



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

**El color del suelo como indicador del
contenido de Carbono Orgánico (COS) en la
microcuenca Río San Antonio, Yalagüina,
2024**

Autoras

Br. Mirna Nohelia Urbina Balmaceda
Br. Karelis Francheska Vindell García

Asesores

Ing. Maykeling Lisbeth Treminio Corea
Ing. Wilmer Alberto Rodríguez

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo e Ingeniero Agrícola

Managua, Nicaragua
Noviembre, 2025

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo e Ingeniero Agrícola

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Carmen Castillo Cerna

Presidente

MSc. Miguel Garmendia Zapata

Secretario

Ing. Elvin Lagos Pineda

Vocal

Lugar y fecha:

Managua, Nicaragua, 20 de noviembre 2025

DEDICATORIA

A Dios, por regalarme sabiduría y fortaleza para culminar mis estudios universitarios.

Con todo mi amor y gratitud a mis padres, Sr. Ivan Urbina Mendoza y Sra. Mirna Balmaceda Treminio, quienes han sido mi mayor inspiración y pilares de determinación durante esta etapa universitaria, en honor a su apoyo y esfuerzo incondicional.

Br. Mirna Nohelia Urbina Balmaceda

A Dios por concederme sabiduría, entendimiento y fortaleza a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis padres Sr. Ernesto Vindell y Sra. Adriana Ríos, porque son el pilar de mi día a día, por el apoyo incondicional, por creer en mis capacidades y enseñarme a ser una mejor persona.

A mi hermana Dayanna Vindell, por su apoyo y ser un motivo de superación en mi vida.

Br. Karelis Francheska Vindell García

AGRADECIMIENTO

A Dios, por regalarme salud, fuerza y perseverancia para culminar esta etapa académica; por su bondad y misericordia infinita en este proceso.

A mis padres, por su amor incondicional, por motivarme a seguir adelante, su sacrificio y creer siempre en mí.

A mi familia cercana, por sus palabras de aliento y el afecto para seguir adelante.

A mis asesores Ing. Maykeling Treminio e Ing. Wilmer Rodríguez, por su tiempo, dedicación y orientación durante la elaboración de este trabajo.

Br. Mirna Nohelia Urbina Balmaceda

A Dios por haberme dado la oportunidad de elegir esta profesión y el deseo de superación por haber terminado mis estudios universitarios.

A mis padres y a mi hermana, por su amor, por apoyarme a salir adelante en mi carrera, por su esfuerzo incondicional y por confiar en mí.

A mis asesores Ing. Maykeling Treminio e Ing. Wilmer Rodríguez, por apoyarme durante el desarrollo de la investigación y compartirme los conocimientos fundamentales para culminar esta tesis.

Br. Karelis Francheska Vindell García

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.1. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Carbono orgánico del suelo	4
3.2. El color del suelo	6
4.1. Ubicación del estudio	9
4.1.1. Clima	10
4.1.2. Suelo	10
4.2. Diseño metodológico	10
4.3. Variables evaluadas	11
4.4. Análisis de datos	11
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
5.1. Color del suelo como indicador de contenido de carbono orgánico	13
5.2. Cartilla de color	15
VI. CONCLUSIONES	17
VII. RECOMENDACIONES	18
VIII. LITERATURA CITADA	19
IX. ANEXOS	23

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Localización geográfica de la microcuenca Rio san Antonio	9
2.	Promedio de carbono orgánico por color de suelo	14

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Cartilla de color con contenido de carbono orgánico del suelo COS	15

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Muestras e suelo recolectadas en la microcuenca Rio San Antonio	24
2.	Preparación de muestras de suelo para el análisis de carbono orgánico	24
3.	Muestra suelo en húmedo	25
4.	Identificación del color de suelo con la tabla Munsell	25
5.	Análisis del carbono orgánico del suelo con la metodología GLOSOLAN-SOP-02 en unidad de medida gramos por kilogramo ($g \cdot kg^{-1}$)	26

RESUMEN

La investigación se realizó en la microcuenca del Río San Antonio, Yalagüina; con el propósito de evaluar el color del suelo como indicador visual del contenido de carbono orgánico (COS) del suelo, el COS se determinó mediante el método GLOSOLAN-SOP-02, el color de suelo se clasificó en húmedo mediante la escala Munsell y convertidas al sistema digital RGB. Los resultados demostraron que los suelos con tonalidades más oscuras presentaron mayor contenido de carbono orgánico ($g \cdot kg^{-1}$), confirmando que el color puede ser empleado como un indicador visual para estimar un rango del contenido de COS, haciendo uso de la cartilla como una herramienta práctica para agricultores y técnicos de la zona de la microcuenca Río San Antonio, al ofrecer un método sencillo de diagnóstico y monitoreo del recurso suelo; considerando el carbono orgánico como un componente fundamental para la productividad y sostenibilidad de los suelos y que el color puede ser utilizado como un indicador eficiente para el diagnóstico de la calidad del suelo.

Palabras clave: Índices RGB, Carbono Orgánico, Color del suelo y Tabla de colores Munsell

ABSTRACT

The research was conducted in the San Antonio River micro-basin, Yalagüina, with the purpose of evaluating soil color as a visual indicator of soil organic carbon (SOC) content. SOC was determined using the GLOSOLAN-SOP-02 method, Soil color was classified as moist using the Munsell scale and converted to the RGB digital system. The results showed that soils with darker shades had a higher organic carbon content ($g \cdot kg^{-1}$), confirming that color can be used as a visual indicator to estimate a range of COS content. The resulting chart serves as a practical tool for farmers and technicians in the San Antonio River micro-basin area, offering a simple method for diagnosing and monitoring soil resources. Organic carbon is considered a fundamental component for soil productivity and sustainability, and color can be used as an efficient indicator for diagnosing soil quality.

Keywords: RGB indices, Organic Carbon, Soil Color, and Munsell Color Chart

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural fundamental para la producción agrícola, el equilibrio ecológico y la sostenibilidad de los ecosistemas. Su calidad y capacidad productiva dependen en gran medida del contenido de carbono orgánico del suelo (COS), el cual desempeña un papel crucial en la retención de agua, la estructura del suelo, la actividad biológica y el ciclo de nutrientes (Lal, 2004). En los últimos años, se ha incrementado el interés por el estudio del COS debido a su relevancia tanto en la productividad agrícola como en la mitigación del cambio climático, al ser una importante reserva de carbono terrestre (Batjes, 2014).

El carbono orgánico en el suelo (COS) corresponde a la fracción de materia orgánica que contiene carbono, proveniente de residuos vegetales, animales y microorganismos en descomposición. Este componente es fundamental para la fertilidad del suelo, ya que contribuye a la formación de agregados, mejora la retención de agua y nutrientes, y sirve como fuente de energía para la actividad microbiana.

Su determinación generalmente requiere análisis de laboratorio especializados, lo que implica costos económicos y tiempo, limitando su aplicación frecuente en zonas rurales o de bajos recursos (Nelson & Sommers, 1996). Por tanto, el color del suelo ha sido propuesto como un indicador visual del contenido de carbono orgánico considerando que a tonalidades más oscuras suelen asociarse mayores concentraciones de COS.

El diseño de métodos prácticos de campo para la estimación del contenido de carbono orgánico contribuye a la estimación de contenidos de COS como un indicador clave de la salud y calidad del suelo; lo cual influye en la toma de decisiones para el manejo y conservación del suelo en las unidades productivas.

La comprensión de la relación entre el color del suelo y el contenido de carbono orgánico también tiene implicaciones ambientales y sociales. Desde un enfoque ambiental, permite promover prácticas agrícolas más sostenibles y la conservación de la calidad del suelo y en un enfoque social y educativo contribuye a fortalecer capacidades locales para interpretar indicadores visuales, facilitando a agricultores y técnicos la adopción de estrategias informadas para el manejo del recurso suelo.

Diversas investigaciones han encontrado correlaciones significativas entre el color del suelo y su contenido de materia orgánica, utilizando modelos estadísticos y clasificaciones cromáticas normalizadas (Ben-Dor et al., 1909).

Por ello, se realizó la investigación para de generar información científica y práctica que relacione el color del suelo con su contenido de carbono orgánico en un contexto local, que sea accesible para las comunidades rurales; el presente estudio tuvo evaluó el color del suelo como indicador del contenido de carbono orgánico (COS) en la microcuenca del río San Antonio, Yalagüina, Madriz.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el color del suelo como indicador del contenido de Carbono Orgánico (COS) en la microcuenca Río San Antonio, Yalagüina, Madriz, 2024.

2.1. Objetivos específicos

Comparar el color del suelo en húmedo con el contenido de carbono orgánico como indicador de la calidad del suelo.

Elaborar una cartilla de colores asociados a los contenidos de carbono orgánico del suelo (COS) para la microcuenca Río San Antonio.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos. Constituye un elemento clave del ciclo global del carbono a través de la atmósfera, vegetación, suelo, ríos y océano (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2017, párr.1).

El carbono es un componente esencial del suelo y juega un papel importante en la productividad y la sostenibilidad de éste. El carbono del suelo se encuentra en diferentes formas, como materia orgánica, humus y carbono inorgánico (Glez, 2023, p.93).

De acuerdo con Martínez et al. (2008), “El carbono orgánico del suelo (COS), se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos” (p.2).

A una escala global, el suelo contiene aproximadamente $2,000 \times 10^{12}$ kg de carbono orgánico en el primer metro de profundidad, lo cual representa una cantidad de 3 a 4 veces mayor al carbono contenido en la biomasa vegetal (Birch-Thomsen et al., 2007). Zonas áridas y semiáridas comprenden un 27% de las reservas globales de COS (Trumper et al., 2008). Las pérdidas potenciales de carbono al convertir de ecosistemas naturales a agroecosistemas, es mayor en las reservas de carbono del suelo, que el carbono contenido en la biomasa vegetal (Batjes, 2004; Citado por Mogollón et al., 2013, párr.2).

Los contenidos de carbono orgánico tienden a disminuir con la profundidad del suelo. Los cambios más fuertes en la reserva de carbono en el suelo obedecen a las modificaciones en la cobertura terrestre y tiene lugar en los primeros 20 - 30 cm, aunque en la práctica solo se suelen medir cambios en los primeros 5 cm superficiales (Kurniatun et al., 2011; Citado por Burbano, 2018, p.89).

Según Glez (2023) El COS,

Se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el nitrógeno, cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el COS aumenta la solubilidad de varios nutrientes (p.96).

De acuerdo con FAO (2017),

Un aumento en el contenido de carbono orgánico mejora la calidad y la fertilidad del suelo, la productividad, el crecimiento de vegetación y promueve una mayor acumulación de carbono en el suelo (p.14). Si se aumenta la cantidad y calidad del carbono orgánico en el suelo, se mejora la estabilidad estructural, su capacidad de retener agua, porosidad y fertilidad, esto a su vez resulta en la mejoría de una amplia gama de servicios de los ecosistemas (p.6).

En el ciclo del carbono se establece un balance entre flujos y almacenes. La circulación del carbono comienza en la reserva atmosférica. Las plantas adquieren el CO₂ atmosférico por medio de la fotosíntesis, pero una parte del CO₂ regresa a la atmósfera. El flujo de CO₂ en los ecosistemas terrestres está regulado principalmente por el suelo, ya que en éste se mineralizan constantemente residuos de plantas, animales y materiales orgánicos. Este proceso es dinámico e influye determinantemente en las condiciones climáticas del planeta (Rosenzweig y Hillel, 2000; Citado por Rojas, 2017).

De acuerdo con Martínez et al. (2008),

Las prácticas de manejo que incrementan el carbono orgánico del suelo también reducen la erosión, incrementan la producción y mejoran los recursos naturales. El movimiento de las moléculas de carbono de la atmósfera hacia las plantas y el suelo se conoce como el ciclo del carbono (p.3).

Las plantas obtienen carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis. Al utilizar el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y la energía del sol, las plantas convierten el CO₂ en carbono orgánico mientras producen tallos, hojas y raíces (p.3).

El ciclo de vida y muerte de las plantas tiene como resultado la acumulación de tejido vegetal en análisis, tanto superficial como subterráneo (raíces vegetales), produciendo una importante cantidad de carbono orgánico en el suelo (p.4).

El carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el nitrógeno, al modificar la acidez y la alcalinidad aumenta la solubilidad de varios nutrientes y aumenta la capacidad de intercambio catiónico; modifica la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo. La cantidad de COS no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo (p.69).

3.2. El color del suelo

El color del suelo es un indicador visual de la calidad, cuanto más oscuro es el color, mayor es el contenido de materia orgánica del suelo; la materia orgánica juega un papel importante en la regulación de la mayoría de los procesos biológicos, químicos y físicos en el suelo, que en conjunto determinan la salud, promueve la infiltración y retención de agua, ayuda a desarrollar y estabilizar la estructura, amortigua el impacto de las rodadas de la maquinaria agrícola, reduce el potencial de erosión eólica e hídrica, y mantiene el suelo como sumidero de carbono atmosférico (Sastre et al., 2002, p.2).

El color del suelo, aunque este indicador no tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, puede afectar indirectamente la temperatura y humedad, a través de su efecto sobre la energía radiante, mientras mayor cantidad de energía calorífica esté disponible en el suelo, se causarán mayores grados de evaporación (Sastre et al., 2002, p.13).

Según Soil Survey Division Staff (1999),

El color del suelo es una de las características morfológicas más importantes, más fácil de determinar y relevante utilizado en la separación de horizontes, permitiendo identificar distintas clases de suelos basados en la importancia que tiene el color del suelo, cualquier error en su determinación acarrea conclusiones equivocadas respecto a las características que se relacionan con él (p.5).

Una condición que define la coloración es su contenido y estado de los minerales de hierro, manganeso y de la materia orgánica; los factores de formación del suelo como la roca madre, la vegetación natural y el clima, son quienes en gran medida definen la coloración, así un suelo de color oscuro se debe a la materia orgánica muy descompuesta y señala alto contenido de humus o de pequeñas partículas envueltas en materiales húmicos altamente polimerizados (Fertilab, 2022, párr.3).

De acuerdo con Boul et al., (2011),

El origen del suelo se encuentra en la transformación de la roca madre o material parental mediante procesos de meteorización física, química y biológica; la meteorización física desintegra la roca en fragmentos más pequeños, mientras que la meteorización química altera la composición mineralógica liberando elementos que pasan a formar parte de las fases sólidas, líquidas y gaseosas del suelo.

La materia orgánica es la que tiñe el perfil de oscuro con más intensidad en la parte superior y cuya influencia decrece a medida que se profundiza en el perfil, los primeros componentes húmicos del proceso de polimerización y condensación que se lleva a cabo en la materia orgánica para transformarse en humus son los que se conocen como ácidos fúlvicos y son amarillos, cuanto más intensa es la polimerización y condensación van apareciendo los ácidos húmicos que aumentan la coloración hasta el pardo y en el último nivel de polimerización aparecen suelos grises (Moreno Ramón, Gisbert Blanquer, & Ibáñez Asensio, 2008, p. 9).

Brady y Weil (2016) señala que,

La relación entre el color del suelo y el contenido de carbono orgánico se ha documentado en diversos estudios, en general suelos con colores más oscuros (baja reflectancia en la escala Munsell) tienden a presentar mayores concentraciones de carbono orgánico debido a la acumulación de residuos vegetales y actividad microbiana (p.95).

Según la revista Geoderma de Viscarra Rossel (2005),

Se han desarrollado métodos espectrales para estimar el carbono orgánico del suelo utilizando modelos predictivos basados en el color, como los índices RGB o componentes principales de imágenes multispectrales quienes demostraron que los modelos espectrales permiten estimaciones precisas de carbono orgánico con base en el color del suelo (p.59).

La revista Canva (2025) nos explica que,

El sistema RGB, un acrónimo de los colores que utiliza: rojo, verde y azul (Red, Green and Blue), son colores que se crean mezclando cantidades variables de luz en una pantalla y se consideran colores aditivos a medida que se necesitan, se iluminan a diferentes intensidades para crear color esto quiere decir que, entre más luz, más brillante serán (párr.7).

De acuerdo con Llasera (2002),

El color se consigue por espectros de luz y no tinta, los colores se forman mediante la suma de diferentes luces en sus diferentes longitudes de onda, el sistema RGB contienen un total de 24 bits por pixel y usan 3 canales de información, uno por cada color, el valor de los canales oscila entre 1 y 255 (párr.3).

Un archivo de imagen RGB contiene valores RGB para cada píxel 0.0 corresponde al color negro, mientras que 1.0 corresponde a la intensidad de un color primario que necesita el color blanco, estos valores de punto flotante se derivan de los datos del archivo, para una imagen típica de 8 bits por canal, los bytes se dividen entre 255 (párr.4).

La evaluación del color del suelo usando el modelo de color Munsell y herramientas computacionales como `munsell2rgb` en R proporciona una aproximación confiable para relacionar propiedades físicas del suelo con datos espectrales (Parent et al., 2021, p. 6).

Las imágenes RGB de alta resolución permiten extraer índices de vegetación y texturas, aplicando técnicas eficientes de selección de características para la clasificación precisa de la cobertura terrestre (Dong et al., 2025, p. 10).

La integración de imágenes RGB con análisis espectrales y modelos predictivos proporciona una plataforma accesible y económica para el monitoreo ambiental en zonas rurales y de difícil acceso (Haburaj et al., 2020, p. 12).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

La unidad hidrográfica San Antonio se encuentra en el Municipio de Yalagüina, departamento de Madriz, con un área aproximada de 78.02 km^2 y localizada en $13^{\circ}28'29''$ latitud norte y $86^{\circ}29'59''$ latitud oeste y una altitud 777 msnm .

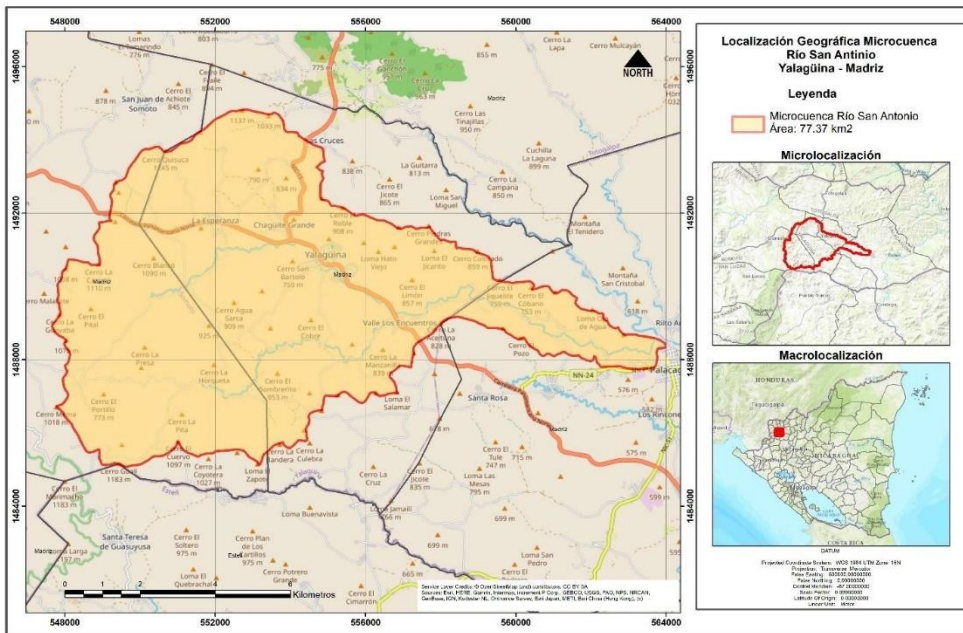


Figura 1. Localización geográfica de la microcuenca Río San Antonio

La microcuenca San Antonio representa una zona rural productiva con diversos usos de suelo, lo que incluye áreas agrícolas, pastizales y bosques, a la vez los suelos presentan una heterogeneidad edáfica lo que influye directamente en la variabilidad del contenido de carbono orgánico y con ello en la calidad y capacidad productiva de dichos suelos, a pesar de su relevancia existe una limitada información local sobre el estado actual del COS y su posible relación con propiedades físicas observables como el color del suelo.

Desde el punto de vista económico, contar con un método visual y de bajo costo para estimar el contenido de carbono orgánico puede facilitar el acceso a diagnósticos rápidos del estado del suelo, optimizando el uso de fertilizantes y reduciendo costos de producción para los agricultores (FAO, 2020).

En el ámbito social el fortalecimiento de capacidades locales para interpretar indicadores visuales del suelo puede motivar a productores y técnicos en la toma de decisiones informadas, y ambientalmente permite fomentar prácticas agrícolas más sostenibles y orientadas a la conservación del recurso suelo, al promover el monitoreo y mejoramiento de su calidad. (Barrera-Bassols y Zinck, 2003).

4.1.1. Clima

En el municipio de Yalagüina la temperatura que prevalece es de 22°C a 28°C ; según datos estadísticos, la precipitación aproximada que se registró fue de 102 mm en el mes de agosto 2024 y se observaron valores donde predominaron lluvias de 10 mm a 50 mm . (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER, 2024).

4.1.2. Suelo

Según el INETER (2006),

Los suelos de Yalagüina se clasifican dentro de los suelos Entisols, son suelos minerales de desarrollo reciente, que sus horizontes no presentan aún características bien definidas de suelos (horizontes alterados, en proceso de meteorización), aunque hay casos en que se encuentra un horizonte de poco espesor que indica un grado de evolución muy incipiente; natural, moderadamente profundos a muy superficiales (p. 45)

De acuerdo con INETER (2021),

Los suelos Entisols (L) Son suelos de reciente formación con poco o ningún desarrollo de horizontes o capas; la secuencia típica de horizontes es A-AC-R o A-R, generalmente muy superficiales, se encuentran en paisajes de laderas, superficies erosionadas y depósitos recientes, se desarrollan en cualquier tipo de clima, régimen de humedad del suelo y tienen diversos usos del suelo (p.46).

4.2. Diseño metodológico

Con el propósito de evaluar el contenido de carbono orgánico y la caracterización cromática del suelo, se realizó un levantamiento de 99 muestras de suelo tomadas aleatoriamente en parcelas con diversos usos de suelo, incluyendo áreas agrícolas, pastizales y zonas forestales, considerando así la heterogeneidad edáfica del territorio. Las comunidades donde se realizó el

muestreo de esta investigación son: El Jicarito, El Plan, Matasano, Chagüite Grande, Chagüite 2, Esquipulas, Terrero, Susuba y San Antonio.

El muestreo de suelo se realizó a una profundidad de 0 – 20 cm a través de barrenada, en cada parcela se tomaron 5 submuestras en zigzag (aleatorias) para obtener una muestra homogénea representativa del suelo de la parcela. Para la toma de datos tales como localización, tipo de uso de suelo y código de muestra, se utilizaron formatos de campo.

La investigación se desarrolló con un enfoque cualitativo, considerando las tasas del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) y su relación con el color del suelo; analizando la relación entre ambas variables (correlación). Los colores obtenidos con la tabla Munsell se transformaron al sistema RGB mediante la herramienta Munsell Color Palette, lo que permitió cuantificar los tonos del suelo y facilitar su análisis comparativo con los valores de carbono orgánico.

4.3. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) son:

- **Carbono orgánico**

El contenido de carbono orgánico (COS) se analizó con metodología GLOSOLAN-SOP-02 (método de Walkley – Black) en unidad de medida gramos por kilogramo ($g \cdot kg^{-1}$).

- **Color del suelo**

El color en húmedo se determinó en el laboratorio de física de suelo utilizando la tabla de colores Munsell, registrando los datos de color de manera precisa en tres dimensiones: Hue (Tono), Value (valor) y Chroma (croma).

4.4. Análisis de datos

Los datos recopilados de las variables contenido de carbono orgánico y color de suelo se digitalizaron en hojas de cálculos de Microsoft Excel, los códigos de color Munsell fueron convertidos al sistema RGB mediante la herramienta Munsell Color Palette, la cual permitió transformar los valores de color del sistema Munsell a su equivalente digital en el modelo RGB (Red, Green, Blue). El sistema RGB representa los colores como combinaciones de tres componentes numéricos (rojo, verde y azul), de esta manera, cada color de suelo se expresa

como un conjunto de tres valores (por ejemplo, R=54, G=48, B=41), lo que permitió cuantificar el color. Asimismo, en Microsoft Excel se analizaron los promedios de contenido de carbono orgánico y se representaron gráficamente.

El análisis estadístico permitió identificar un patrón descendente entre las variables, mostrando que a medida que el color del suelo se aclara, el contenido de carbono orgánico tiende a reducirse, esta relación se confirmó mediante la línea de tendencia lineal y el coeficiente de determinación, los cuales evidenciaron una asociación fuerte y consistente entre ambas variables.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este acápite se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis del contenido de carbono orgánico (COS, $g \cdot kg^{-1}$) y color en los suelos de la microcuenca del Río San Antonio, analizando la relación de ambas variables, considerando el color de suelo como indicador del contenido de COS. A la vez, se presenta la cartilla de colores que permite determinar estimar el contenido aproximado de carbono orgánico por el color del suelo, facilitando una herramienta práctica para productores.

5.1. Color del suelo como indicador de contenido de carbono orgánico

En la figura 2 se muestra la relación del carbono orgánico ($g \cdot kg^{-1}$) con el color de suelo, el eje Y representa el contenido de carbono orgánico y en el eje X se ubica el color de suelo identificado con los códigos 1 (10YR 2/1), 2 (7.5YR 2.5/1), 3 (5YR 2.5/1), 4 (7.5YR 2.5/2), 5 (7.5YR 3/2), 6 (10YR 3/3) y 7 (7.5YR 3/3); esta clasificación compara visualmente el comportamiento del carbono orgánico entre las diferentes tonalidades del suelo de las muestras analizadas en la investigación.

En el grafico se evidencia una línea de tendencia constante descendente con una ecuación lineal $Y = -2.3464x + 31.895$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.8715$, evidenciando una relación fuerte y consistente entre el color del suelo y el contenido de carbono orgánico y que a tonalidades más claras en el suelo es menor el contenido de carbono orgánico, esto nos permite afirmar que en suelos oscuros se encuentra mayor contenido de COS.

Al analizar los promedios de carbono orgánico relacionados con las categorías de colores, se observa que la categoría 1 (10YR 2/1) presenta el contenido más alto con un promedio de $32.4 g \cdot kg^{-1}$ y este contenido contribuye a la tonalidad oscura del suelo; seguido las categorías 2 (7.5YR 2.5/1) y 6 (10YR 3/3) con promedios intermedios de $24.9 g \cdot kg^{-1}$ y $23.7 g \cdot kg^{-1}$, respectivamente de COS.

En cambio, la categoría 4 (7.5YR 2,5/2), 3 (5YR 2.5/1) y 7 (7.5YR 3/1) evidencian una tonalidad más clara en el color del suelo y esto se relaciona con contenidos de carbono orgánico más bajos, los que oscilan entre $23.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$; la categoría 5 registra un promedio de $17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ siendo este último el que muestra el menor promedio de contenido de carbono orgánico.

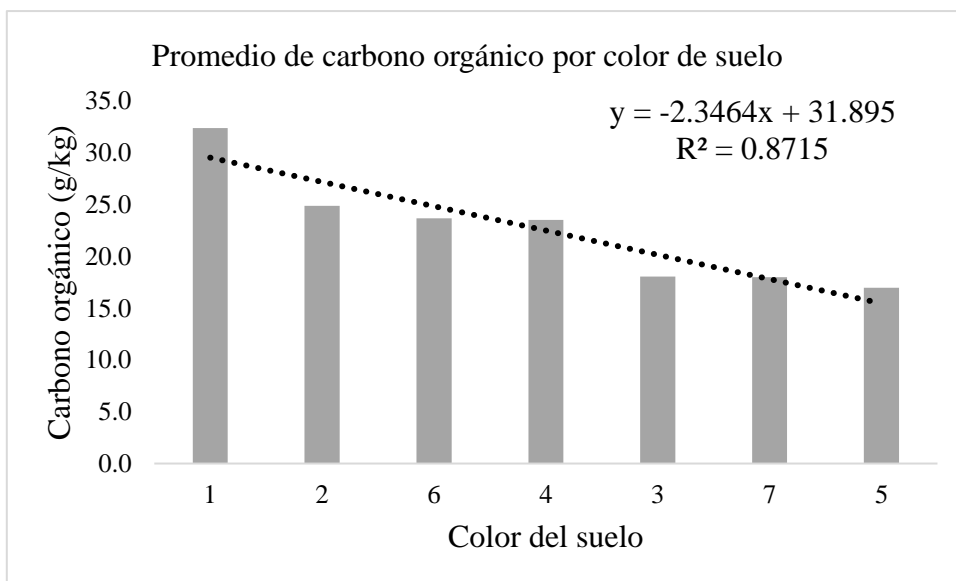


Figura 2. Promedio de carbono orgánico por color de suelo

Estos resultados obtenidos coinciden con lo citado por otros autores quienes respaldan la relación entre el contenido de carbono orgánico y el color de suelo, que a mayor contenido de carbono orgánico el color de suelo es más oscuro. El COS es una fracción medible de la materia orgánica, que, aunque constituye entre un 2 % y un 10 % de la masa del suelo, desempeña funciones fundamentales en la fertilidad, la retención de agua, la estructura y el ciclo de nutrientes del suelo (Wiki Agronomía, s.f.).

El suelo fértil es oscuro, variando entre marrón oscuro y negro. Este color se debe a la alta concentración de materia orgánica en descomposición, que mejora la estructura del suelo y aumenta su capacidad para retener nutrientes y agua (Lama, 2024, párr. 9). En este sentido la literatura confirma en que los suelos oscuros, como es el caso de los resultados presentados en esta investigación suelen ser suelos fértiles, ratificando que la tonalidad del suelo puede ser utilizada como una herramienta visual en campo.

Estudios como el de Aitkenhead et al. (2013), demuestran que las propiedades del suelo pueden ser determinadas a partir del color convirtiendo datos Munsell a los sistemas RGB y CIELAB, estos autores identificaron correlaciones entre el color y variables como la materia orgánica (medida por pérdida por ignición), el nitrógeno total, la textura y el contenido de varios elementos (Citado por Moritsuka et al., 2019, párr. 4). Por tanto, se cumple con el objetivo de esta investigación donde el color del suelo se relaciona con el contenido de COS, permitiendo emplearlo como un indicador visual.


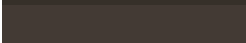

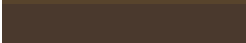
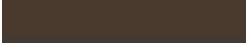


5.2. Cartilla de color

El color del suelo en estado húmedo proporciona información sobre características edáficas como el contenido de carbono orgánico del suelo, el sistema más utilizado para esta finalidad es el Sistema de Color Munsell; este se basa en la percepción humana del color y clasifica los colores en función de tres dimensiones visuales: Hue (Matiz, tipo de color), Value (Valor, claridad u oscuridad) y Chroma (Croma, pureza o saturación del color).

Los colores del suelo descrito en el sistema Munsell se transformaron al sistema RGB (por sus siglas: Red, Green, Blue) que representa los colores mediante la mezcla aditiva de luz, cada componente R, G, B presenta valores de 0 a 255 y con este criterio se pueden representar los colores del suelo en digital en Microsoft Excel.

Con el objetivo de conocer los rangos promedios de contenido de carbono orgánico de los suelos de la microcuenca Río San Antonio, se diseñó la cartilla de colores (figura 3), como indicador visual del contenido de COS. La cartilla de referencia incluye 7 colores según la clasificación Munsell y su equivalente en valores del sistema RGB, asimismo se presenta el rango de contenido de carbono orgánico expresado en gramos por kilogramo ($g \cdot kg^{-1}$) y la paleta de colores visual en el sistema RGB (Munsell Color Palette).

Cuadro 1. Cartilla de colores con contenido de carbono orgánico del suelo (COS)

Color Munsell	Nombre Munsell	RGB	Rango COS g/kg	Color húmedo	Concentraciones COS
10YR2/1	Black	54-48-41	41.25 - 59.95		Alta
7.5YR2.5/1	Black	67-58-52	33.53 - 36.09		Alta
10YR3/3	Dark Brown	88-68-44	28.80- 29.88		Moderada
7.5YR2.5/2	Very Dark Brown	74-57-45	21.51 - 24.79		Moderada
5YR2.5/1	Black	68-58-53	17.38 - 22.05		Moderada a baja
7.5YR3/3	Dark Gray	91-66-46	11.91 - 16.60		Moderada a baja
7.5YR3/2	Dark Brown	86-68-55	10.68 - 14.64		Baja

De acuerdo con los promedios del contenido de carbono orgánico se establecieron 7 rangos; en los cuales de $59.95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $33.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ se categorizó como concentraciones de COS alta, seguido de $29.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $21.51 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ como moderado, continuando con el rango de $22.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $11.91 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de moderado a bajo y por último, de $14.64 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $10.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ como concentraciones bajas.

La cartilla es una herramienta practica para emplear en los suelos de la microcuenca Río San Antonio y conocer los rangos promedios del carbono orgánico con el color de suelo como indicador, sabiendo que el carbono orgánico es una fracción de la materia orgánica del suelo y el COS se emplea como un indicador directo de la materia orgánica, esto porque se asume que la materia orgánica contiene aproximadamente un 58% de carbono orgánico.

La escala Munsell es útil para clasificar los colores del suelo y correlacionarlo con los niveles de carbono orgánico, generando así una propuesta de actualización del mapa nacional de suelos. Este enfoque resalta cómo la interpretación visual del color, apoyada por herramientas técnicas, puede integrarse exitosamente en procesos de diagnóstico y manejo sostenible del recurso suelo (Brito y Sarmiento, 2012, p.27).

De acuerdo con Soil Science Division Staff (2017),

La cartilla de colores Munsell demostró ser una herramienta válida para la caracterización y comparación de colores de horizonte en la región de estudio. El sistema Munsell, por su notación matiz, valor y croma junto con su adopción en manuales técnicos, facilita la estandarización de descripciones y la comparación interregional (párr 7).

VI. CONCLUSIONES

El color del suelo se relaciona con el contenido de carbono orgánico (COS), de modo que los suelos de tonalidades más oscuras tienden a presentar mayores concentraciones de COS, mientras que los suelos claros presentan valores más bajos; esta tendencia evidencia que el color puede utilizarse como un indicador confiable, práctico y sencillo para estimar el contenido promedio de carbono orgánico en el suelo, facilitando su caracterización y evaluación.

La cartilla de colores presenta el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), los colores de suelo en el sistema Munsell y los valores digitales en el sistema RGB para su visualización, resultando una herramienta práctica y compacta que facilita el monitoreo de un indicador visual para el diagnóstico de suelos en la microcuenca Río San Antonio.

VII. RECOMENDACIONES

Dar a conocer los resultados obtenidos a productores de la microcuenca Rio San Antonio, Yalagüina, para motivarles a emplear prácticas de conservación que incidan en el incremento del contenido de Carbono orgánico del suelo.

Promover el uso del color de suelo como un indicador visual y practico del contenido de carbono orgánico en zonas donde no se cuenta con análisis de suelo.

VIII. LITERATURA CITADA

- Barrera-Bassols, N., & Zinck, J. A. (2003). Ethnopedology: A worldwide view on the soil knowledge of local people. *Geoderma*, 111(3–4), 171–195. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00263-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00263-X)
- Batjes, N. H. (2014). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 10–21. <https://doi.org/10.1111/ejss.12114>
- Ben Dor, E., Irons, J. R., & Epema, G. F. (1999). Soil reflectance. En A. N. Rencz (Ed.), *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing* (3.^a ed., pp. 111–188). John Wiley & Sons. https://www.researchgate.net/publication/200458942_Soil_Reflectance
- Brady C.N., y Weil R.R. (2017). *La naturaleza y propiedades de los suelos*. (Edición 15.). https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition
- Brito Mijares JR., y Sarmiento Hernández GE. (2012). *Propuesta para la actualización del mapa de suelos de Honduras como base para diagnóstico de uso de suelo y contenido de carbón orgánico*. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/items/3393953c-5047-45f9-b49c-bdac3b736779>
- Buol, S. W., Hole, F. D., Southard, R. J., & McDaniel, P. A. (2011). *Soil genesis and classification* (6th ed.). Wiley-Blackwell. https://books.google.com.ni/books?id=f8bKswjc3VIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Burbano Orjuela. H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35.(1), 82-96. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
- Canva. (2025). Diferencias entre RGB vs CMYK vs Pantone y cuándo usarlos. *Revista Informativa Canvas*, Párr. 7. https://www.canva.com/es_mx/aprende/pantone-cmyk-rgb-cual-usar-marketing/
- Dong, J., Zhang, M., Liu, Y., Wang, H., & Li, X. (2025). *Vegetation extraction through UAV RGB imagery and efficient feature selection for classification*. *PLOS ONE*, 20(1), 1-17. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0322180&type=printable>
- Fertilab. (2022). *El color del suelo como indicador de fertilidad*. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El%20Color%20del%20Suelo%20como%20Indicador%20de%20su%20Fertilidad.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bf5e8df8-0bd1-4097-accb-07dfa58fc130/content>
- Glez, F. (2023) La importancia del carbono en el suelo. *Evenor Tech*. <https://evenor-tech.com/la-importancia-del-carbono-en-el-suelo/>

- Haburaj, V., Japp, S., Gerlach, I., Hoelzmann, P., & Schütt, B. (2020). *Coupling spectral imaging and laboratory analyses to digitally map sediment parameters and stratigraphic layers in Yeha, Ethiopia*. PLOS ONE, 15(9), 1-24. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0238894&type=printable>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2006). Estudio del suelo del departamento de Madriz. http://www.ineter.gob.ni/Ordenamiento/files/suelos_madriz.pdf
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2021). 1er. Atlas Nacional de suelos 2021. <https://www.ineter.gob.ni/flipatlassueloOrd/publicacionflip/atlassuelo.html>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2024, agosto). *Boletín Climático Segunda decena, agosto 2024*. <https://www.ineter.gob.ni/boletines/Boletin%20climatico/decenal/2024/agosto/BoletinClimaticoIIDec082024.pdf>
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1–2), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
- Lama, G. (2024, julio 15). La importancia del color del suelo agrícola. *Lama*. <https://www.lamastore.es/blog/color-del-suelo-agricola/>
- Llasera, J. (2002). *RGB y CMYK: Qué son y cuándo usar cada modo de color*. Revista de Internet HJ (Vloj). <https://es.wikipedia.org/wiki/RGB>
- Marqués Mateu, Á. (2013). *Integración de colorimetría y sistemas de información geográfica. Desarrollo de un procedimiento para la medición del color del suelo y su inclusión en una base de datos espacial*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. https://books.google.com.ni/books?id=f8bKswjc3VIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Martínez, E. H., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81(1), 41-43. <https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>
- Mogollón, J., Rivas, W., Muñoz, B., Márquez, E., Lemus, L., Colmenares, M., Martínez, A., Campos, Y., & Hernández, S. (2013). Cambios en el carbono orgánico del suelo bajo sistemas agrícolas intensivos en la península de Paraguaná, Estado Falcón. *Memorias XX Congreso Venezolano de Ciencias del Suelo*. <file:///C:/Users/admin/Downloads/Cambios-CarbonoOrgnico-Bajo-Sistemas-Agrcolas-Memorias-XX-CVCS-2013.pdf>
- Moreno Ramón, H., Gisbert Blanquer, J. M., & Ibáñez Asensio, S. (2008). *El color del suelo*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/entities/publication/9549a816-7c46-434c-8060-cc1680143875>
- Moritsuka, N., Matsuoka, K., Katsura, K., & Yanai, J. (2019). Farm-scale variations in soil color as influenced by organic matter and iron oxides in Japanese paddy fields. *Soil Science and Plant Nutrition*, 65(2), 166–175. <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1583542>

- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3—Chemical methods* (pp. 961–1010). Soil Science Society of America. [CHAPTER1manuel.pdf](#)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2017). *Mapa de Carbono Orgánico del Suelo*. https://estunaedu-my.sharepoint.com/personal/wilmer_rodriguez_ci_una_edu_ni/Documents/1_Bibliografia_Tesis_Carbono_2025/CO.pdf?CT=1737734139321&OR=ItemsView
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: El potencial Oculto* [Informe]. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e5e1fa9-ef55-4198-9160-fa580483f991/content>
- Páliz Larrea, P. I. (2016). *Efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c60f512e-cbea-4727-b27d-7f9acb1bfc06/content>
- Parent, E. J., Parent, S.-É., Y Parent, L. E. (2021). *Determining soil particle-size distribution from infrared spectra using machine learning predictions: Methodology and modeling*. PLOS ONE, 16(7), 1-16. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0233242&type=printable>
- Rojas García, F. (2017). *La ciencia del suelo en el ciclo del carbono de México. Elementos para Políticas Públicas*, 1(2), 69–96. https://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/Pol_Pub-Mayo-Agosto_2017.pdf
- Sastre B., Antón O., Y Bienes R. (2002). *¿Cómo evaluar la calidad de tu suelo?* https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medioambiente/guia_como_evaluar_la_calidad_de_tu_suelo.pdf
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Broderick, W. D. (2004). *Field book for describing and sampling soils* (versión 2.0). Natural Resources Conservation Service, U.S. Department of Agriculture. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2025-01/Field-Book-for-Describing-and-Sampling-Soils-v4.pdf>
- Soil Science Division Staff (2017). *Soil Survey Manual* (Handbook No. 18). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. (2ª edición). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Soil%20Taxonomy.pdf>
- Viscarra Rossel, R. A., ET AL. (2006). *Espectroscopía de Reflectancia Difusa Visible, Infrarroja Cercana, infrarroja media o combinada para la evaluación simultánea de diversas propiedades del suelo*. Geoderma, 131(1-2), 59–75. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.03.007>

Wiki Agronomía. (s.f.). ¿Qué es el carbono orgánico del suelo? *Wiki Agronomía*.
https://agronomia.wiki/que-es-el-carbono-organico-del-suelo/?expand_article=1&expand_article=1

IX. ANEXOS

Anexo 1. Muestras e suelo recolectadas en la microcuenca Rio San Antonio



Anexo 2. Preparación de muestras de suelo para el análisis de carbono orgánico



Anexo 3. Muestra de suelo en húmedo



Anexo 4. Identificación del color de suelo con la tabla Munsell



Anexo 5. Análisis del carbono orgánico del suelo con la metodología GLOSOLAN-SOP-02 en unidad de medida gramos por kilogramo ($g \cdot kg^{-1}$)

