa en general.

Escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos. El suelo cumple un rol fundamental en los ciclos biogeoquímicos que ocurren en la naturaleza son mecanismos indispensables para que haya condiciones estables en la tierra y para que se dé la vida. Estos ciclos involucran elementos como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros.

Almacenamiento o fijación de carbono. El suelo es el mayor sumidero de carbono en la naturaleza. La fijación del carbono por el suelo impide que el CO₂ vaya a la atmósfera, siendo que este es uno de los gases de efecto invernadero que propician el cambio climático. Con la intermediación de las plantas y la participación de los organismos del suelo, el carbono se transforma en materia orgánica que se acumula en el suelo por amplios periodos de tiempo.

Almacenamiento y filtración de agua. El suelo capta, infiltra y almacena el agua en el ámbito del ciclo hidrológico y permite así la recarga de los acuíferos. Influyendo en la calidad del agua, ya que amortigua y atrapa ciertos contaminantes impidiendo que estos lleguen a las reservas de agua.

Soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas. Del suelo se extrae la materia prima (grava, arena, arcilla o rocas) necesaria para que las sociedades realicen actividades industriales, construcciones residenciales y turísticas, construcción de carreteras entre otras. Necesarias para el bienestar humano.

Reserva de biodiversidad. En el suelo encontramos una gran diversidad de organismos que viven en su superficie y al interior de este por lo que es considerado como una de las reservas más importantes de biodiversidad. Los servicios ecosistémicos que presta el suelo dependen en gran parte de las comunidades de organismos presentes en este medio.

Entorno físico y cultural para la humanidad. El suelo sirve de base para las actividades humanas, es un elemento del paisaje y del patrimonio cultural. Por lo que adquiere la categoría de “bien social” que por lo mismo amerita su conocimiento por parte de la sociedad mundial para que lo valore, lo proteja y lo conserve, como una obligación que resulta ser en los actuales momentos un imperativo ético.

4.1.6 Índices de calidad del suelo, una herramienta para evaluar la calidad del suelo.

La calidad del suelo es un parámetro que no puede medirse directamente, por lo que es necesario contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo (Hemati et al., 2020). Así surgen los indicadores, que son herramientas de medición que debe ofrecer información sobre las propiedades, los procesos y las características y brindan información acerca de los cambios o tendencias de la condición en la que se encuentra el suelo (García et al., 2012). Además, permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos que ocurren en el suelo. Pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas.

Según Cruz et al.,(2004) los indicadores de la calidad del suelo deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

4.1.7 Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo.

Cruz et al.,(2004) menciona que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, para poder ser consideradas como indicadoras de calidad deben cumplir con lo siguiente:

- a. Describir los procesos del ecosistema.
- b. Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

- c. Reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir
- d. Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo
- e. Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo
- f. Ser reproducibles
- g. Ser fáciles de entender
- h. Ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica
- i. Cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Los indicadores de calidad del suelo han sido aplicados ampliamente en todo el mundo como una herramienta valiosa para evaluar las prácticas de uso y manejo de la tierra (Li et al., 2023), se pueden clasificar en tres grandes categorías, las cuales se detallan a continuación.

Indicadores Físicos. Las propiedades físicas del suelo pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad, ya que estas reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas (Oliveira et al., 2014). Así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (Morales-Cerdas et al., 2018).

Existe una amplia variedad de indicadores físicos de la calidad del suelo, estos varían de acuerdo con las características predominantes del lugar en estudio (Navarrete Segueda et al., 2011). A continuación, se presentan algunos de los indicadores físicos más utilizados para evaluar la calidad del suelo.

Tabla 1. *Indicadores físicos para la calidad del suelo.*

| Propiedad | Relación con la condición y función del suelo | Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación |
|--|--|--|
| Textura | Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo. | % de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje. |
| Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces. | Estima la productividad y potencial y erosión. | cm o m. |
| Infiltración y densidad aparente. | Potencial de lavado; productividad y erosividad. | Minutos / 2.5 cm de agua y g/cm ³ . |
| Capacidad de retención del agua. | Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica. | % (cm ³ /cm ³), cm de humedad aprovechable/30cm; intensidad de precipitación. |

Nota. Tomado de La Calidad del Suelo y sus Indicadores (p.94). por Cruz et al, 2004.

Indicadores Químicos. Son condiciones que afectan la relaciones suelo planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (Maurya et al., 2020).

Tabla 2. *Indicadores químicos para la calidad del suelo.*

| Propiedad | Relación con la condición y función del suelo | Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación |
|--------------------------------|---|--|
| Materia orgánica (N y C total) | Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión. | Kg de C o Na ha-1. |
| pH | Define la actividad química y biológica. | Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana. |
| Conductividad eléctrica. | Define la actividad vegetal y microbiana. | dSm-1; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana. |
| P, N y K extractables | Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental. | Kg ha-1; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos. |

Nota. Tomado de La Calidad del Suelo y sus Indicadores (p.94). por Cruz et al, 2004.

Indicadores biológicos. Son condiciones integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia de micro y macroorganismos (Cruz et al, 2004). Se relacionan estrechamente con la descomposición de la materia orgánica derivada de los residuos vegetales y animales, así como del reciclaje de la misma, ya que los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Navarrete Segueda et al., 2011).

Tabla 3. *Indicadores biológicos para la calidad del suelo.*

| Propiedad | Relación con la condición y función del suelo | Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación |
|--|--|---|
| Bacterias | Realizan la descomposición, la mineralización, y son las impulsoras de los ciclos biogeoquímicos en el medio ambiente. | |
| Hongos | Cumplen un papel clave en el mantenimiento de un ecosistema sostenible al aumentar la restauración de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema restaurado | |
| C y N de la biomasa microbiana | Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica | Kg de N o C ha ⁻¹ relativo al C y N total o CO ₂ producidos |
| Respiración, contenido de humedad y temperatura. | Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa | Kg de C ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C |
| N potencialmente mineralizado. | Productividad del suelo y suministro potencial de N | Kg de N ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo al contenido de C y N total |

Nota. Tomado de La Calidad del Suelo y sus Indicadores (p.94). por Cruz et al, 2004 y Maurya et al., 2020.

4.1.8 Infraestructura verde

Es una red de espacios verdes que mantienen las funciones y valores de los ecosistemas naturales y brindan beneficios a las poblaciones humanas (Vásquez, 2016). En el entorno urbano; han tomado gran importancia por su aporte a la mejora para la calidad de vida, conservación de la biodiversidad y vinculación con el contexto rural (Segarra Morales et al., 2021)

El conjunto de espacios verdes forma un sistema de vital importancia en el mantenimiento de los principales procesos ecológicos y territoriales, convirtiéndose en una herramienta fundamental no solo en las políticas de desarrollo sostenible, sino en las

estrategias del patrimonio ambiental (León, 2019). El ordenamiento territorial, considerándolo como un sistema, en la que los espacios verdes están relacionados, desempeñan un papel necesario y son punto de ordenamiento de cualquier región o ciudad y, por tanto, han de ser planificados y gestionados con dichos criterios (Valdés & Dora Foulkes, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que todas las ciudades y pueblos deben tener un área mínima de 9 m² de áreas verdes por habitante (Unión Europea, 2014), en Ecuador el promedio de área verde por habitante es de 13,01 m²/hab, con esto el 54% de los Municipios del país cumplen con la recomendación de la OMS, en el caso de la ciudad de Loja el promedio es de 4.79 m²/hab (INEC, 2012).

Loja a pesar de no cumplir con la recomendación de la OMS, goza de importantes recursos azules y verdes (Municipio de Loja et al., 2020), el recurso azul caracterizado por un sistema hídrico enriquecido por la presencia de tres ríos y un importante número de quebradas que atraviesan la ciudad de sur a norte. Por otro lado, el recurso verde dado por áreas verdes, entre ellas áreas de protección, espacios construidos ya sean parques, plazas y a lo cual se suma la importante superficie de áreas vacantes en donde predomina vegetación, según el mapa de áreas verdes (Figura 2) del año 2019 desarrollado por el GAD Municipio de Loja se destacan un total de 1384 áreas verdes.

5. Metodología

5.1 Ubicación.

El estudio se realizó en la zona urbana de la ciudad de Loja, perteneciente al cantón y provincia de Loja, ubicada al sur de la región interandina (Sierra) de la República del Ecuador, en el valle de Cuxibamba, pequeña depresión de la provincia de Loja, situada a 2100 m.s.n.m. y a 4 grados de latitud sur (Figura 1). El clima de la ciudad de Loja es templado – ecuatorial, subhúmedo, a excepción de junio y julio, meses en los que se presenta una llovizna tipo oriental (vientos alisios) el clima de Loja es más bien templado, con temperaturas que fluctúan entre los 16 y 21°C. La época de mayor estiaje es en octubre, noviembre y diciembre. Además, presenta una lluvia anual de 900 ml (Weather Spark, 2016).

Loja se organiza en seis parroquias urbanas las cuales son: San Sebastián; El Sagrario; El Valle; Carigán; Sucre y Punzara (GAD Municipal de Loja, 2013), y a su vez estas parroquias se dividen en 62 barrios, de los cuales se seleccionaron las 18 áreas verdes para este estudio.

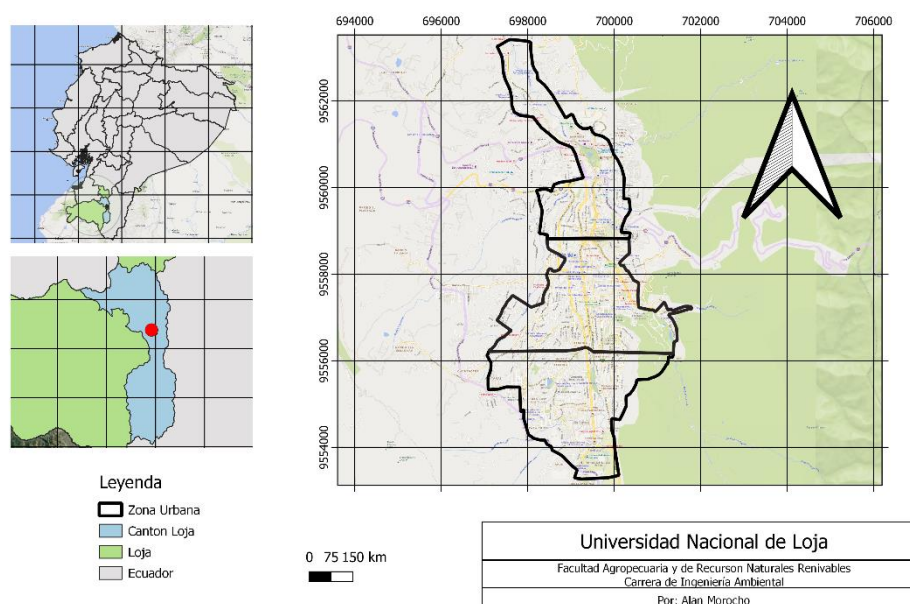


Figura 1. Ubicación Geográfica del Área de estudio

Fuente: Elaboración Propia.

5.2 Selección de la infraestructura verde.

Para la selección de la infraestructura verde del perímetro urbano de la ciudad de Loja se tomó como referencia el mapa de áreas verdes (Figura 2) del año 2019 desarrollado por el GAD Municipio de Loja, donde se detallan tres categorías de áreas

verdes; 1) ornato (Comprendido por plazas y parques públicos), 2) recreación (Zonas públicas de fácil acceso que están acondicionadas para el uso recreativo) y 3) protección (Territorios geográficos utilizados con el fin de proteger la biodiversidad del área en cuestión). De estas categorías, se seleccionaron las áreas verdes más representativas en extensión y popularidad, su rol en la mitigación de los principales problemas ambientales urbanos (Grzędzicka, 2019) y por prestar servicios ecosistémicos de calidad, como aire limpio, reducción del efecto isla de calor, tranquilidad, experiencias espirituales y estéticas para los residentes urbanos (Hyun et al., 2022).

Para facilitar la recolección y determinar el número de muestras de suelo, las áreas verdes seleccionadas fueron clasificadas según su forma tipo línea o polígono (Hyun et al., 2022) (Tabla 4) en donde:

Forma tipo línea: comprende áreas donde la vegetación se encuentra al costado del camino, ríos o parterres. Los árboles están conectados a través de arbustos de sotobosque.

Forma de polígono: comprende parques urbanos construidos y áreas de protección.

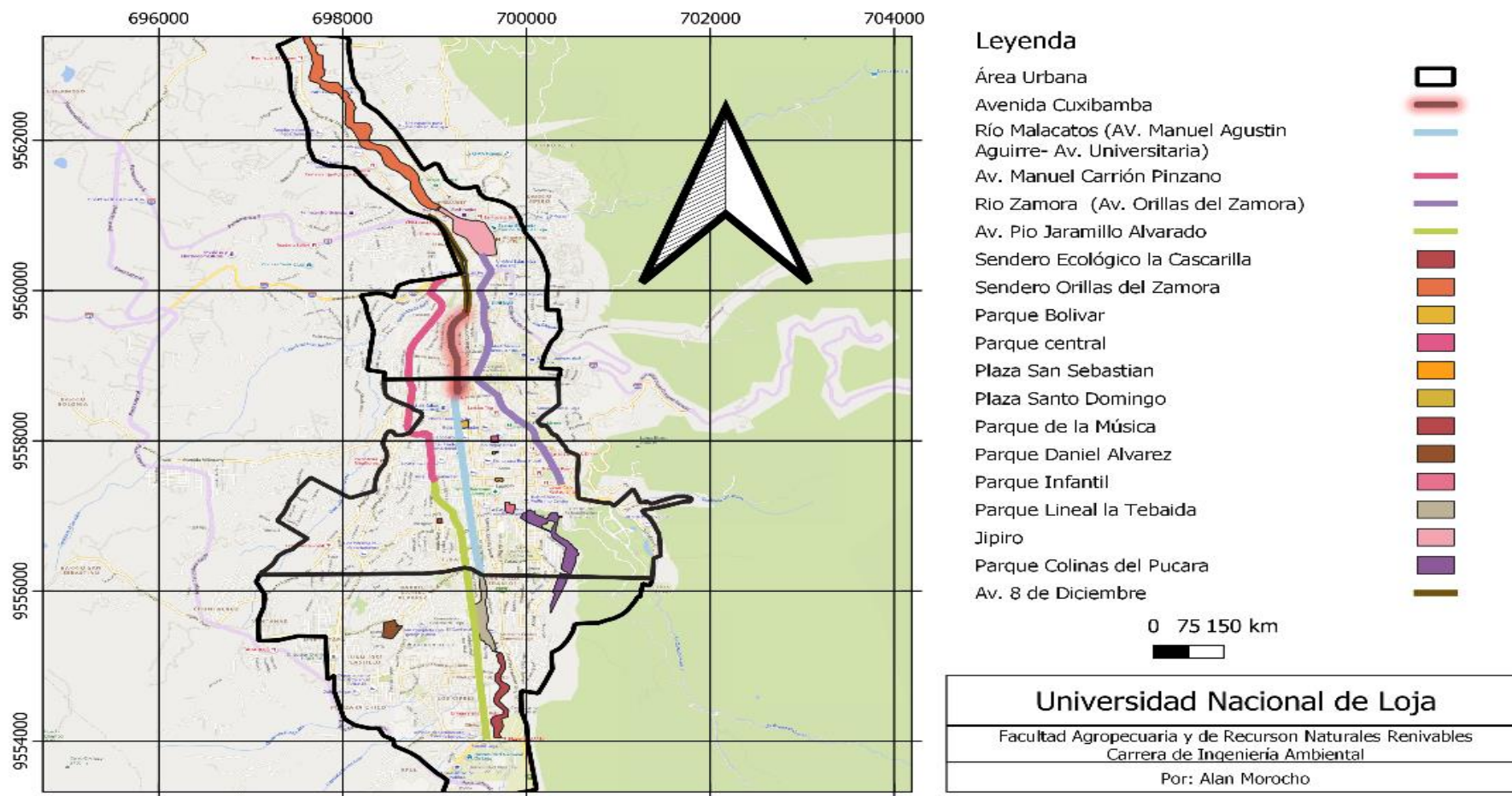


Figura 2. Áreas verdes y perímetro urbano de la ciudad de Loja

Fuente: Municipio de Loja 2019.

Tabla 4. Clasificación de la Infraestructura verde de la ciudad de Loja.

| Línea | Longitud (m) | Nº de muestras | Polígono | Superficie (HA) | Nº de muestras |
|---|--------------|----------------|---------------------------------|-----------------|----------------|
| Avenida 8 de Diciembre (Av. 8D) | 1070 | 1 | Parque Bolívar (PB) | 0.88 | 1 |
| Avenida Cuxibamba (Av.C) | 1050 | 1 | Parque Central (PC) | 0.48 | 1 |
| Rio Malacatos (Av. Manuel Agustín Aguirre y Av. Universitaria) (RM) | 2500 | 2 | Plaza San Sebastián (PSS) | 0.32 | 1 |
| Avenida Manuel Carrión Pinzano (Av.MCP) | 3400 | 1 | Plaza Santo Domingo (PSD) | 0.18 | 1 |
| Rio Zamora (Av. Orillas del Zamora) (RZ) | 2000 | 2 | Parque de la Música (PM) | 0.3 | 1 |
| Avenida Pio Jaramillo Alvarado (PJA) | 1300 | 1 | Parque Daniel Álvarez (PDA) | 1.29 | 1 |
| Sendero la Cascarilla (SC) | 2800 | 2 | Parque Lineal la Tebaida (PLT) | 9.63 | 2 |
| Sendero Orillas del Zamora (OZ) | 2870 | 2 | Parque Recreacional Jipiro (PJ) | 10.66 | 5 |
| | | | Parque Infantil (PI) | 1.21 | 1 |
| | | | Parque Colinas del Pucará (CP) | 15.43 | 4 |
| Total | | 12 | | | 18 |

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Muestras del Suelo

Las muestras de suelo se distribuyeron de manera aleatoria para cubrir toda el área verde en estudio, siguiendo las directrices de la Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (Libro VI Anexo 2., 2019). Las muestras recolectadas permitieron caracterizar el suelo en estudio (Ministerio del Ambiente, 2014).

Se utilizó un muestreo aleatorio simple para determinar los puntos de muestreo. Este método consiste en seleccionar los puntos a muestrear mediante generador de números aleatorios que utiliza las coordenadas permitidas y limita el área a muestrear (Mcroberts et al., 1992), para ellos se utilizó QGIS, software de Sistema de Información Geográfica (versión 3.16.0.).

5.3.1 Patrones de Muestreo.

Para las áreas tipo polígono consideradas de gran extensión, con ayuda del software Qgis versión 3.16.0 se generaron de forma aleatoria los puntos de muestreo, para

cada hectárea se tomaron tres submuestras de suelo para luego agruparlas en una sola muestra con el propósito de cubrir con la varianza interna de cada parcela.

Para las áreas tipo línea, se utilizó un muestreo **Diagonal simple**, el cual consiste en trazar una línea diagonal sobre el plano, sobre la cual se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos, en este caso para cada área de forma lineal se tomaron tres submuestras de suelo para después agruparlas en una sola (Ministerio del Ambiente, 2014).

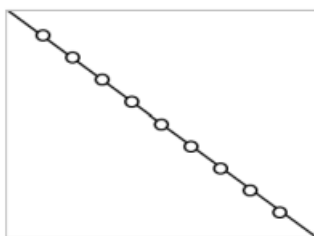


Figura 3. Patrón de muestreo diagonal simple.

Fuente: Ministerio del ambiente 2014.

Una vez establecido el protocolo de muestreo se tomaron un total 30 muestras de suelo (Tabla 4), 12 muestras de suelo en las áreas tipo línea y 18 en las áreas tipo polígono siguiendo métodos estándar. Las muestras de suelo fueron tomadas entre 1 a 2 m de los troncos de los árboles (Hyun et al., 2022). Se limpió la superficie del suelo para luego tomar 1Kg de muestra de suelo a una profundidad de 20 cm con ayuda del barreno. Las muestras recolectadas fueron transportadas en fundas herméticas, etiquetadas y posteriormente transferidas al laboratorio de suelos, foliares y aguas de Agrocalidad ubicado en la ciudad de Quito.

5.4 Análisis de suelos

Las 30 muestras de suelo fueron transferidas al laboratorio de suelos, foliares y aguas de Agrocalidad ubicado en la ciudad de Quito. Se determinó:

Tabla 5. Método de laboratorio para determinar el valor de los indicadores del conjunto mínimo de datos (CMD)

| Variable | Método utilizado |
|---------------------------|-------------------------------|
| Variables Químicas | |
| pH | Técnica de electrometría |
| MO (%) | Técnica volumétrica |
| P (mg/kg) | Técnica de colorimetría. |
| N (%) | Técnica volumétrica |
| Ca (cmol/kg) | Técnica de absorción atómica. |
| Mg (cmol/kg) | Técnica de absorción atómica. |
| Fe (mg/kg) | Técnica de absorción atómica. |
| Mn (mg/kg) | Técnica de absorción atómica. |
| Cu (mg/kg) | Técnica de absorción atómica. |
| Zn (mg/kg) | Técnica de absorción atómica. |
| K (cmol/kg) | Técnica de absorción atómica. |
| Variables Físicas | |
| Textura (%) | Hidrómetro Bouyoucos |

Fuente: Elaboración propia.

También se estimó el carbono de los árboles en los parques urbanos (Anexo 1), para ello, en las zonas en forma de polígono dependiendo de su área se seleccionaron parcelas de 1 hectárea y en las zonas en forma de línea, se trazó una línea diagonal sobre el plano de 100 m. En las parcelas de muestreo establecidas se encontraron especies como; *Pinus patula* (22.76%), *Salix humboldtiana* (22.63%), *Fraxicos excelsior* (12.14%), *Eucalyotus saligma* (11.39%) entre otras (Anexo2). A cada árbol encontrado; se midió: a) altura total, con clinómetro *Suunto*, b) diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) para todos los árboles con $dap \geq 10$ cm (altura a 1.30 m del suelo); y, c) diámetro de la copa de los árboles con cinta diamétrica (Ledesma et al., 2021). Las variables antes mencionadas se emplearon para estimar la biomasa individual arriba del suelo usando un modelo alométrico específico para especies del trópico (Ecuación.1), este modelo matemático permitió realizar el análisis de las relaciones entre diferentes dimensiones de la planta y puede ser útil en los estudios de crecimiento ya que este principio determina el crecimiento de una parte del organismo en relación con el organismo entero o alguna parte de este (Rodriguez, 2013).

$$C = (-2.18062 + (0.08012 * (DAP)) - (0.0006244 * (Dap^2)))$$

Ecuación 1. Ecuación alométrica para especies del trópico.

5.5 Selección y desarrollo de Índices de calidad del suelo (ICS) basados en servicios ecosistémicos.

Para el desarrollo de los ICS se utilizará el enfoque de Andrews et al. (2002), en el cual se consideran tres aspectos:

- a) Identificación de un conjunto mínimo de datos (CMD) a partir de un conjunto total de datos.
- b) Normalización de los indicadores
- c) Integración de las puntuaciones de los indicadores en un ICS.

5.5.1 Identificación de un conjunto mínimo de datos (CMD) a partir de un conjunto total de datos.

Previo al análisis de la determinación de la calidad de los suelos de las áreas verdes de la ciudad de Loja, y cómo están relacionada con los servicios ecosistémicos, se recopiló información de artículos científicos, publicados entre 1992 y 2022, obtenidos de la base de datos Web of Science. Con esta información se realizó un estudio bibliométrico, utilizando la librería “Bibliometrix” en R studio (Quiroz Guerrero et al., 2021). La plataforma de índices de citas recoge las referencias de las principales publicaciones científicas de cualquier disciplina del conocimiento, tanto científico como tecnológico, humanístico y sociológico, en algunos casos desde 1900. Esta información resulta esencial para el apoyo a la investigación y para el reconocimiento de los esfuerzos y avances realizados por la comunidad científica y tecnológica (Vázquez et al., 2019).

Para relacionar la zona urbana con servicios ecosistémicos y calidad del suelo, en la Web of Science las palabras clave que conformaron la etiqueta de campo de búsqueda, fueron: urbana, suelo, calidad del suelo, servicios ecosistémicos e indicadores. Posteriormente se realizó un análisis de las revistas más publicadas que hacen más referencia a los servicios ecosistémicos y su relación con indicadores utilizados en el desarrollo de ICS, en donde se identificaron los indicadores utilizados con frecuencia en el desarrollo de ICS (Conjunto total de datos).

La calidad del suelo se evalúa mediante indicadores sensibles de los cambios en los procesos del suelo y sus funciones relacionadas, en este contexto, para la selección de los indicadores de la calidad del suelo se partió del resultado de la revisión de los artículos

científicos de la Web of Science, donde se obtuvieron los servicios ecosistémicos que provee la infraestructura verde, despreciando los irrelevantes para la vegetación urbana como suministro de alimentos y materias primas (Hyun et al., 2022), los servicios ecosistémicos identificados fueron clasificados por su relación a las principales funciones del suelo urbano, con ello, se estableció un conjunto de indicadores de calidad del suelo (parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo) (Rezaee et al., 2020). Además, la selección de indicadores se realizó considerando el enfoque de Hyun et al., (2022), que señalan: 1) que puedan analizarse fácilmente en muchos laboratorios con métodos estandarizados; 2) son medidos rápidamente en el campo; y, 3) calculados con funciones ya establecidas.

Del conjunto de indicadores se extrajeron los que tengan una alta correlación con las funciones del suelo y permitan el desarrollo del ICS, para ello se realizó un análisis factorial (AF) con el método de rotación oblicua varimax (Yu et al., 2020; Shukla et al., 2006). Previo al AF se realizó una prueba de Kaiser, Meyer y Olkin (KMO) para determinar la idoneidad del análisis factorial y que variables son más significativas; adicionalmente, se aplicó una prueba paralela para establecer el número de factores (Chuncho & Arrellano, 2018).

Para AF se utilizó la librería “nFactors” en el software R 3.6 (R Project for Statistical Computing, Viena, Austria) cuyo resultado permitió determinar los pesos finales de los indicadores, los cuales fueron obtenidos a partir de las comunalidades ponderadas de conjunto mínimo de datos (CMD) normalizadas al dividir por su suma. Las comunalidades ponderadas corresponden a la suma del cuadrado del producto entre cada carga factorial y la correspondiente proporción ponderada (Hernández et al., 2016).

5.5.2 Normalización de los Indicadores

La normalización de los indicadores del conjunto mínimo de datos consiste en transformar los valores medidos en valores estandarizados que van desde 0 a 1, y a su vez estas puntuaciones se puedan combinar para formar un solo valor (ICS) (Hyun et al., 2022). Para ello, los indicadores del conjunto mínimo de datos fueron clasificados en tres categorías; "*más es mejor*" (curva sigmoidea asintótica superior), "*menos es mejor*" (curva sigmoidea asintótica inferior) y "*óptimo*" (función gaussiana) considerando la relación entre los indicadores y la función del suelo (Hernández et al., 2016).



Figura 4. Esquema de clasificación de los indicadores del suelo.

Fuente: Elaboración propia

La clasificación “más es mejor” (Ecuación. 2) fue utilizada para las propiedades cuyo papel está relacionado en la fertilidad del suelo, la distribución del agua y la estabilidad estructural (Hernández et al., 2016). Para la clasificación “menos es mejor” (Ecuación. 2) fue utilizada para indicadores que a valores altos tiene un efecto inhibitor sobre el crecimiento de las raíces de las plantas debido a su efecto sobre la porosidad del suelo (Andrews et al., 2002).

$$y_{ij} = \frac{1}{\left(1 + (x_{ij} - a_j - b_{jk})^2\right)}$$

Ecuación 2. Ecuación para indicadores con la condición más es mejor y menos es mejor.

En la clasificación “óptimo” (Ecuación. 3) se utilizó los indicadores que son necesarios en valores óptimo para permitir el correcto desarrollo de las plantas.

$$y_{ij} = \frac{1}{\left(1 + z_j(x_{ij} - a_j)^2\right)}$$

Ecuación 3. Ecuación para indicadores con la condición optima.

Donde:

Y_{ij} : es el valor de cada observación i en el indicador j obtenido de la función de pertenencia.

X_{ij} : es el valor medido (campo/laboratorio) de cada i observación del indicador j .

a_j : es la observación mediana tomada para cada indicador j

z_j : es el valor máximo entre el indicador j valor;

b_{jk} : corresponde a $z_j - a_j$ para cada indicador j ; con respecto a $k = 1$ (cuanto más es mejor)

b_{jk} : corresponde a la diferencia entre a_j y el valor mínimo de los datos medidos en campo/laboratorio para cada indicador j ; con respecto a $k=2$ (Menos es mejor)

5.5.3 Integración de las puntuaciones de los indicadores en un ICS.

Obtenidas las puntuaciones normalizadas de los indicadores del CMD que intervienen en las funciones del suelo, realizado a través de o las funciones de puntuación y los pesos finales derivados del análisis factorial, el siguiente paso a seguir es la integración en un índice estandarizado entre 0 y 1, para lo cual se hará uso de la ecuación 4 (Chuncho & Arrellano, 2018).

$$CS = \sum_{i=1}^n f(x) * S_j$$

Ecuación 4. Integración de indicadores.

Donde:

ICS= Valor del índice de calidad del suelo.

n= Número de indicadores que componen el CMD.

$f(x)$ = Puntuación de cada indicador.

S_j = Ponderación final asignada a cada indicador (análisis factorial).

Con los resultados de la integración de las puntuaciones se logró determinar la calidad del suelo de las zonas verdes de la ciudad de Loja (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de la calidad del suelo.

| Índice de Calidad de Suelos | Escala | Clases |
|-----------------------------|-------------|--------|
| Muy alta calidad | 0.80 – 1.00 | 1 |
| Alta calidad | 0.60 – 0.79 | 2 |
| Moderada calidad | 0.40 – 0.59 | 3 |
| Baja calidad | 0.20 – 0.39 | 4 |
| Muy baja calidad | 0.00 – 0.19 | 5 |

Nota. Tomado de Understanding the effect of three decades of land use change on soil quality and biomass productivity in a Mediterranean landscape in Chile (Hernández et al, 2016).

5.6 Comparar, mediante el uso de ICS, la calidad de los suelos de la infraestructura verde de la zona urbana de Loja.

En los análisis previos de las propiedades del suelo se calcularon los estadísticos descriptivos. Para determinar las diferencias y comparación entre la calidad del suelo de la infraestructura verde de la zona urbana de Loja, entre zonas y áreas de muestreo, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA, alfa=0,05) y las diferencias significativas se

aplicó la prueba de Tukey, análisis estadístico realizado en Infostat (versión 13.1.1.0). Previo a los análisis de varianza se consideraron los supuestos: la normalidad, linealidad e independencia de cada una de las variables (Yu et al., 2019).

Los puntajes de las funciones del suelo que se relacionan con los ICS se visualizarán usando spider plot (Hyun et al., 2022)

indicadores se tomaron como base los propuestos por Hyun et al., (2022), quien en su investigación cita los que mejor representan el estado actual del suelo en zonas urbanas (Anexo 4). Los indicadores y servicios ecosistémicos identificados pueden ser observados en la tabla 7, en la misma también se muestran los indicadores seleccionados para este estudio, en donde también se aprecia la relación de los servicios ecosistémicos con las funciones del suelo, relación que permitió determinar los ICS a partir los indicadores que fueron tomados en cuenta para la presente investigación.

Tabla 7. Conjunto total de datos (CTD) para el desarrollo del ICS de la infraestructura verde de la ciudad de Loja.

| Indicador | Función del suelo | Servicio ecosistémico |
|------------------------------------|--|--|
| Textura | <ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad física y apoyo. • Regular el flujo y almacenamiento de agua en el medio. | <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de los procesos de los suelos • Mitigación al cambio climático • Adaptación al cambio climático • Atenuación del ruido • Mitigación de la contaminación del aire • Provisión de hábitat • Ciclo hidrológico • Ciclo de nutrientes |
| Captura, almacenamiento de carbono | <ul style="list-style-type: none"> • Servir como un filtro y tampón ambiental para la inmovilización y degradación de compuestos peligrosos | <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de los procesos de los suelos • Mitigación al cambio climático • Adaptación al cambio climático • Atenuación del ruido • Mitigación de la contaminación del aire |
| pH | <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar un medio. para el crecimiento vegetal y la actividad biológica. • Servir como un filtro y tampón ambiental para la inmovilización y degradación de compuestos peligrosos | <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la composición del aire • Regulación del clima • Regulación de los procesos de los suelos • Mitigación al cambio climático • Adaptación al cambio climático • Atenuación del ruido • Mitigación de la contaminación del aire • Provisión de hábitat • Polinización • Mitigación de Disturbios • Patrimonio nacional y biodiversidad • Integración social • Salud mental y física de personas |
| Materia Orgánica | <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar un medio. para el crecimiento vegetal y la actividad biológica. • Estabilización de materia orgánica. • Retener y entregar nutrientes. | <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la composición del aire • Regulación del clima • Regulación de los procesos de los suelos • Mitigación al cambio climático • Adaptación al cambio climático |

| | | |
|-----------|--|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Atenuación del ruido • Mitigación de la contaminación del aire • Provisión de hábitat • Polinización • Mitigación de Disturbios • Patrimonio nacional y biodiversidad • Integración social • Salud mental y física de personas • Ciclo hidrológico • Ciclo de nutrientes |
| Fosforo | <ul style="list-style-type: none"> • Retener y entregar nutrientes. • Proporcionar un medio. para el crecimiento vegetal y la actividad biológica. | <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la composición del aire • Regulación del clima • Regulación de los procesos de los suelos • Mitigación al cambio climático • Adaptación al cambio climático • Atenuación del ruido • Mitigación de la contaminación del aire • Provisión de hábitat • Polinización • Mitigación de Disturbios • Patrimonio nacional y biodiversidad • Integración social • Salud mental y física de personas • Ciclo hidrológico • Ciclo de nutrientes |
| Nitrógeno | | |
| Potasio | | |
| Calcio | | |
| Magnesio | | |
| Cobre | | |
| Hierro | | |
| Manganeso | | |
| Zinc | | |

Fuente: elaboración propia basada en Hyun et al., 2022.

6.2 Desarrollo del Índice de Calidad del Suelo

6.2.1 Conjunto mínimo de datos (CMD).

A partir del resultado de los análisis en laboratorio (Anexo 5) para los indicadores del CTD (Tabla 7), se desarrollaron los índices de calidad del suelo. Previo al AF (Análisis Factorial), el KMO dio un resultado de 0.74, lo que quiere decir que los datos y el tamaño de la muestra fueron apropiados para dicho análisis. De la misma manera, en la tabla 8 se muestra el resultado de las variables seleccionadas, donde variables como la Arena (0.47), limo (0.30), arcilla(0.37), C (0.12) y Mn (0.46) se despreciaron porque sus valores de KMO estuvieron por debajo del 0.5 (Cerny & Kaiser, 1977)

Tabla 8. Medida de ajuste de muestreo (MAM) para indicadores CMD de acuerdo con KMO, aplicados en la infraestructura verde de la ciudad de Loja.

| Variable | MAM |
|-----------------------|------|
| pH | 0.72 |
| Materia Orgánica (MO) | 0.65 |
| Nitrógeno (N) | 0.65 |
| Fosforo (P) | 0.80 |
| Potasio (K) | 0.90 |
| Calcio (Ca) | 0.78 |
| Magnesio (Mg) | 0.72 |
| Hierro (Fe) | 0.55 |
| Cobre (Cu) | 0.80 |
| Zinc (Zn) | 0.74 |

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, la prueba paralela determinó dos factores a utilizar (Figura 7). En el segundo factor se presentaron las variables con valores cercanos a 1 (MO, N), mientras que el primer factor se mostró más variables, pero no valores superiores a los del segundo factor. El AF mostró dos factores con valores propios >1 , el cual explicó el 69.3 % de la varianza de las variables en estudio. El factor uno presentó una varianza de 39 % y el factor dos presentó una varianza de 30.3 %.

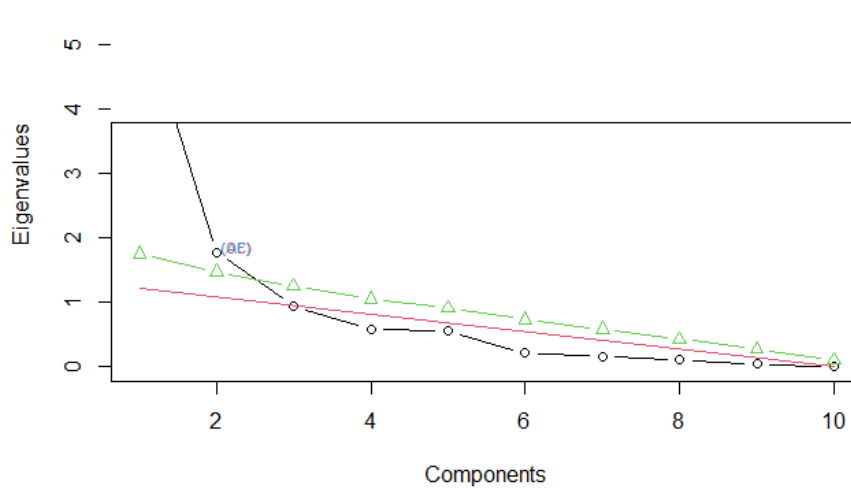


Figura 7. Prueba paralela de las variables para determinar el número de factores a utilizar.

Fuente: elaboración propia.

Respecto al peso final de los indicadores, el Calcio y pH son los indicadores que exhibieron la ponderación más significativa, lo que denota que estos indicadores son los que tendrán mayor implicancia en el desarrollo del índice de calidad del suelo. Indicadores como la Materia Orgánica, Nitrógeno y Fósforo poseen un peso menor que los antes mencionados, sin embargo, serán determinantes en el modelo de evaluación de Calidad del Suelo.

Tabla 9. Factores y similitudes para el modelo de dos factores basado en los indicadores del CMD de la infraestructura verde de la ciudad de Loja.

| Variables | Factor1 | Factor2 | Weighted communality | Peso final |
|--------------------------|---------|---------|-------------------------|------------|
| pH | 0.889* | 0.171 | 0.26 | 0.14 |
| Materia Orgánica (MO) | 0.143 | 0.988* | 0.19 | 0.11 |
| Nitrógeno (N) | 0.128 | 0.990* | 0.19 | 0.11 |
| Fosforo (P) | 0.671* | 0.515 | 0.19 | 0.11 |
| Potasio (K) | 0.579 | 0.575 | 0.17 | 0.09 |
| Calcio (Ca) | 0.870* | 0.453 | 0.28 | 0.15 |
| Magnesio (Mg) | 0.664 | 0.254 | 0.15 | 0.08 |
| Hierro (Fe) | -0.630 | 0.192 | 0.13 | 0.07 |
| Cobre (Cu) | 0.631 | 0.168 | 0.13 | 0.07 |
| Zinc (Zn) | 0.544 | 0.336 | 0.12 | 0.06 |
| SS loadings | 3.902 | 3.030 | 1.81 | |
| Propotion Var | 0.390 | 0.303 | 0.69 | |
| Cumulative Var | 0.390 | 0.693 | | |
| Weighted proportion | 0.563 | 0.437 | | |

Nota: * Indicadores tomados en cuenta para el desarrollo de los ICS.

Fuente: elaboración propia

6.2.2 Transformación de los indicadores

Se utilizaron métodos de puntuación no lineales (Ecuación. 2 y 3) para transformar los indicadores del suelo (Anexo 6). Los parámetros de las ecuaciones no lineales y los pesos de los indicadores se muestran en la Tabla 10, mientras que los datos normalizados se pueden visualizar en el Anexo 7.

Tabla 10. Curvas de normalización de indicadores del CMD.

| Indicador | Curva de Puntuación | Min | Max | Promedio |
|----------------------|---------------------|------|-------|----------|
| pH | Óptimo | 4.27 | 8.02 | 6.84 |
| Materia Orgánica (%) | Más es mejor | 0.35 | 6.67 | 3.62 |
| Nitrógeno (%) | Más es mejor | 0.02 | 0.33 | 0.18 |
| Fósforo (mg/kg) | Óptimo | 3.5 | 135.7 | 59.13 |
| Calcio (Cmol/kg) | Óptimo | 0.55 | 20.2 | 14.76 |

Fuente: elaboración propia.

6.2.3 Índices de calidad del suelo (ICS)

Los pesos finales asignados a cada indicador del conjunto CMD se integraron en un ICS que va de 0 a 1 con la Ecuación 4. Al aplicar la ecuación 4, de los valores del peso final y de las ecuaciones de normalización se describe la ecuación 5. Ca y pH son los indicadores que contribuyen con el mayor peso a los ICS de las áreas verdes del perímetro urbano de la ciudad de Loja.

$$ICS = [0.14 * pH] + [0.11 * MO] + [0.11 * N] + [0.11 * P] + [0.15 * Ca]$$

Ecuación 5. Integración de pesos finales y valores moralizados de los Indicadores del CMD.

Los resultados de la aplicación del ICS mostraron la separación de la calidad del suelo por la forma del área (Figura 8) y por las zonas en la que fue dividido la zona urbana de la ciudad de Loja (Figura 9).

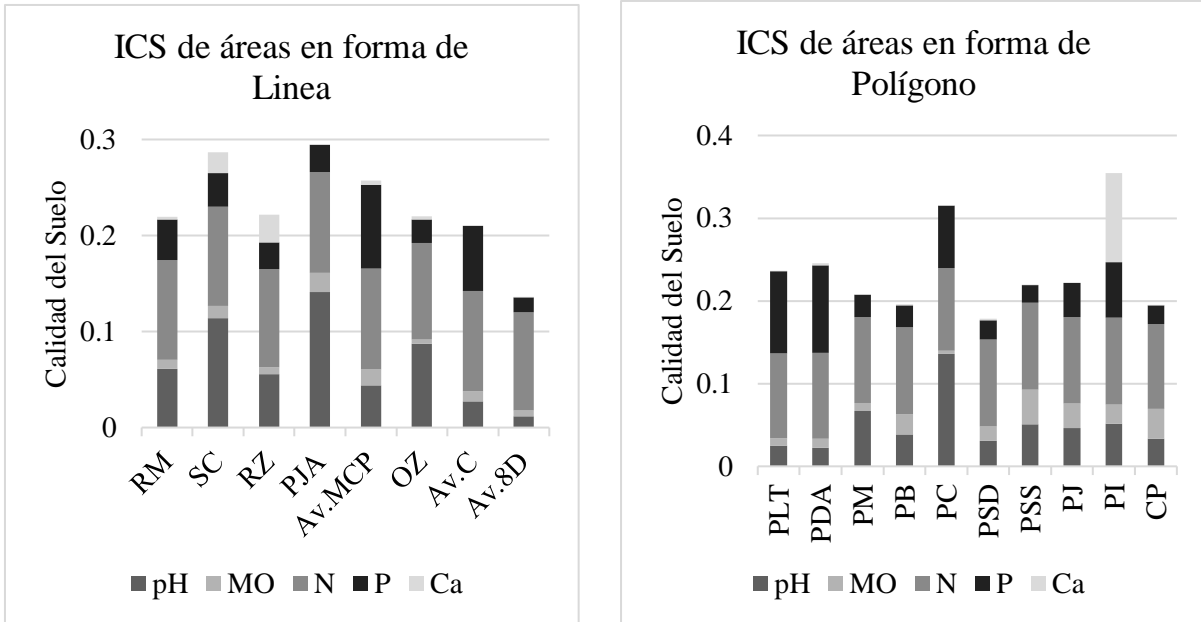


Figura 8. Calidad del Suelo de las áreas en forma de línea y polígono de las áreas verdes de la ciudad de Loja Mediante ICS.

Fuente: elaboración propia.

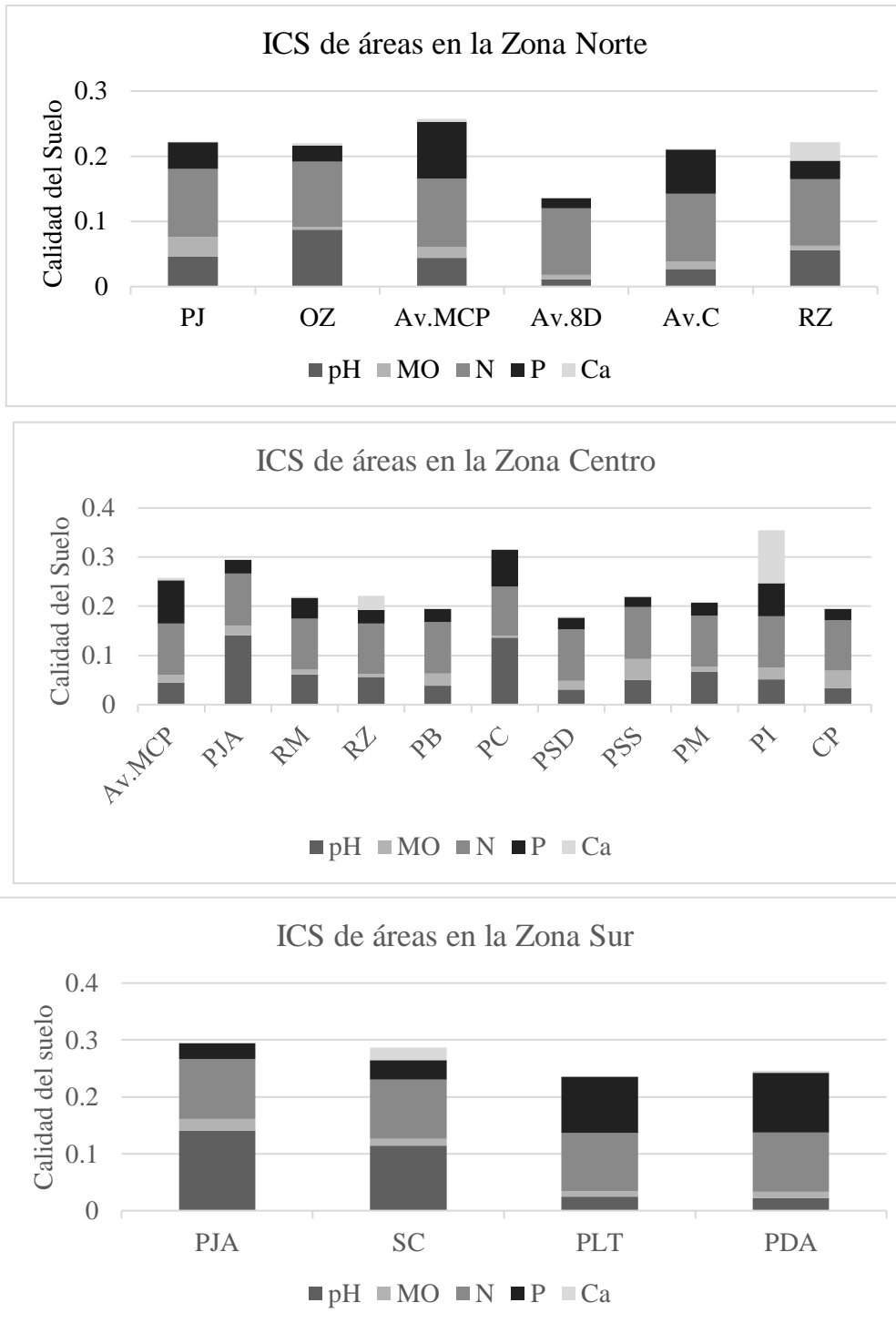


Figura 9. Calidad del Suelo de las tres zonas estudiadas de la ciudad de Loja Mediante ICS.

Fuente: elaboración propia

Donde: OZ: Orillas del Zamora; Av.C: Avenida Cuxibamba; Av. 8D: Avenida 8 de Diciembre; RM: Río Malacatos; SC: Sendero la Cascarilla; RZ: Río Zamora; PJA: Pio Jaramillo Alvarado; Av. MCP: Avenida Manuel Carrión Pinzano; PLT: Parque Lineal la Tebaida; PDA: Parque Daniel Álvarez; PM: Parque de la Música; PB: Parque Bolívar; PC: Parque Central; PSD: Plaza Santo Domingo; PSS: Plaza San Sebastian; PJ: Parque Jipiro; PI: Parque Infantil; CP: Colinas del Pucara.

6.3 Comparación de la calidad de los suelos de la infraestructura verde de la zona urbana de Loja mediante el uso de ICS.

En la Tabla 11 muestra las medidas de resumen de los ICS según la forma de su área, en la misma se destaca la igualdad de medias entre las dos formas estudiadas. Por otra parte, en la tabla 12 se muestran las medidas de resumen de los ICS por zonas, en ella se destaca que la zona sur con un promedio de 0.27 presentó una mejor calidad de suelo a comparación con las otras dos zonas estudiadas.

Tabla 11. Medidas de resumen de ICS por su forma tipo línea y polígono.

| Promedio según su forma | | | | | | |
|-------------------------|----------|-------|------|-------|------|------|
| Zona | Variable | Media | D.E. | CV | Mín. | Máx. |
| Polígono | ICS | 0.24 | 0.06 | 23.42 | 0.18 | 0.35 |
| Línea | ICS | 0.24 | 0.05 | 19.13 | 0.14 | 0.29 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Medidas de Resumen de ICS según la zona.

| Promedio según la zona | | | | | | |
|------------------------|----------|-------|------|-------|------|------|
| Zona | Variable | Media | D.E. | CV | Mín. | Máx. |
| Loja Norte | ICS | 0.21 | 0.04 | 18.52 | 0.14 | 0.26 |
| Loja Centro | ICS | 0.24 | 0.06 | 23.09 | 0.18 | 0.35 |
| Loja Sur | ICS | 0.27 | 0.03 | 9.83 | 0.24 | 0.29 |

Fuente: elaboración propia.

Los datos demostraron tener normalidad ($p=0.5886$), con ello, se hizo uso del análisis de varianza (ANOVA), con el cual se pudo observar la comparación de la calidad del suelo de la infraestructura verde de la ciudad de Loja. Se utilizó el Test de Tukey con un alfa de 0,05. Estos resultados muestran que no existen diferencias de la calidad del suelo en cada una de las zonas estudiadas (Tabla 13)

Tabla 13. Test Tukey (Alfa=0.05) entre las tres zonas estudiadas.

| Zona | Medias | n | E.E. | |
|-------------|--------|----|------|---|
| Loja-Sur | 0.27 | 4 | 0.02 | A |
| Loja-Centro | 0.24 | 11 | 0.01 | A |
| Loja-Norte | 0.21 | 6 | 0.02 | A |

Nota: *Medias con letra igual no son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia.

Así mismo, el nuevo ICS permitió evaluar la calidad del suelo por zonas, entre las tres zonas evaluados con el ICS, la zona Norte obtuvo el promedio más bajo que las zonas Centro y Sur (0.21, 0.24 y 0.27 respectivamente) (Tabla 13). En la Zona Norte la forma tipo línea obtuvo el promedio más bajo de ICS con 0.21 y el tipo polígono tuvo un promedio de 0.22. Del mismo modo en la zona céntrica del perímetro urbano de la ciudad de Loja, el promedio obtenido en la forma tipo línea polígono fue de 0.25-0.24, respectivamente. Finalmente, en la zona Sur las áreas en forma de polígono obtuvieron el promedio más bajo con 0.24 mientras que las áreas en forma de línea obtuvieron un promedio de 0.29.

Para comparar las medias de las dos formas en las distintas zonas se aplicó el Test de Tukey con un alfa de 0,05, cuyo resultado se muestra en la tabla 14,15 y 16, en donde, se realizó la comparación de medias de los ICS de las áreas en forma de línea y polígono de las tres zonas del perímetro urbano de la ciudad de Loja, los resultados mostraron que no hay diferencias significativas con un nivel del 95 %, tanto para la zona Norte y centro, mientras que en la zona Sur el resultado obtenido demuestra que existe diferencia significativa del valor del ICS en las dos formas.

Tabla 14. Test Tukey (Alfa=0.05) para las formas de línea y polígono en la zona Norte del perímetro urbano de la ciudad de Loja.

| Forma | Medias | n | E.E. | |
|----------|--------|---|------|---|
| Polígono | 0.22 | 1 | 0.04 | A |
| Línea | 0.21 | 5 | 0.02 | A |

Nota: *Medias con letra igual no son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Test Tukey (Alfa=0.05) para las formas de línea y polígono en la zona Centro del perímetro urbano de la ciudad de Loja.

| Forma | Medias | n | E.E. | |
|----------|--------|---|------|---|
| Polígono | 0.24 | 7 | 0.03 | A |
| Línea | 0.25 | 4 | 0.02 | A |

Nota: *Medias con letra igual no son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Test Tukey (Alfa=0.05) para las formas de línea y polígono en la zona Sur del perímetro urbano de la ciudad de Loja.

| Forma | Medias | n | E.E. | |
|----------|--------|---|---------|---|
| Polígono | 0.24 | 2 | 4.3E-03 | A |
| Línea | 0.29 | 2 | 4.3E-03 | B |

Nota: *Medias con letra igual no son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia.

6.3.1 Spider plot.

El Spider plot permitió descomponer los ICS, para así visualizar los indicadores que más aportan al ICS. Para las áreas de la zona Norte de la ciudad de Loja, el spider plot refleja que el N y P fueron los indicadores que mayor peso representan en los ICS desarrollados (Figura 10). En las áreas de la zona céntrica de la ciudad de Loja las áreas en forma de línea (Figura 11), indicadores como N en las cuatro áreas representaron el mayor peso en el ICS, mientras que pH representó un mayor peso solo en la Av. Pio Jaramillo Alvarado. Por su parte en las áreas en forma de polígono (figura 12), el N obtuvo el mayor peso a diferencia de MO y Ca aportan con un menor peso en los ICS.

En las áreas en forma de línea de la zona sur, los indicadores N y pH aportaron con el mayor peso al ICS (Figura 13), mientras que en las áreas en forma de polígono los indicadores N y P aportaron con el mayor peso en el ICS (Figura 14).

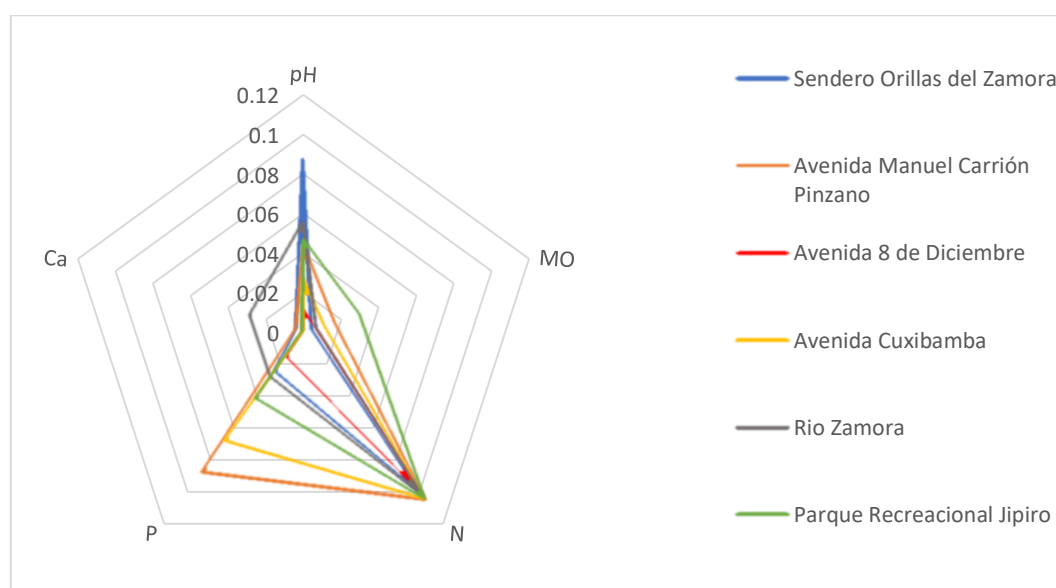


Figura 10. Spider plot de los ICS de las áreas de la zona Norte de la ciudad de Loja.

Fuente: elaboración propia.

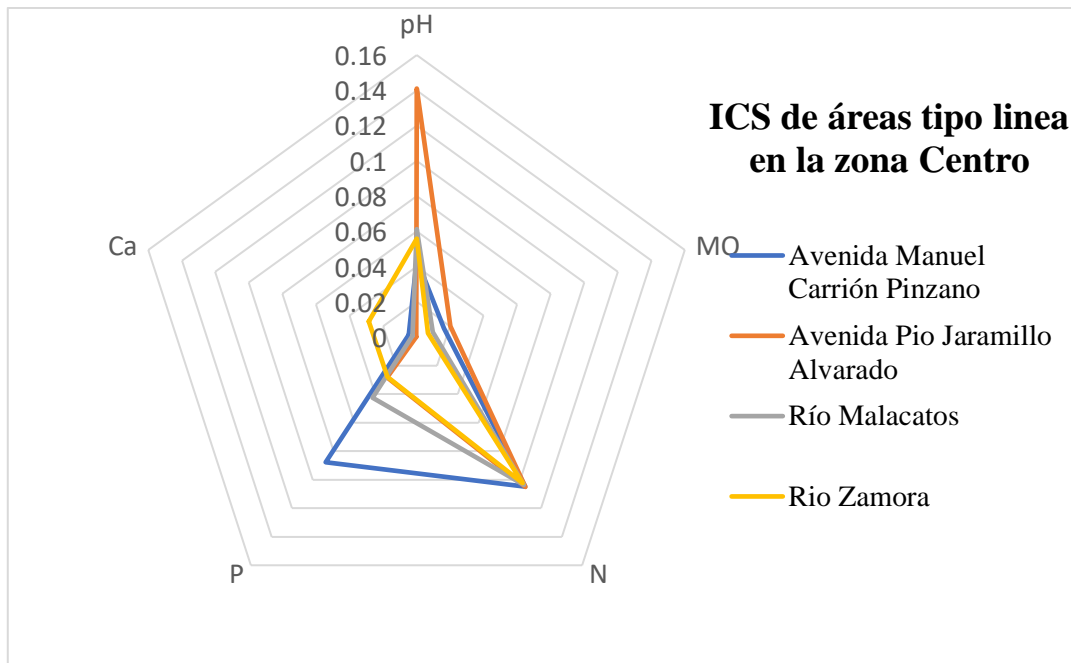


Figura 11. Spider plot de los ICS de las áreas en forma de líneas en la zona Centro de la ciudad de Loja.

Fuente: elaboración propia.

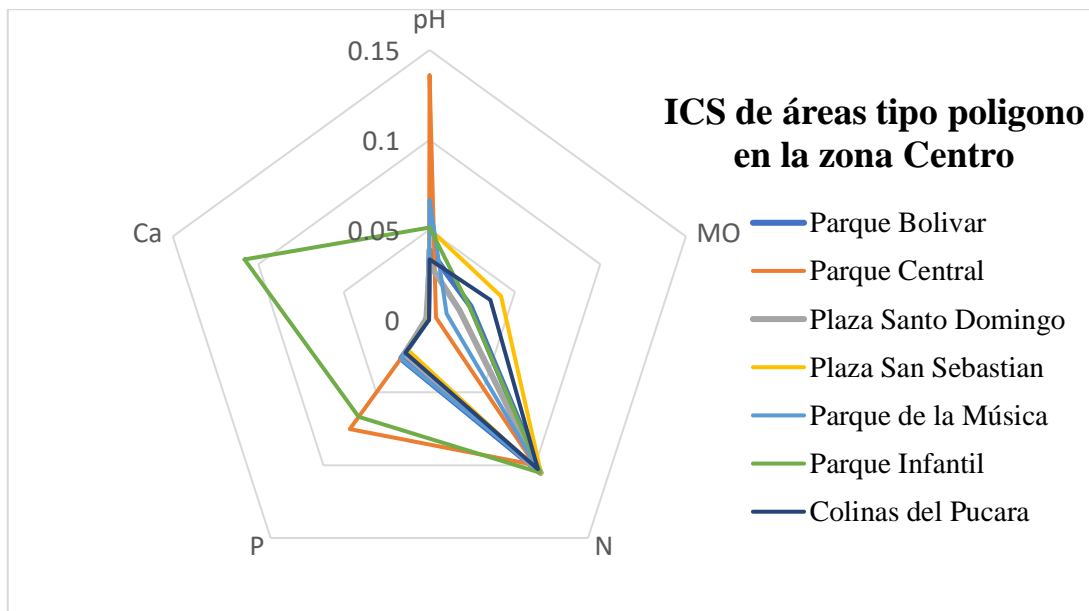


Figura 12. Spider plot de los ICS de las áreas en forma de polígono en la zona Centro de la ciudad de Loja.

Fuente: elaboración propia.

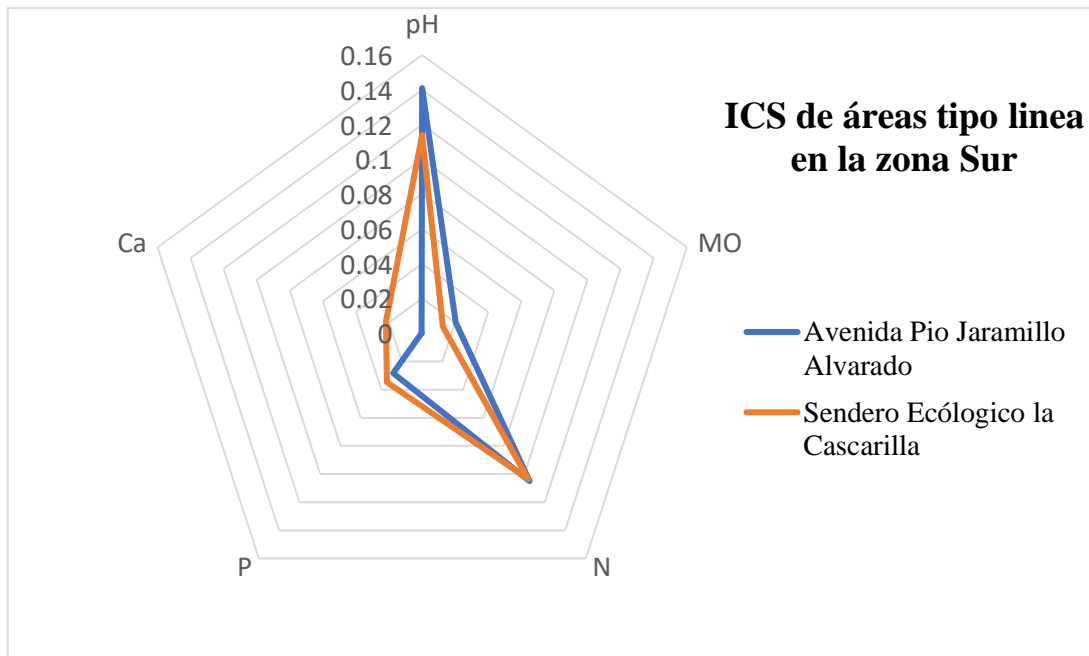


Figura 13. Spider plot de los ICS de las áreas en forma de líneas en la zona Sur de la ciudad de Loja.

Fuente: elaboración propia.

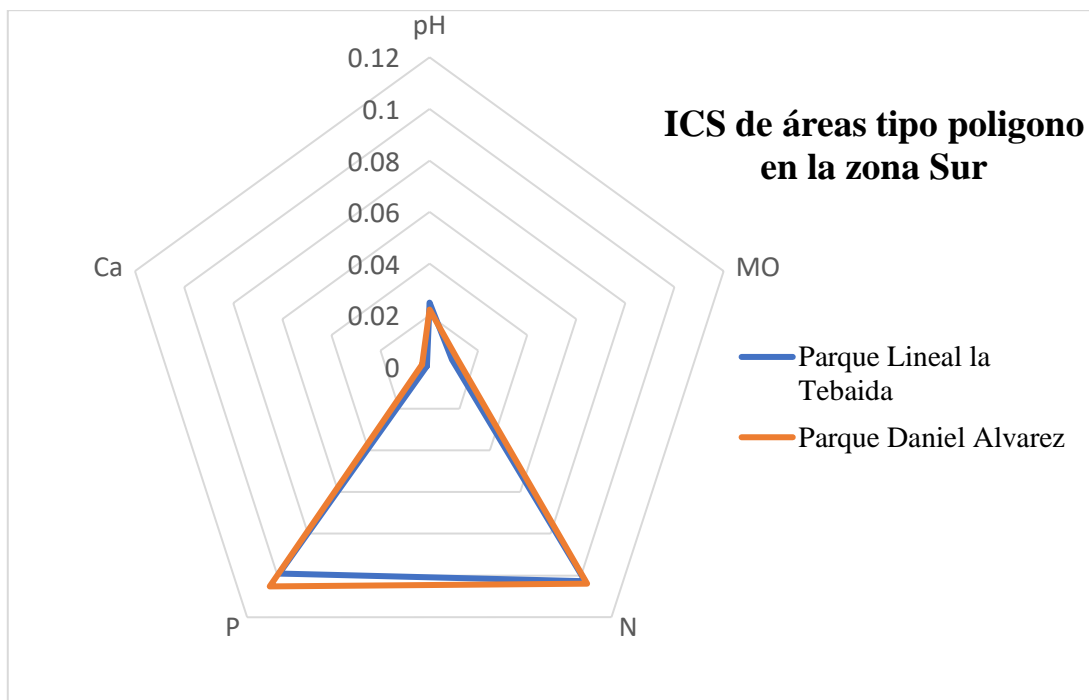


Figura 14. Spider plot de los ICS de las áreas en forma de polígono en la zona Sur de la ciudad de Loja.

Fuente: elaboración propia.

7. Discusión

Evaluar la calidad del suelo es un tema complejo, debido a las características del sitio donde se encuentra el suelo determinado; además, no es un parámetro que se pueda medir directamente, si no que necesita la integración de varios indicadores (Mamehpour et al., 2020). Estos indicadores son un grupo compuesto de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En la actualidad no existe un sistema universal de indicadores debido a las diferentes regiones y propósitos de investigación (Bünemann et al., 2018). No obstante, los indicadores se pueden agrupar en un conjunto mínimo de datos para luego integrarse en un índice general. El conjunto de indicadores está vinculado con funciones del suelo y los servicios ecosistémicos (SE). Los resultados del estudio bibliométrico que permitieron identificar los indicadores del conjunto mínimo de datos se asemejan a los propuestos por Hyun et al., (2022), los cuales señalan una relación entre varios SE e indicadores, es decir; por ejemplo, la materia orgánica en las áreas verdes en zonas urbanas es el indicador que ejerce una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad, debido a que, proporciona el medio para el crecimiento vegetal y la actividad biológica, lo que permitirá la regulación de la composición del aire y atenuación del ruido (Campitelli et al., 2010). Así mismo, los macronutrientes como el nitrógeno (N) y fósforo (P) son esenciales para el crecimiento vegetal, tal como se ha documentado en estudios recientes de Li et al., 2023, Gopal et al., 2020 y Rezaee et al., 2020. Así mismo las concentraciones de N y P presentes en el suelo proporcionan el medio para el crecimiento vegetal y la actividad biológica, lo que a su vez contribuye a la regulación de la composición del aire y a la atenuación del ruido ambiental (Campitelli et al., 2010).

El suelo en relación con la vegetación y el agua cumplen con importantes servicios ecosistémicos que están relacionados con la calidad de vida del habitante urbano (Cram et al., 2008), sin embargo, estos servicios están siendo afectados por una variedad de factores naturales y antropogénicos (Ratto et al., 2006). Para evaluar la calidad del suelo existen varios métodos, sin embargo el más utilizado es el ICS propuesto Andrews et al., (2003), ya que es fácil de calcular, tiene en cuenta parámetros químicos, físicos y biológicos (Panico et al., 2018). En el presente estudio para el desarrollo del ICS, de un total de trece indicadores, se consideraron cinco (pH, Materia Orgánica, Nitrógeno, Fosforo y Calcio), los cuales a través del AF demostraron tener una mayor correlación a diferencia de los indicadores restantes. Diversos estudios han abordado la evaluación de calidad del suelo considerando igual o más indicadores que los utilizados (cinco) en este

estudio. Por ejemplo, Li et al., (2023) el cual citó 18 potenciales indicadores, así mismo Memoli et al., (2019), Rezaee et al., (2020) y Hyun et al., (2022) han considerado 5, 7 y 11 indicadores, respectivamente. Esto demuestra que la elección de indicadores dependerá de las características específicas del sitio y las metas para la gestión propuestas (Andrews et al., 2004). En consecuencia, la selección de los indicadores a utilizar puede variar significativamente según la zona de estudio. El número de indicadores en este estudio demostraron ser variables de medición adecuadas para zona urbana, además de ser capaces de integrar servicios ecosistémicos con funciones relevantes del suelo.

Sobre la base del análisis de los indicadores, los que representaron mayor correlación con la calidad del suelo fueron el pH, Materia Orgánica y elementos potencialmente tóxicos (Nitrógeno, Fósforo y Calcio), considerados así, debido a que, en altas o bajas concentraciones, estos elementos pueden tener efectos negativos sobre la vegetación, afectando el crecimiento adecuado de las raíces y las hojas de la vegetación (Hernández Díaz et al., 2014). Los indicadores antes mencionados han sido considerados por muchos investigadores para el desarrollo de los ICS, debido a que, representan el estado actual del suelo en una zona determinada, además; abarcan los servicios ecosistémicos emergentes que reflejan problemas ambientales urbanos (Tresch et al., 2018; Kim et al., 2019; Sefati et al., 2018; Mamehpour et al., 2020 y Gopal et al., 2020), además de responder al estrés ambiental y estar relacionados con los organismos del suelo involucrados en los flujos de energía, transformación de nutrientes y los ciclos de los elementos, factores que los vuelven importantes para ofrecer información sobre el suelo estudiado (Puglisi et al., 2005; Rodríguez-García et al., 2019 y Hernández et al., 2016).

El pH, y dependiendo de su valor, está relacionado con la función del suelo de servir como un filtro y tampón ambiental para inmovilizar y degradar compuestos peligrosos, además, permitirá o no la movilidad de los contaminantes (Horváth et al., 2015). El fósforo, calcio y el potasio son nutrientes esenciales que intervienen en la función del suelo de proporcionar un medio para el crecimiento vegetal y la actividad biológica, comúnmente se agregan a los fertilizantes químicos (Sefati et al., 2018). Estos indicadores se han visto afectados por la urbanización de manera significativa y negativa, promoviendo la degradación y el deterioro de la calidad del suelo (Mamehpour et al., 2020)

En el presente estudio el desarrollo de los ICS de 18 áreas de la zona urbana de la ciudad de Loja se demostró que estas áreas poseen una baja calidad del suelo, similares

estudios demuestran que los ICS es un método sensible a las perturbaciones y prácticas de manejo (Rezaee et al., 2020). En el estudio realizado por Hernández et al., (2016), realizado en un bosque nativo demostró que la calidad del suelo es esa zona es buena (0.82), así mismo, Hyun et al., (2022) demuestra que este método puede ser utilizado en zonas urbanas, pues en su investigación que es aplicada en distintos tipos espaciales de vegetación urbana demostró que la calidad del suelo es de moderada calidad. En comparación con el estudio de Hernández et al., (2016), la baja calidad del suelo demostrada en este estudio puede deberse a la exposición de fuentes de contaminación puntuales o difusas producto de la constante expansión urbana (Sefati et al., 2018).

La calidad del suelo en las áreas verdes de la ciudad de Loja es preocupante, con un índice promedio de 0.24 (baja calidad). Este resultado se debe en gran medida al crecimiento acelerado y poco planificado de la ciudad (Cotler et al., 2007). Además, la introducción de materiales como de relleno en parques y senderos de la ciudad, lo que no solo obstaculiza el funcionamiento normal del suelo, sino que también puede contribuir a la contaminación del mismo, tal como señala (Cram et al., 2008). Otro aspecto importante es la presencia de vegetación, ya que estas contribuyen a la amplia variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo, en este contexto las áreas con mayor vegetación presentaran una mejor calidad del suelo (Panico et al., 2018).

El ICS, permitió evaluar el estado actual del suelo de la infraestructura verde del perímetro urbano de la ciudad de Loja en dos tipos de formas, Línea y Polígono. En la forma de línea el ICS el valor obtenido para el área urbana de la ciudad de Loja es de 0.23 (Baja calidad) y para las áreas en forma de polígono fue de 0.24 (baja calidad). Este resultado es respaldado por Mamehpour et al., (2020), quien menciona que suelos urbanos y no urbanos difieren entre sí, ya que los suelos urbanos presentan cambios significativos en comparación con los suelos no urbanos, esta diferencia se por el comportamiento de la sociedad en la utilización del territorio (Valera Lozano et al., 2011), así mismo, a medida que la ciudad se desarrolla las áreas verdes se convierten en un medio antrópico de contexto edificado, donde impera el concreto, estructuras y pavimento componentes ajenos a estas áreas (Rendón Gutiérrez, 2022). Resultados parecidos fueron encontrados por Sultan et al., (2022) quien en su investigación demuestra la baja calidad del suelo en la zona urbana de Dhaka, Bangladesh, principalmente por la concentración de metales en áreas al borde de la carretera. Así mismo, Mamehpour et al., (2020), en su investigación destaca que la urbanización había influido negativamente en la calidad del suelo,

generando una caída de 12,5 a 22 % a través de la compactación del suelo, la reducción de la permeabilidad del suelo y los contaminantes orgánicos y metálicos. La disponibilidad de ciertos indicadores influye en la calidad del suelo, por ejemplo; la materia orgánica (MO) puede mejorarla significativamente. Por otro lado, la presencia de elementos potencialmente tóxicos como el N, P y Ca en concentraciones elevadas puede tener un impacto negativo en la calidad del suelo. De hecho, Horváth et al., (2015) han demostrado que el suelo urbano adyacente a las carreteras está más contaminado principalmente por la presencia de elementos potencialmente tóxicos y a las múltiples presiones antropogénicas, lo que lo hace poco adecuado para el crecimiento de las plantas. En este sentido, el valor asignado de ICS aproxima la calidad del suelo de las áreas verdes de la ciudad de Loja.

En las zonas norte, centro y sur del perímetro urbano de la ciudad de Loja el ICS mostro que la calidad del suelo es baja (de 0.21, 0.24 y 0.27 respectivamente). La baja calidad del suelo en las áreas verdes en estas zonas puede estar influenciado por la ausencia de vegetación del sotobosque, que influye positivamente en la salud de las plantas, la comunidad microbiana del suelo y los contenidos de C y N que son esenciales para mantener la calidad del suelo (Hyun et al., 2022). Así mismo, la ciudad de Loja ha experimentado una expansión urbana mal planifica, dejando en evidencia la escasez de espacios verdes públicos en barrios; así mismo, en las periferias de la ciudad son escasos y dispersos (Segarra Morales et al., 2021), producto de esto el suelo urbano experimenta el fenómeno denominado sellado antropogénico, el cual se evidencia en superficies duras e impermeables ocasionado por la urbanización, la industrialización o la implantación de infraestructuras (Valera Lozano et al., 2011). Por otra parte, el ICS demostró ser una herramienta de evaluación que puede calificar con éxito los sitios de perturbación de baja calidad del suelo. Además, de mostrar las zonas más sensibles a la perturbación, lo que es útil para establecer prioridades para la gestión del suelo de la vegetación urbana (Hyun et al., 2022).

8. Conclusiones

El suelo en conjunto con la vegetación urbana tiene un impacto en la calidad de vida de los habitantes de las zonas urbanas. Sin embargo, las actividades antropogénicas comprometen su integridad. Dado que la calidad del suelo no puede medirse directamente, el Índice de Calidad del Suelo (ICS) demostró ser una herramienta que permite la integración de parámetros físicos, químicos y biológicos que representen las funciones de los suelos urbanos y los servicios ecosistémicos. Además, demostró ser una herramienta de fácil aplicación para evaluar la calidad del suelo, además; permiten identificar las necesidades de gestión y monitorear las prácticas ambientales en la ciudad. Por otra parte, la implementación de estos sistemas de indicadores puede contribuir a la mejora de la calidad de vida de los habitantes urbanos y al mantenimiento de los servicios ecosistémicos que brindan los suelos de vegetación urbana.

Los indicadores que presentaron mayor carga para el desarrollo de los ICS de las áreas verdes son: pH (0.88), MO (0.98) y P (0.67) relacionados a la función del suelo, que sirven como un filtro y tampón ambiental para la inmovilización y degradación de compuestos peligrosos y proporción de un medio para el crecimiento vegetal y la actividad biológica. N (0.99), y Ca (0.87) relacionados a la función del suelo de retener y entregar nutrientes esenciales para a vegetación.

El ICS de las áreas verdes de la zona urbana de la ciudad de Loja confirman la hipótesis de que el crecimiento urbano afecta a la calidad del suelo; ya que, en su forma lineal y polígono presentaron entre 0.23 y 0.24 respectivamente, baja calidad. Así mismo, en la zona norte, el ICS promedio fue de 0.21, zona centro 0.24; y, en la zona sur presentó 0.27. Las áreas verdes al ser resultado de acciones naturales y antropogénicas están sometidas a procesos de compactación, deposición de contaminantes, mala planificación, al crecimiento de los asentamientos informal y por la poca valoración que se da a los servicios ecosistémicos que brindan estas áreas afectan la calidad del suelo. Los ICS en cada zona evaluada no presentaron diferencias significativas ($p=0.5886$).

9. Recomendaciones

El ICS desarrollado para evaluar la calidad del suelo en la zona urbana de la ciudad de Loja, podría ser utilizado para evaluar el resto de las áreas verdes fuera del perímetro urbano. Además, pueden ser tomados como herramientas para determinar qué prácticas de manejo son las más adecuadas para mantener un suelo saludable.

Para estudios similares se recomienda la integración de más indicadores, por ejemplo, metales pesados e indicadores biológicos que influyen en la calidad del suelo de la zona urbana de la ciudad de Loja. De esta manera se contribuye con más información y sirve como soporte para investigaciones futuras.

El ICS desarrollado basado en técnicas estadísticas como el análisis factorial, brindó un valioso apoyo para evaluar las interacciones entre los indicadores de calidad del suelo de diferentes zonas, debido a su capacidad para modelar un gran número de variables, y determinar cuáles son menos o más importantes.

10. Bibliografía

- Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma*, 262, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Andrews, Susan S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, D. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., Pettygrove, G. S., Scow, K. M., & Munk, D. S. (2002). On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal*, 94(1), 12–23. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.0012>
- Andrews, S. S., Flora, C. B., Mitchell, J. P., & Karlen, D. L. (2003). Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma*, 114(3–4), 187–213. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00041-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00041-7)
- Andrews, Susan S., Karlen, D. L., & Cambardella, C. A. (2004). The Soil Management Assessment Framework. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1945–1962. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1945>
- Armenise, E., Redmile-Gordon, M. A., Stellacci, A. M., Ciccicarese, A., & Rubino, P. (2013). Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 130, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.02.013>
- Ballestar, R. J., & Quiñones, V. G. (2006). LA CALIDAD DE SUELOS COMO MEDIDA PARA SU CONSERVACIÓN. *Edafología*, 13(3), 125–138.
- Banegas, N. (2014). Calidad y salud del suelo Contenido. *Universidad Nacional Del Tucuman*, 1(1), 1–6. www.edafologia.com.ar
- Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D., & Voulvoulis, N. (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*, 36(6), 609–622. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.04.010>
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120(September 2017), 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., & Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia Del Suelo*, 28(2), 223–231.

- Carrillo, N. del C. (2010). El crecimiento urbano de la ciudad de Loja y su influencia sobre los recursos naturales circundantes. *Universidad Nacional de Loja*, 151. <https://bit.ly/2S0n5nu>
- Cerny, B. A., & Kaiser, H. F. (1977). A Study Of A Measure Of Sampling Adequacy For Factor- Analytic Correlation Matrices. *Multivariate Behavioral Research*, July 2013. <https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1201>
- Chuncho, C. G., & Arrellano, E. (2018). *Evaluación de la calidad de los suelos de sistemas frutícolas de la Zona Central de Chile*. 8(2), 75–90.
- Civeira, G. (2016). Servicios ecosistémicos en ambientes urbanos su relación con la estructura, la planificación y el diseño del paisaje. *Universidade Da Coruña*, 208.
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Instituto Nacional de Ecología, México*.
- Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I., & Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geograficas*, 66(5000), 81–104.
- Cruz, B., Barra, E., Castillo, R. F. del, & Gutierrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90–97.
- Dobson, M. C., Crispo, M., Blevins, R. S., Warren, P. H., & Edmondson, J. L. (2021). An assessment of urban horticultural soil quality in the United Kingdom and its contribution to carbon storage. *Science of the Total Environment*, 777, 146199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146199>
- FAO. (2018). Guía DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS SUELOS EN ÁREAS RURALES. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>
- GAD Municipal de Loja. (2013). Ordenanza que delimita y estructura las parroquias urbanas del cantón Loja. *Municipio de Loja*, 17, 13. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57189.pdf>
- GAD Municipal de Loja. (2014). *Ordenanza que delimita y estructura los límites de las parroquias urbanas y rurales del cantón Loja*.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 125–137.
- Gopal, P. C., Saha, S., & Ghosh, K. G. (2020). Assessing the soil quality of Bansloi river

- basin, eastern India using soil-quality indices (SQIs) and Random Forest machine learning technique. *Ecological Indicators*, 118(February), 106804. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106804>
- Grzędzicka, E. (2019). Is the existing urban greenery enough to cope with current concentrations of PM2.5, PM10 and CO2? *Atmospheric Pollution Research*, 10(1), 219–233. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.08.002>
- Hemati, Z., Selvalakshmi, S., Xia, S., & Yang, X. (2020). Identification of indicators: Monitoring the impacts of rubber plantations on soil quality in Xishuangbanna, Southwest China. *Ecological Indicators*, 116(May), 106491. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106491>
- Hernández, Á., Arellano, E. C., Morales-Moraga, D., & Miranda, M. D. (2016). Understanding the effect of three decades of land use change on soil quality and biomass productivity in a Mediterranean landscape in Chile. *Catena*, 140, 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.029>
- Hernández Díaz, M. I., Chailloux Laffita, M., Moreno Placeres, V., Igarza Sánchez, A., & Ojeda Veloz, A. (2014). Niveles referenciales de nutrientes en la solución del suelo para el diagnóstico nutricional en el cultivo protegido del tomate. *Idesia*, 32(2), 79–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000200011>
- Horváth, A., Szűcs, P., & Bidló, A. (2015). Soil condition and pollution in urban soils: evaluation of the soil quality in a Hungarian town. *Journal of Soils and Sediments*, 15(8), 1825–1835. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0991-4>
- Hyun, J., Kim, Y. J., Kim, A., Plante, A. F., & Yoo, G. (2022a). Ecosystem services-based soil quality index tailored to the metropolitan environment for soil assessment and management. *Science of the Total Environment*, 820, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153301>
- Hyun, J., Kim, Y. J., Kim, A., Plante, A. F., & Yoo, G. (2022b). Ecosystem services-based soil quality index tailored to the metropolitan environment for soil assessment and management. *Science of the Total Environment*, 820, 153301. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153301>
- INEC. (2012). Índice Verde Urbano 2012. *Ecuador En Cifras*, 1–15. <https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/360>
- Joimel, S., Schwartz, C., Hedde, M., Kiyota, S., Krogh, P. H., Nahmani, J., Pérès, G., Vergnes, A., & Cortet, J. (2017). Urban and industrial land uses have a higher soil biological quality than expected from physicochemical quality. *Science of the Total*

- Environment*, 584–585, 614–621. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.086>
- Kazmierczak, R., Carpinelli, S., & Riferte, F. B. (2020). Selección de Indicadores para Discriminar Sistemas de Labranza del Suelo y para Evaluar la Calidad del Suelo en un Latosol Rojo. *Universidad Estatal de Ponta Grossa*, 63. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020190489> ISSN 1678-4324
- Kim, S. W., Jeong, S. W., & An, Y. J. (2019). Application of a soil quality assessment system using ecotoxicological indicators to evaluate contaminated and remediated soils. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(6), 1681–1690. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00321-7>
- LEDESMA, S. G., SIONE, M. S., OSZUST, J. D., & ROSENBERGER, L. J. (2021). ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO Y CAPTURA POTENCIAL DE CARBONO EN LA BIOMASA ARBÓREA DE BOSQUES NATIVOS DEL ESPINAL (Entre Ríos, Argentina). *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 20(1), 331–345. <https://doi.org/10.14409/fa.v20i1.10274>
- León, A. O. (2019). Retos para la conformación de la Infraestructura Verde Urbana en la ciudad de Loja Ecuador. *ResearchGate*, December 2019.
- Li, F., Zhang, X., Zhao, Y., Song, M., & Liang, J. (2023). Soil quality assessment of reclaimed land in the urban–rural fringe. *Catena*, 220(PA), 106692. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106692>
- Lopez, R. M. (2016). Servicios Ecosistémicos Del Suelo. *ECUADOR ES CALIDAD: Revista Científica Ecuatoriana*, 4(1), 10–12. <https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.52>
- Mamehpour, N., Rezapour, S., & Ghaemian, N. (2020). Quantitative assessment of soil quality indices for urban croplands in a calcareous. *Geoderma*, 382(September 2020), 114781. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114781>
- Maurya, S., Abraham, J. S., Somasundaram, S., Toteja, R., Gupta, R., & Makhija, S. (2020). Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(9). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08556-z>
- McRoberts, R. E., Tomppo, E. O., & Czaplewski, R. I. (1992). Diseños de muestreo de las Evaluaciones Forestales Nacionales. *Antología de Conocimiento Para La Evaluación de Los Recursos Forestales Nacionales*, 1–21.
- Memoli, V., De Marco, A., Esposito, F., Panico, S. C., Barile, R., & Maisto, G. (2019). Seasonality, altitude and human activities control soil quality in a national park surrounded by an urban area. *Geoderma*, 337, 1–10.

- <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.009>
- Ministerio del Ambiente. (2014a). Guía para el muestreo de suelos. *Ministerio Del Ambiente Del Perú*, 72. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2014b). GUÍA PARA MUESTREO DE SUELOS. *Dirección General de Calidad Ambiental*. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2018). Sinergias entre degradación de la Tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador. *Ministerio Del Ambiente Del Ecuador*, 88, 5–88. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57189.pdf>
- Montico, S., Di Leo, N., Bonel, B., & Berardi, J. (2021). Servicios ecosistémicos provistos por los suelos en una cuenca de Santa Fe, Argentina. *Cuadernos Del CURIHAM*, 27, 1–8. <https://doi.org/10.35305/curiham.v27i.166>
- Mooney, H. A., Cropper, A., & Reid, W. (2004). The millennium ecosystem assessment: What is it all about? *Trends in Ecology and Evolution*, 19(5), 221–224. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.03.005>
- Morales-Cerdas, V., Castro, L. P., Vargas, M. R., & Rojas, T. B. (2018). Environmental indicators of urban green areas for management in two cities of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1421–1435. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32258>
- Municipio de Loja, UTPL, & GIZ. (2020). *Plan del Sistema Verde Urbano de Loja*. 106. [https://www.bivica.org/files/5790_Plan del Sistema Verde Urbano Loja.pdf](https://www.bivica.org/files/5790_Plan%20del%20Sistema%20Verde%20Urbano%20Loja.pdf)
- Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., Lopez, J., & Rodriguez, M. D. L. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 80, 29–37.
- Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Libro VI Anexo 2. (2019). *Republica Del Ecuador*, 131–131. <https://doi.org/10.2307/j.ctvkrkkpr.17>
- Oliveira, T. C., Silva, L. F. S. da, & Cooper, M. (2014). Evaluation of physical quality indices of a soil under a seasonal semideciduous forest. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 38(2), 444–453. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832014000200009>
- Orjuela, H. B. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Panico, S. C., Memoli, V., Esposito, F., Maisto, G., & De Marco, A. (2018). Plant cover

- and management practices as drivers of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 129(April), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.05.001>
- Puglisi, E., Nicelli, M., Capri, E., Trevisan, M., & Del Re, A. A. M. (2005). A soil alteration index based on phospholipid fatty acids. *Chemosphere*, 61(11), 1548–1557. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.04.106>
- Quiroz Guerrero, I., Pérez Vázquez, A., Landeros Sánchez, C., Gallardo López, F., Velasco Velasco, J., & Benítez Badillo, G. (2021). Análisis bibliométrico del conocimiento científico sobre resiliencia de agroecosistemas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 617–628. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2516>
- Ratto, S., Marbán, L., González, M., & Giuffré, L. (2006). Calidad de Suelos en Áreas Urbanas de la Ciudad de Buenos Aires. El Caso del Parque Indoamericano. *Rev. Facultad de Agronomía*, 3.
- Rendón Gutiérrez, R. E. (2022). Espacios verdes públicos y calidad de vida. *6 CIV Mexicali 2010*, 1–14. <https://doi.org/10.5821/ctv.7649>
- Revollo, D., Malky, A., & Simon, C. (2020). Integración de Valoración Múltiple de Servicios Ecosistémicos en Herramientas y Decisiones de Planeación de Tres Ciudades Mexicanas. *Conservation Strategy Fund (CSF)*. <https://www.conservation-strategy.org>
- Rezaee, L., Moosavi, A. A., Davatgar, N., & Sepaskhah, A. R. (2020). Soil quality indices of paddy soils in Guilan province of northern Iran: Spatial variability and their influential parameters. *Ecological Indicators*, 117(March), 106566. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106566>
- Rodríguez-García, A., Sánchez, F. R., & Ruiz-Palmero, J. (2019). Digital competence, higher education and teacher training: A meta-analysis study on the Web of Science. *Pixel-Bit, Revista de Medios y Educacion*, 54, 65–81. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2019.i54.04>
- Rodriguez, N. (2013). Y El Carbono Forestal , Generación De. *CORPORACIÓN AUTONÓMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR*.
- Rojas, A. E., & Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y Desarrollo*, 4–9.
- Schindelbeck, R. R., Es, H. M. Van, Abawi, G. S., C, D. W. W., Whitlow, L. C., Gugino, B. K., Idowu, O. J., & Moebius-clune, B. N. (2008). Paisajismo y Urbanismo Evaluación integral de la calidad del suelo para la gestión paisajística y urbana. *Landscape and Urban Planning*, 88, 73–80.

- Schröder, J. J., Schulte, R. P. O., Creamer, R. E., Delgado, A., van Leeuwen, J., Lehtinen, T., Rutgers, M., Spiegel, H., Staes, J., Tóth, G., & Wall, D. P. (2016). The elusive role of soil quality in nutrient cycling: a review. *Soil Use and Management*, 32(4), 476–486. <https://doi.org/10.1111/sum.12288>
- Sefati, Z., Khalilimoghadam, B., & Nadian, H. (2018). Assessing urban soil quality by improving the method for soil environmental quality evaluation in a saline groundwater area of Iran. *Catena*, 173(October 2018), 471–480. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.040>
- Segarra Morales, G., Torres Gutiérrez, M., & González Roldán, C. (2021). Sistema Verde Urbano de Loja como base estructurante de la ciudad. *Revista de La Facultad de Arquitectura y Urbanismo de La Universidad de Cuenca*, 10(20), 81–102. <https://doi.org/10.18537/est.v010.n020.a05>
- Shukla, M. K., Lal, R., & Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.03.011>
- Silva, S., & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13–34. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>
- Simfukwe, P., Colina, P. W., Emmett, B. A., & Jones, D. L. (2021). Identification and predictability of soil quality indicators from conventional soil and vegetation classifications. *PLoS ONE*, 16(10 October), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248665>
- Sultan, M. B., Choudhury, T. R., Alam, M. N. E., Doza, M. B., & Rahmana, M. M. (2022). Soil, dust, and leaf-based novel multi-sample approach for urban heavy metal contamination appraisals in a megacity, Dhaka, Bangladesh. *Environmental Advances*, 7, 100154. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100154>
- Tresch, S., Moretti, M., Bayon, R. C. Le, Mäder, P., Zanetta, A., Frey, D., Stehle, B., Kuhn, A., Munyangabe, A., & Fliessbach, A. (2018). Urban soil quality assessment—a comprehensive case study dataset of urban garden soils. *Frontiers in Environmental Science*, 6(NOV). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00136>
- Unión Europea. (2014). Construir una infraestructura verde para Europa. *Medio Ambiente*. <https://doi.org/10.2779/2738>
- Valdés, P., & Dora Foulkes, M. (2016). La Infraestructura Verde Su Papel En El Desarrollo Regional Aplicación a Los Ejes Recreativos Culturales De Resistencia

- Su Rea Metropolitana Arrrculos Arbiirados. *CUADERNO URBANO. Espacio, Cultura, Sociedad*, 20(1666–6186), 45–70. <https://www.redalyc.org/pdf/3692/369246715003.pdf>
- Valera Lozano, A., Añó Vidal, C., & Sánchez Díaz, J. (2011). Cincuenta años (1956–2006) de crecimiento urbano y degradación de suelos por sellado antropogénico en el término municipal de Valencia. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 31(2), 177–191. https://doi.org/10.5209/rev_aguc.2011.v31.n2.37016
- Van Miegroet, H., & Johnson, D. W. (2009). Feedbacks and synergism among biogeochemistry, basic ecology, and forest soil science. *Forest Ecology and Management*, 258(10), 2214–2223. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.007>
- Vásquez, A. E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 81(3), 689–698. <https://doi.org/10.3987/COM-09-11865>
- Vázquez, Á. D., Vázquez-Cano, E., Montoro, M. R. B., & Meneses, E. L. (2019). Bibliometric analysis of the impact of educational research on functional diversity and digital competence: Web of Science and Scopus. *Aula Abierta*, 48(2), 147–155. <https://doi.org/10.17811/rifie.48.2.2019.147-156>
- Vrshchai, B., Poggio, L., & Ajmone, F. (2008). Paisajismo y Urbanismo planificación en áreas urbanas. *Landscape and Urban Planning*, 88, 81–94.
- Watson, R. T., & Zakri, B. A. H. (2002). Millennium ecosystem assessment: A healthy drive for an ailing planet. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 9, Issue 4). <https://doi.org/10.1007/BF02987493>
- Yu, H., Zha, T., Zhang, X., & Ma, L. (2019). Vertical distribution and influencing factors of soil organic carbon in the Loess Plateau, China. *Science of the Total Environment*, 693, 133632. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133632>
- Yu, H., Zha, T., Zhang, X., Nie, L., Ma, L., & Pan, Y. (2020). Spatial distribution of soil organic carbon may be predominantly regulated by topography in a small revegetated watershed. *Catena*, 188(January), 104459. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104459>
- Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., & Zhang, J. (2012). The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 100, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.015>

11. Anexos

Anexo 1. Captura de carbono de la vegetación de las áreas verdes de la ciudad de Loja.

| Puntos de muestreo | Promedio de Carbono (t C/árbol) |
|----------------------------|--|
| Parque Lineal la Tebaida 1 | 0.33 |
| Parque Lineal la Tebaida 2 | 0.13 |
| Orillas del Zamora 1 | 0.21 |
| Orillas del Zamora 2 | 0.38 |
| Avenida Cuxibamba | 0.41 |
| Avenida 8 de Diciembre | 0.36 |
| Parque Daniel Alvarez | 0.3 |
| Parque de la Música | 0.4 |
| Parque Bolivar | 0.46 |
| Parque central | 0.54 |
| Plaza Santo Domingo | 0.25 |
| San Sebastian | 0.53 |
| Parque Jipiro 1 | 0.27 |
| Parque Jipiro 2 | 0.73 |
| Parque Jipiro 3 | 0.67 |
| Parque Jipiro 4 | 0.42 |
| Parque Jipiro 5 | 0.89 |
| Parque Infantil | 0.21 |
| Río Malacatos D | 0.35 |
| Río Malacatos I | 0.21 |
| Sendero la Cascarilla D | 0.32 |
| Sendero la Cascarilla I | 0.48 |
| Río Zamora D | 0.29 |
| Río Zamora I | 0.35 |
| Colinas del Pucara 1 | 0.32 |
| Colinas del Pucara 2 | 0.18 |
| Colinas del Pucara 3 | 0.43 |
| Colinas del Pucara 4 | 0.28 |
| Pio Jaramillo Alvarado | 0.56 |
| Av. Manuel Carrión Pinzano | 0.05 |

Anexo 2. Frecuencia de especies forestales encontradas en los puntos de muestreo.

| Nombre Científico | N° | f (%) | Nombre Científico | N° | f (%) |
|-------------------------------|-----------|--------------|---------------------------|-----------|--------------|
| Pinus patula | 705 | 22.76% | Cupressus macrocarpa | 8 | 0.26% |
| Salix humboldtiana | 701 | 22.63% | Lafoensia acuminata | 7 | 0.23% |
| Fraxinus excelsior | 376 | 12.14% | Guama | 6 | 0.19% |
| Eucalyptus saligna | 353 | 11.39% | Tecoma stans | 6 | 0.19% |
| Acacia macracantha | 174 | 5.62% | Erythrina edulis | 5 | 0.16% |
| Jacaranda mimosifolia | 155 | 5.00% | Acacia dealbata | 4 | 0.13% |
| Schinus molle | 99 | 3.20% | Coffea | 4 | 0.13% |
| Acacia melanoxylon | 94 | 3.03% | Ficus benjamina | 4 | 0.13% |
| Cupressus | 93 | 3.00% | Morus alba | 3 | 0.10% |
| Alnus acuminata | 52 | 1.68% | Pouteria locuma | 3 | 0.10% |
| Callistemon lanceolatus | 46 | 1.48% | Acaciella angustissima | 2 | 0.06% |
| Ceiba pentandra | 33 | 1.07% | Casuarina equisetifolia | 2 | 0.06% |
| Washingtonia robusta H. WENDL | 31 | 1.00% | Eriobotrya japonica | 2 | 0.06% |
| Leucaena leucocephala | 22 | 0.71% | Inga edulis | 2 | 0.06% |
| Eriobotrya japonica | 19 | 0.61% | Populus-Canadensis Moench | 2 | 0.06% |
| Sambucus canadensis | 17 | 0.55% | Annona cherimola | 1 | 0.03% |
| Grevillea robusta | 14 | 0.45% | Cedrela odorata | 1 | 0.03% |
| Chionanthus pubescens | 13 | 0.42% | Delostoma integrifolium | 1 | 0.03% |
| Juglans regia | 10 | 0.32% | Muntingia calabura | 1 | 0.03% |
| Castilla elastica | 9 | 0.29% | Persea americana | 1 | 0.03% |
| Acacia macracantha | 8 | 0.26% | Prunus salicifolia | 1 | 0.03% |
| Cassia abbreviata OLIV | 8 | 0.26% | | | |

Anexo 3. Frecuencia de revistas a través del análisis bibliométrico.

| Sources | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) |
|--|-----------------------|-----------------------|
| SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT | 40 | 5,64 |
| WATER AIR AND SOIL POLLUTION | 37 | 5,22 |
| SUSTAINABILITY | 35 | 4,94 |
| ECOLOGICAL INDICATORS | 29 | 4,09 |
| ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT | 19 | 2,68 |
| JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT | 18 | 2,54 |
| ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH | 17 | 2,40 |
| WATER | 16 | 2,26 |
| JOURNAL OF ENVIRONMENTAL QUALITY | 15 | 2,12 |
| LANDSCAPE AND URBAN PLANNING | 13 | 1,83 |
| URBAN FORESTRY & URBAN GREENING | 12 | 1,69 |
| WATER RESEARCH | 12 | 1,69 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH | 10 | 1,41 |
| JOURNAL OF HYDROLOGY | 10 | 1,41 |
| LAND | 10 | 1,41 |
| JOURNAL OF SOILS AND SEDIMENTS | 9 | 1,27 |
| REMOTE SENSING | 9 | 1,27 |
| CATENA | 8 | 1,13 |
| CHEMOSPHERE | 7 | 0,99 |
| ENVIRONMENTAL POLLUTION | 7 | 0,99 |
| FRONTIERS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE | 7 | 0,99 |
| ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH | 6 | 0,85 |
| LAND USE POLICY | 6 | 0,85 |
| AGRONOMY-BASEL | 5 | 0,71 |
| APPLIED SOIL ECOLOGY | 5 | 0,71 |
| ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY | 5 | 0,71 |
| ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES | 5 | 0,71 |
| GEODERMA | 5 | 0,71 |
| JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION | 5 | 0,71 |
| LAND DEGRADATION & DEVELOPMENT | 5 | 0,71 |
| WETLANDS | 5 | 0,71 |
| URBAN ECOSYSTEMS | 4 | 0,56 |
| Otras revistas | 313 | 44,15 |
| Total | 709 | 100 |

Anexo 4. Indicadores citados para el desarrollo de ICS.

| Indicador | Propiedad | Detalle |
|------------------------------|---|---|
| Físicos | Textura | Proporción en la que se encuentran las partículas minerales de diversos tamaños que hay presentes en el suelo. |
| | Contenido de humedad | Cantidad de agua en una cierta cantidad conocida de suelo. |
| | Capacidad de retención de agua | |
| | Densidad del suelo | Se refiere al peso por volumen del suelo. |
| | Volumen del espacio del poro | Porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. |
| | Curva de resistencia de agua del suelo | |
| | Conductividad hidráulica saturada | Velocidad de flujo del agua que atraviesa el mismo |
| | Estabilidad de agregados | Indicador de los procesos involucrados en la degradación del suelo, ya que influye en la infiltración, retención de agua, aireación y resistencia a la penetración de raíces, erosión hídrica y eólica, siendo el parámetro relacionado con la erosionabilidad del suelo. |
| Resistencia a la penetración | Indicador del nivel de compactación de un suelo | |

| Indicador | Propiedad | Detalle |
|------------------|------------------------------------|--|
| Químicos | pH | Medida de la reacción química del suelo |
| | Capacidad de intercambio catiónico | Medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo |
| | Conductividad eléctrica | Relación con el movimiento del agua en el suelo y el daño potencial al crecimiento de las plantas. S |
| | Materia orgánica | Incluir % de materia orgánica, % de carbono orgánico y % de carbono total |
| | Carbono orgánico del suelo (COS) | Fundamental para la fertilidad del suelo y es un fuerte indicador de la salud biológica del suelo |
| | Nitrógeno Total | Utilizado para el crecimiento de la vegetación |

| | | |
|--|--|--|
| | Fosforo disponible | Es una variable dinámica, influenciada por las propiedades del suelo, la planta y las condiciones ambientales. |
| | Potasio disponible | Ayuda a disminuir el potencial osmótico del agua celular, reduciendo así la pérdida de agua por las hojas |
| | Elementos potencialmente tóxicos (Cu-Pb-Zn-Ni-Cd-Cr-Mn-Fe-Co-Al) | |

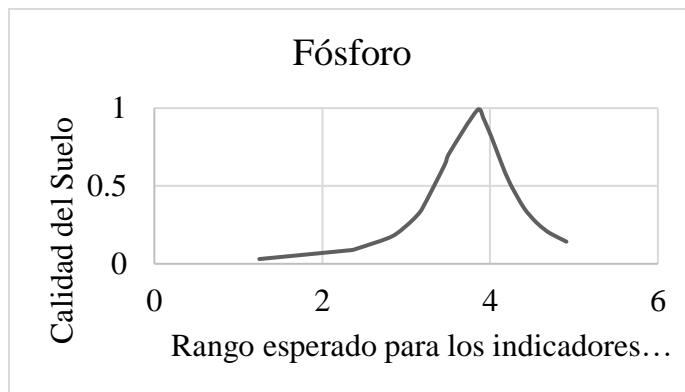
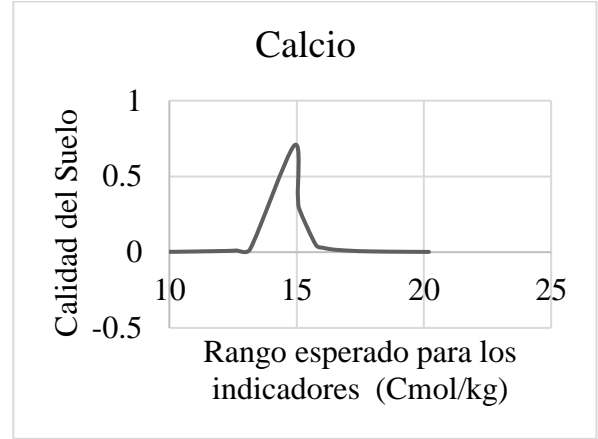
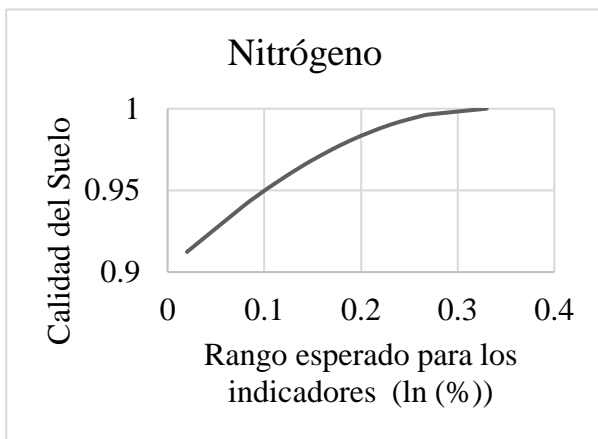
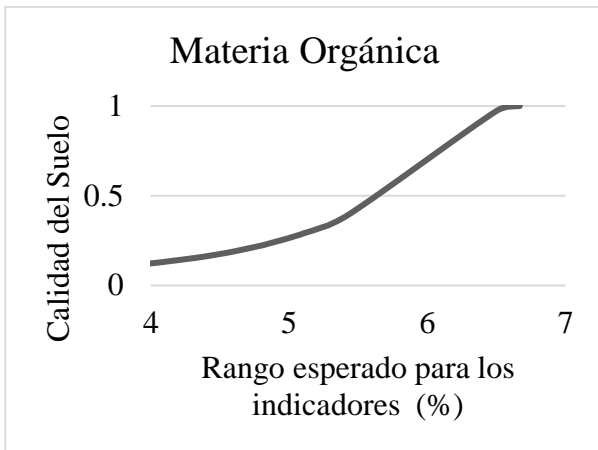
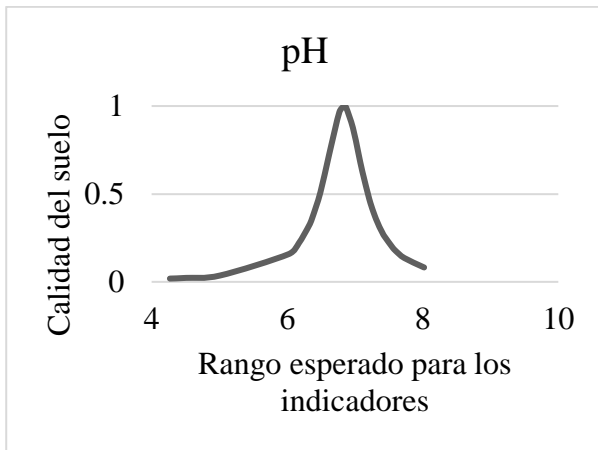
| Indicador | Propiedad | Detalle |
|-------------------|----------------------------------|--|
| Biológicos | Carbono de la biomasa microbiana | Es un bioindicador que tiene el potencial de dejar en evidencia rápidamente los cambios en el suelo de los ecosistemas |
| | Respiración microbiana | Absorción de oxígeno o la liberación de dióxido de carbono por bacterias, hongos, algas y protozoos |
| | Parámetro de sanidad vegetal | |
| | Actividad microbiana | Es importante para mantener la fertilidad del suelo y en la nutrición de las plantas. |
| | Mineralización de C | Devuelven el carbono a la atmósfera principalmente como dióxido de carbono |
| | Respiración basal del suelo | Producción total de CO ₂ , por unidad de área y de tiempo |

Anexo 5. Resultados análisis de laboratorio

| Zona | pH | MO | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Mn | Co | Zn | %Ar ena | %L imo | %Arci lla | Clase Textural | Promedio de Carbono (t C/árbol) |
|-------------------------------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------------|-----------|--------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Parque Lineal la Tebaida 1 | 7.61 | 2.25 | 0.11 | 50.2 | 0.45 | 12.31 | 1.94 | 179 | 7.75 | 2.27 | 3.23 | 38 | 40 | 22 | Franco | 0.328 |
| Parque Lineal la Tebaida 2 | 7.59 | 4 | 0.2 | 50.9 | 0.66 | 18.58 | 1.68 | 143.3 | 10.74 | 2.21 | 3.18 | 46 | 36 | 18 | Franco | 0.132 |
| Orillas del Zamora 1 | 6.62 | 1.76 | 0.09 | 22.2 | 0.41 | 15.76 | 2.5 | 164.9 | 8.33 | 2.6 | 1.63 | 32 | 38 | 30 | Franco arcilloso | 0.214 |
| Orillas del Zamora 2 | 6.49 | 1.95 | 0.1 | 16.2 | 0.31 | 6.6 | 3.29 | 249.7 | 19.88 | 2.7 | 2.48 | 38 | 44 | 18 | Franco | 0.375 |
| Avenida Cuxibamba | 7.56 | 3.71 | 0.19 | 31.8 | 1.01 | 20.06 | 2.59 | 100.7 | 15.37 | 3.09 | 10.32 | 46 | 32 | 22 | Franco | 0.413 |
| Avenida 8 de Diciembre | 8.02 | 2.7 | 0.14 | 135.7 | 0.72 | 18.55 | 1.74 | 101.1 | 9.52 | 4.05 | 11.54 | 50 | 36 | 14 | Franco | 0.365 |
| Parque Daniel Alvarez | 6.02 | 3.74 | 0.19 | 46.8 | 0.56 | 13.17 | 2.25 | 454.7 | 36.86 | 3.45 | 7.51 | 50 | 26 | 24 | Franco Arcillo Arenoso | 0.295 |
| Parque de la Música | 7.21 | 3.59 | 0.18 | 97.7 | 1.09 | 20.2 | 2.44 | 76.4 | 9.88 | 1.71 | 5.21 | 46 | 34 | 20 | Franco | 0.398 |
| Parque Bolivar | 7.41 | 4.82 | 0.24 | 97.2 | 0.97 | 18 | 2 | 222.4 | 8.73 | 4.44 | 7.25 | 30 | 44 | 26 | Franco | 0.463 |
| Parque central | 6.77 | 1.56 | 0.08 | 33.6 | 0.6 | 19.96 | 3.36 | 171.6 | 6.61 | 4.36 | 4.86 | 34 | 38 | 28 | Franco Arcilloso | 0.541 |
| Plaza Santo Domingo | 6.17 | 4.42 | 0.22 | 105 | 0.72 | 12.65 | 2.13 | 398.5 | 15.03 | 3.31 | 5.95 | 56 | 30 | 14 | Franco Arenoso | 0.252 |
| San Sebastian | 7.31 | 5.43 | 0.27 | 112.3 | 0.52 | 19.17 | 1.5 | 127.5 | 7.53 | 3.2 | 6.34 | 44 | 38 | 18 | Franco | 0.528 |
| Parque Jipiro 1 | 7.27 | 3.54 | 0.18 | 56.3 | 0.68 | 17.8 | 2.39 | 227.4 | 6.04 | 3.88 | 5.76 | 32 | 44 | 24 | Franco | 0.270 |
| Parque Jipiro 2 | 7.43 | 4.08 | 0.2 | 81.4 | 1.33 | 18.54 | 3.1 | 133 | 8.22 | 1.45 | 43.08 | 34 | 34 | 32 | Franco Arcilloso | 0.734 |
| Parque Jipiro 3 | 7.36 | 6.67 | 0.33 | 93.7 | 0.89 | 19.27 | 1.94 | 108.6 | 10.42 | 2.67 | 8.42 | 40 | 36 | 24 | Franco | 0.67 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|-------|------|-------|------|--------|-------|--------|-------|----|----|----|-------------------------|-------|
| Parque Jipiro 4 | 6.32 | 2.56 | 0.13 | 22.5 | 0.34 | 10.25 | 1.96 | 336.8 | 33.53 | 3.91 | 3.09 | 44 | 36 | 20 | Franco | 0.42 |
| Parque Jipiro 5 | 7.31 | 3.85 | 0.19 | 19 | 0.74 | 16.52 | 2.26 | 249.5 | 32.46 | 3.72 | 2.19 | 34 | 52 | 14 | Franco Limoso | 0.89 |
| Parque Infantil | 6.37 | 4.79 | 0.24 | 63.3 | 1.22 | 14.9 | 2.27 | 409.2 | 14.37 | 2.53 | 10.83 | 32 | 34 | 34 | Franco Arcilloso | 0.21 |
| Río Malacatos D | 7.73 | 3.41 | 0.17 | 69.7 | 0.76 | 17.52 | 1.75 | 125 | 10.41 | 5.17 | 10.13 | 52 | 32 | 16 | Franco Arenoso | 0.346 |
| Río Malacatos I | 7.05 | 3.58 | 0.18 | 92.2 | 0.75 | 16.12 | 2.74 | 303 | 15.23 | 4.52 | 13.25 | 50 | 30 | 20 | Franco | 0.212 |
| Sendero la Cascarilla D | 7.11 | 4.52 | 0.23 | 22.5 | 0.37 | 10.31 | 1.92 | 251.9 | 11.49 | 2.2 | 2.97 | 46 | 36 | 18 | Franco | 0.319 |
| Sendero la Cascarilla I | 6.87 | 2.6 | 0.13 | 24.3 | 0.43 | 15.11 | 2.06 | 361.9 | 19.47 | 1.71 | 1.93 | 46 | 36 | 18 | Franco | 0.485 |
| Río Zamora D | 7.24 | 2.57 | 0.13 | 92 | 0.39 | 15.05 | 2.25 | 187.6 | 16.93 | 4.09 | 10.44 | 52 | 32 | 16 | Franco Arenoso | 0.294 |
| Río Zamora I | 7.31 | 3.04 | 0.15 | 99.8 | 0.42 | 17.33 | 1.99 | 202.7 | 22.79 | 3.51 | 11.61 | 48 | 34 | 18 | Franco | 0.347 |
| Colinas del Pucara 1 | 6.97 | 6.5 | 0.33 | 62.6 | 0.64 | 18.59 | 1.95 | 179 | 12.97 | 1.65 | 5.68 | 48 | 30 | 22 | Franco | 0.321 |
| Colinas del Pucara 2 | 4.51 | 2.72 | 0.14 | 10.5 | 0.7 | 2.44 | 1.9 | 725 | 52.04 | 1.82 | < 1.6 | 20 | 42 | 38 | Franco arcilloso Limoso | 0.178 |
| Colinas del Pucara 3 | 4.27 | 5.11 | 0.26 | 10.8 | 0.17 | 1.59 | 0.92 | 1119.6 | 8.73 | 1.08 | < 1.6 | 34 | 40 | 26 | Franco | 0.430 |
| Colinas del Pucara 4 | 5.01 | 0.35 | 0.02 | < 3.5 | 0.08 | 0.55 | 0.56 | 139.4 | 1.43 | < 0.78 | < 1.6 | 28 | 40 | 32 | Franco Arcilloso | 0.28 |
| Pio Jaramillo Alvarado | 6.84 | 4.6 | 0.23 | 94.8 | 0.93 | 19.72 | 2.7 | 266.2 | 15.97 | 2.54 | 10.09 | 48 | 36 | 16 | Franco | 0.556 |
| Av. Manuel Carrión Pinzano | 7.36 | 4.32 | 0.22 | 55.3 | 0.63 | 16.04 | 2.64 | 103.1 | 8.51 | 2.48 | 7.84 | 44 | 34 | 22 | Franco | 0.048 |

Anexo 6. Grafica de Indicadores Normalizados.



Anexo 7. Normalización de Indicadores.

| Zona | Indicadores | Datos medidos | | | | | Datos Normalizados | | | | |
|----------------------------|-------------|---------------|-------|--------|------|--------|--------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | pH | MO | N | P | Ca | pH | MO | N | P | Ca |
| Parque Lineal la Tebaida | | 7.6 | 3.125 | 0.155 | 3.93 | 15.445 | 0.17645536 | 0.08585595 | 0.96860764 | 0.92972709 | 0.01 |
| Parque Daniel Alvarez | | 6.02 | 3.74 | 0.19 | 3.85 | 13.17 | 0.15739946 | 0.10433077 | 0.98077678 | 0.98834845 | 0.01931684 |
| Parque de la Música | | 7.21 | 3.59 | 0.18 | 4.58 | 20.20 | 0.47263121 | 0.09536161 | 0.97799511 | 0.25128221 | 0.00166718 |
| Parque Bolivar | | 7.41 | 4.82 | 0.24 | 4.58 | 18.00 | 0.27523957 | 0.22611645 | 0.99196508 | 0.25128221 | 0.00468027 |
| Parque central | | 6.77 | 1.56 | 0.08 | 3.51 | 19.96 | 0.96524931 | 0.0368839 | 0.94117647 | 0.70632258 | 0.00182419 |
| Plaza Santo Domingo | | 6.17 | 4.42 | 0.22 | 4.65 | 12.65 | 0.21891372 | 0.16494845 | 0.98804466 | 0.22030639 | 0.01104545 |
| San Sebastian | | 7.31 | 5.43 | 0.27 | 4.72 | 19.17 | 0.35787054 | 0.39407314 | 0.99641291 | 0.19429569 | 0.00253368 |
| Parque Jipiro | | 7.138 | 4.14 | 0.206 | 3.80 | 16.48 | 0.33005344 | 0.27798906 | 0.98073824 | 0.38869817 | 0.00585213 |
| Parque Infantil | | 6.37 | 4.79 | 0.24 | 4.15 | 14.90 | 0.36375888 | 0.22053634 | 0.99196508 | 0.62576542 | 0.70286191 |
| Colinas del Pucara | | 5.19 | 3.67 | 0.1875 | 2.53 | 5.79 | 0.23821222 | 0.33695193 | 0.9681518 | 0.21236253 | 0.0010531 |
| Río Malacatos | | 7.39 | 3.495 | 0.175 | 4.38 | 16.82 | 0.43421502 | 0.09040304 | 0.97651706 | 0.39821463 | 0.01616465 |
| Sendero la Cascarilla | | 6.99 | 3.56 | 0.18 | 3.15 | 12.71 | 0.80861636 | 0.11739427 | 0.97581874 | 0.3259932 | 0.14245544 |
| Río Zamora | | 7.275 | 2.805 | 0.14 | 4.56 | 16.19 | 0.39608863 | 0.06334276 | 0.96507764 | 0.26224383 | 0.18526476 |
| Pio Jaramillo Alvarado | | 6.84 | 4.6 | 0.23 | 4.55 | 19.72 | 0.99992783 | 0.18921834 | 0.99009901 | 0.26634599 | 0.00200446 |
| Av. Manuel Carrión Pinzano | | 7.36 | 4.32 | 0.22 | 4.01 | 16.04 | 0.3131162 | 0.15331545 | 0.98804466 | 0.82340193 | 0.02912273 |
| Orillas del Zamora | | 6.555 | 1.855 | 0.095 | 2.95 | 11.18 | 0.61730077 | 0.04139303 | 0.94764744 | 0.22958378 | 0.02 |
| Avenida Cuxibamba | | 7.56 | 3.71 | 0.19 | 3.46 | 20.06 | 0.19259338 | 0.10244222 | 0.98077678 | 0.63656167 | 0.00175618 |
| Avenida 8 de Diciembre | | 8.02 | 2.7 | 0.14 | 4.91 | 18.55 | 0.08180694 | 0.05966267 | 0.9651578 | 0.14207137 | 0.00342619 |

Loja, 29 de enero de 2024

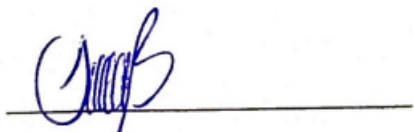
CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Stefany Gabriela Quezada Benitez, con cédula 1105860702 y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación: Mención en Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1031-23021-2295813

CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del presente Trabajo de Integración Curricular denominado **“Evaluación de la calidad de los suelos de la zona urbana de Loja, a través de índices de calidad de suelos basados en servicios ecosistémicos.”** de autoría de Alan Geovanny Morocho Pullaguari, portador de la cédula de identidad número 1105201956, estudiante de la carrera **de Ingeniería Ambiental** de la **Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables** de la Universidad Nacional de Loja. Dicho estudio se encontró bajo la dirección de Ing. Carlos Guillermo Chunchu, previo a la obtención del título de **Ingeniero Ambiental.**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que este creyera conveniente.



Lic. Stefany Gabriela Quezada Benitez

C.I.: 1105860702

Registro del SENESCYT: 1031-2021-2295813