



## Detección de dióxido de carbono para la cuantificación de carbono orgánico del suelo

Pedro Antonio Gonzales Sánchez<sup>1\*</sup>, Bessy Castillo SantaMaría<sup>2</sup>, Carlos Armando Ríos López<sup>1</sup>,  
Guillermo Vásquez Ramírez<sup>1</sup>, Enrique Arévalo Gardini<sup>3</sup>, Jaime Walter Alvarado Ramírez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Martín. Perú.

<sup>2</sup> Escuela de Posgrado Universidad César Vallejo, Perú.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas – UNAAA – ICT – Perú.

\* Autor para correspondencia: Pedro Antonio Gonzales Sánchez, bsscstll@gmail.com

(Recibido: 10-03-2024. Publicado: 25-04-2024.)

DOI: 10.59427/rcli/2024/v24cs.1845-1849

### Resumen

*El sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>, para el proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo en la Región San Martín; busca mejorar el proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo mediante un sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>. La metodología, se diseña e implementa una red telemática con arquitectura de red Ethernet, permitiendo monitorear los diferentes parámetros de los sensores, en el proceso de detección del CO<sub>2</sub> y diseñando una cámara de captura de CO<sub>2</sub> que al ponerlo en funcionamiento se obtuvieron valores de partículas por millón (ppm) de CO<sub>2</sub>. Resultados, siendo el promedio de tiempo de disponibilidad de información de 838,33 segundos y un promedio de área bajo la curva del CO<sub>2</sub> capturado del 98 210 ppm<sup>2</sup>. Así mismo, se midió el grupo control en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Martín, donde se obtuvo el tiempo promedio de cuantificación es de 126 horas, arrojando un porcentaje promedio de carbono orgánico del suelo de 0,69; para el grupo experimental, producido por sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>, el tiempo promedio de cuantificación es de 0,32 horas, arrojando un porcentaje promedio de carbono orgánico del suelo de 0,69. Por lo que se concluye que el uso del sistema de detección CO<sub>2</sub> en red, se mejorará el proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo en la Región San Martín.*

**Palabras claves:** Cuantificación, ppm de CO<sub>2</sub>, porcentaje de carbono, micro controlador.

### Abstract

*The telematic network system for detecting CO<sub>2</sub>, for the quantification process of soil organic carbon in the San Martín Region; seeks to improve the quantification process of soil organic carbon through a telematic network system for CO<sub>2</sub> detection. The methodology, a telematics network with Ethernet network architecture is designed and implemented, allowing the monitoring of the different parameters of the sensors, in the CO<sub>2</sub> detection process and designing a CO<sub>2</sub> capture chamber that, when put into operation, particle values were obtained. per million (ppm) of CO<sub>2</sub>. Results, with the average information availability time being 838.33 seconds and an average area under the captured CO<sub>2</sub> curve of 98,210 ppm<sup>2</sup>. Likewise, the control group was measured in the soil laboratory of the National University of San Martín, where the average quantification time was 126 hours, yielding an average percentage of soil organic carbon of 0.69; For the experimental group, produced by a telematic CO<sub>2</sub> detection network system, the average quantification time is 0.32 hours, yielding an average percentage of soil organic carbon of 0.69. Therefore, it is concluded that the use of the networked CO<sub>2</sub> detection system will improve the quantification process of soil organic carbon in the San Martín Region.*

**Keywords:** Quantification, ppm of CO<sub>2</sub>, carbon percentage, micro controller.

## 1. Introducción

En el Perú y el resto del mundo es preocupación el manejo inadecuado de los suelos, que se viene desarrollando por las malas prácticas antrópicas, donde los Objetivos del Desarrollo Sostenible sobre la vida de los ecosistemas terrestre (15), enfocadas en la pérdida de tierras cultivables, degradación del suelo entre otros (ODS, 2015). Sumando a ello, la actividad humana mediante las modificaciones del cambio de uso del suelo en diversas actividades (UNFCCC, 2008). En tanto, estudios realizados por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) dan a conocer que los bosques y ecosistemas naturales están siendo afectados por las actividades antropogénica de carácter directo e indirecto (Bárcena et al., 2020). En ese sentido para efectuar la detección del CO<sub>2</sub>, estudios reportan que: las nanojaulas obtenidas de Zinc (Zn) (C19 Zn) identifican la detección y la eliminación del CO<sub>2</sub> por las nanojaulas de C19Zn, respondiendo a los contaminantes producidos por efecto invernadero; sumado a ello la contribución de la detección fotónicas y la detección de los gases de CO<sub>2</sub> de óxidos metálicos a base de estructuras micro-nano jerárquicas (Harisma et al., 2023; Yadav et al., 2021; Zhang et al., 2022). Otros hallazgos recientes detectan que el aire del mar contiene CO<sub>2</sub> y que están influenciadas por las olas de calor del mar, que ocurren en áreas de absorción y liberación de CO<sub>2</sub> (Mignot et al., 2022).

Frente a ello se plantean diversos métodos para la conservación del carbono orgánico del suelo. Por lo que Cao et al., (2023) genera un sistema de medición de alta frecuencia de múltiples gases, para su comprensión en la rotación del carbón y nitrógeno, profundizando en las emisiones de gases para medir el efecto invernadero, así como el nitrógeno reactivo del compostaje. Zhu et al. (2023) plantean el diseño para gases mixtos, lo cual se emplea en múltiples acciones por división de tiempos a través de la construcción de celda de foto acústica acoplada a un tubo. Mientras que el modelo de Valoración Integral de Servicio Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST) hace uso de la cobertura terrestre estima la cantidad de carbono en un paisaje (Chaco et al., 2019). La mejora del carbono en el suelo favorece su recuperación, regeneradas por cubierta vegetal y materia orgánica (Chen et al., 2019; Mengist et al., 2023; Mustafa et al., 2023). Para determinar la cuantificación de carbono en los suelos, Williams et al. (2022) estudiaron el carbono geogénico y neogénico en suelos aluviales, resultando más eficiente carbono geogénico en el suelo, superando a los suelos con carbono orgánico ribereños aluviales. Mientras que Chen et al. (2023) reportan que al aplicar 12 años de lodo de biogás alteran la estructura de comunidades bacterianas desnitrificantes en suelos de arroz. El uso de métodos como el espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier de radiación de sincrotrón (SR-FTIR), microscopía de rayos X de transmisión por barrido (STXM) y el STXM-NEXAFS (NEXAFS-estructura finas de absorción de rayos X en el borde cercano) permite evaluar grupos de minerales y MOS, donde se termina los datos químicos de nanométrica alrededor del suelo y correlacional el Fe, Ca y OC, asociando el OC con el Ca. (Qi et al., 2023; Sowers et al., 2018). Esto permite conocer a profundidad que los métodos para cuantificar el COS (carbono orgánico en suelos) son empleados para lograr con exactitud las ventajas del CO y la sostenibilidad de los microorganismos en el suelo, construyendo un ecosistema viable para el medio ambiente. Mientras que el modelo de Valoración Integral de Servicio Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST) hace uso de la cobertura terrestre estima la cantidad de carbono en un paisaje (Chaco et al., 2019). Logrando que la mejora del carbono en el suelo favorece su recuperación, regeneradas por cubierta vegetal y materia orgánica (Chen et al., 2019; Mengist et al., 2023; Mustafa et al., 2023).

Estudio que plantea dar respuesta al deficiente proceso de cuantificación del carbono orgánico, fundamentando en un prolongado tiempo en la respuesta, demora de los resultados en los laboratorios y calidad de la muestra en relación al tiempo de transporte que genera error en los resultados y pérdida de actividad orgánica. Por lo que se plantea como problema: el deficiente proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo en la región San Martín. Cuyo objetivo es mejorar el proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo, mediante un sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>, en la región San Martín, Perú, la investigación permitirá monitorear la cuantificación del carbono en suelo en áreas de conservación regional de manera precisa y rápida, con datos organizados gráficamente para la toma de decisiones por los responsables de la conservación del medio ambiente en San Martín. Así mismo el sistema de red telemática de CO<sub>2</sub> podrá ser utilizado para crear mapas de cuantificación de carbono en suelo mapas de zonificación, monitoreo de degradación de suelos, análisis histórico del impacto de la deforestación, valoración ambiental, así como establecer estrategias y planes tanto regionales como locales para la mitigación del impacto ambiental. La hipótesis, con el uso del sistema de detección CO<sub>2</sub> en red, se mejorará el proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo.

## 2. Metodología

La investigación es de tipo aplicada, nivel explicativo correlacional, desarrollada mediante el diseño de preprueba y postprueba con dos grupos equivalentes, es de enfoque cuantitativo experimental. Muestras obtenidas de 06 localidades de la región San Martín, Perú, en las provincias de Moyobamba (02 muestras), Juanjui (01 muestra), Tarapoto (02 muestra) y Lamas (01 muestra). Donde se aplicó las técnicas e instrumentos de fundamentos teóricos y observación, análisis documental y ficha de registro de datos.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Implementación del sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>

Al implementar la red telemática de detección de CO<sub>2</sub> y ponerlo en funcionamiento se obtuvieron valores de partículas por millón (ppm) de CO<sub>2</sub>, a esto se aplicó el análisis número mediante la utilización del área bajo la curva que genera las muestras de CO<sub>2</sub>, desde la muestra 0 hasta muestra 96 equivalente a 8 minutos de almacenamiento de CO<sub>2</sub> dentro de la cámara de captura de CO<sub>2</sub>, estos resultados tienen un promedio de tiempo de disponibilidad de información 838,33 segundos y un promedio de área bajo la curva del CO<sub>2</sub> capturado del 98 210 ppm<sup>2</sup>. Para lograr este objetivo se diseñó de la red telemática de detección CO<sub>2</sub>, el módulo de captura del CO<sub>2</sub>, la maleta de alimentación eléctrica y procesamiento de datos; además se implementó de la red telemática y también se realizó la implementación del almacenamiento de datos (i) Diseño general de la red telemática de detección CO<sub>2</sub> (ii) módulo de CO<sub>2</sub>, (iii) maleta de alimentación eléctrica y procesamiento de datos, (iv) implementación de la red telemática, (v) implementación del almacenamiento de datos. Esto conlleva que la detección y su aplicación por parte del avance tecnológico tiene su fundamento a lo manifestado por Bárcena et al. (2020) dan a conocer que los bosques y ecosistemas naturales están siendo afectados por las actividades antropogénica de carácter directo e indirecto. Que instrumentos de red telemática de detección de CO<sub>2</sub> ayudan en el desarrollo de la ciencia. Cao et al. (2023) implementa un sistema de medición de alta frecuencia de múltiples gases, para su comprensión en la rotación del carbón y nitrógeno.

#### 3.2. Medición del proceso de cuantificación del carbono orgánico del suelo, en la Región San Martín

Tiempo de muestreo de 5 segundos por muestra, la cual se tomó 120 registros en la base de datos, esto equivale a 10 minutos aproximadamente. Para el proceso de la cuantificación del carbono se utilizó el área bajo la curva que genera las muestras de CO<sub>2</sub>, desde la muestra 0 hasta muestra 96 equivalente a 8 minutos de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en la cámara de captura de CO<sub>2</sub>, además se observa que el CO<sub>2</sub> dentro de la cámara el CO<sub>2</sub> empieza a aumentar. Este aumento es mayor en lugares donde existe mayor cantidad de materia orgánica. En este sentido, el incremento del carbón en el suelo es propicio y ayuda a mejorar el suelo favoreciendo la recuperación, regeneradas por cubierta vegetal y materia orgánica (Chen et al., 2019; Mengist et al., 2023; Mustafa et al., 2023).

#### 3.3. Relación que existe entre los procesos de cuantificación de carbono orgánico del suelo y el sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>

Para los datos del grupo experimental se presenta en la tabla 1, se agrega la disponibilidad de la información, y se cuenta con la velocidad de procesamiento de las computadoras, se aprecia en la tabla 2, la cual se midió en segundos.

**Tabla 1:** Toma de muestras en las provincias del departamento.

Tiempo de disponibilidad de información (Segundos)	Área bajo la curva del CO <sub>2</sub> capturado del(ppm <sup>2</sup> )	Provincia de la muestra
820	86 595	Moyobamba
867	176 630	Moyobamba
801	79 920	Juanjui
760	59 325	San Martín
781	125 742	San Martín
1001	61 045	Lamas

**Tabla 2:** Datos obtenidos proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo.

Ubicación	Grupo control		Grupo experimental	
	Tiempo de cuantificación (Horas)	Carbono orgánico (% Carbono)	Tiempo de cuantificación (Horas)	Carbono orgánico (% Carbono)
Moyobamba	148,80	0,723	0,305555556	0,723
Moyobamba	148,80	0,913	0,336111111	0,913
Juanjui	163,20	0,634	0,331666667	0,634
San Martín	96,00	0,520	0,303888889	0,520
San Martín	96,00	0,749	0,311111111	0,749
Lamas	103,20	0,621	0,326388889	0,621
Promedio	126,00	0,69	0,32	0,69

La integración de la cuantificación del carbono y el sistema de telemática de detección de CO<sub>2</sub>, Zhu et al. (2023) plantean el diseño para gases mixtos, donde emplea múltiples acciones por división de tiempos a través de la

construcción de celda de foto acústica integrada a un tuvo.

### 3.4. Proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo mediante un sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>, en la Región San Martín

El levantamiento de información, análisis y la medición de los indicadores ha permitido llegar al proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo mediante un sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>, tal como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3:** Datos referidos a red telemática de detección de CO<sub>2</sub>.

Muestras	Grupo control			Grupo experimental		
	Tiempo de cuantificación (Horas)	Carbono orgánico (% Carbono)	PESO	Tiempo de cuantificación (Horas)	Carbono orgánico (% Carbono)	Peso
1	148,80	0,723	149,52	0,30555556	0,723	1,03
2	148,80	0,913	149,71	0,33611111	0,913	1,25
3	163,20	0,634	163,83	0,33166667	0,634	0,97
4	96,00	0,520	96,52	0,30388889	0,520	0,82
5	96,00	0,749	96,75	0,31111111	0,749	1,06
6	103,20	0,621	103,82	0,32638889	0,621	0,95

En relación a la cuantificación del carbono en los suelos, Williams et al. (2022) estudiaron el carbono geogénico y neogénico en suelos aluviales, donde obtuvieron resultados convincentes con el carbono geogénico, superando a suelos con carbono orgánico ribereños aluviales.

## 4. Conclusiones

La implementación de la red telemática de detección de CO<sub>2</sub>, se aplicó el análisis número mediante la utilización del área bajo la curva que genera las muestras de CO<sub>2</sub>, obteniendo un promedio de tiempo de disponibilidad de información 838.33 segundos y un promedio de área bajo la curva del CO<sub>2</sub> capturado del 98 210 ppm<sup>2</sup>. Se midió el grupo control (Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de San Martín) el tiempo promedio de cuantificación es de 126 horas, arrojando un porcentaje promedio de carbono orgánico del suelo de 0,69; para el grupo experimental (producido por sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>) el tiempo promedio de cuantificación es de 0,32 horas, arrojando un porcentaje promedio de carbono orgánico del suelo de 0,69. La relación es de  $y = 0,0015x - 0,784$ , donde “y” es proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo y “x” es con el sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>. Grado de relación entre el proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo y el sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub> es de 27%. Para mejorar el proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo mediante un sistema de red telemática de detección de CO<sub>2</sub>, en la Región San Martín; después de realizar las mediciones y realizar la prueba de hipótesis se aceptó la hipótesis alternativa que es “con el uso del sistema de detección CO<sub>2</sub> en red, se mejorará el proceso de cuantificación de carbono orgánico del suelo en la Región San Martín”.

## 5. Referencias bibliográficas

Bárcena, A., Samaniego, J. L., Paredes, W., & Alatorre, J. E. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe. ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción? USA: CEPAL.

Cao, Y., Wang, X., Misselbrook, T., Wang, R., Zheng, X., & Ma, L. (2023). Quantification of N and C cycling during aerobic composting, including automated direct measurement of N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions. *Science of the Total Environment*, 857, 159177.

Chaco, S., Ravichandran, C., Vairavel, S., & Mathew, J. (2019). Employing measurers of spatial distribution of carbon storage in Periyar Tiger Reserve, southern Western Ghats, India. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 3(1).

Chen, L. C., Guan, X., Li, H. M., Wang, Q. K., Zhang, W. D., Yang, Q. P., & Wang, S. L. (2019). Spatiotemporal patterns of carbon storage in forest ecosystems in Hunan Province, China. *Forest Ecology and Management*, 432, 656-666.

Chen, Z., Ma, J., Liu, Y. X., Zhao, J., Ma, J., Yu, Q., . . . Wang, Q. (2023). Differential responses of soil nirS- and nirK-typed nitrifying microbial communities to long-term application of biogas slurry in a paddy soil. *Applied Soil Ecology*, 182, 104711.

- Harisma, K., Zandi, H., & Al-Gazally, M. E. (2023). Carbon dioxide adsorption by a zinc-doped nanocage: DFT-Based computational assessment of gas pollution detection and removal. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(4), 1- 9.
- Mengist, W., Soromessa, T., & Feyisa, G. L. (2023). Responses of carbon sequestration service for landscape dynamics in the kaffa biosphere reserve, southwest Ethiopia. *Environmental Impact Assessment Review*, 98, 106960.
- Mignot , A., Von Schuchmann, K., Landschutzer, P., Gasparin, F., Van Gennip, S., Perruche, C., . . . Amm, T. (2022). Decrease in air-sea CO<sub>2</sub> fluxes caused by persistent marine heatwaves. *Nature communications*, 13(1), 1-9.
- Mustafa A, Saeed Q, Nezhad M, T. K., Nan, S., Hongjun, G., Ping, Z., . . . Nuñez-Delgado, A. (2023). Physically separated soil organic matter pools as indicators of carbon and nitrogen change under long-term fertilization in a Chinese Mollisol. *Environmental Research*, 216(2), 114626.
- Qi, L., Weifang, H., Linfeng, L., & Yichun, L. (2023). Interactions between organic matter and Fe oxides at soil micro-interfaces: Quantification, associations, and influencing factors. *Science of the Total Environment*, 855(158710), 1 -15.
- Sowers, T. D., Adhikari, D., Wang, J., Yang, Y., & Sparks, D. L. (2018). Spatial Associations and Chemical Composition of organic carbon sequestered in Fe, Ca, and organic carbon ternary systems. *Environmental Science y Technogy*, 52(12), 6936-6944.
- UNFCCC. (2008). kyoto Protocol. Reference Manual (UNFCCC ed.). UNFCCC.
- Williams, E. K., Ricker, M. C., & Plante, A. F. (2022). Quantification of geogenic carbon in anthropogenic alluvial coal soils of the Susquehanna River. *Journal of Environmental Quality*, 51(5), 1003-1015.
- Yadav , A., Gerislioglu, B., Ahmadvand , A., Kaushik, A., Cheng, G. J., Ouyang, Z., . . . RamaKrishna, S. (2021). Controlled self-assembly of plasmon-based photonic nanocrystals for high performance photonic technologies. *Nano Today*, 37, 101072.
- Zhang, C., Xu, K., Liu, K., Xu, J., & Zheng, Z. (2022). Metal oxide resistive sensors for carbon dioxide detection. *Coordination Chemistry Reviews*, 472, 214758.
- Zhu , Z., Li, Z., Liu, J., & Fang, Y. (2023). Methane and carbon dioxide mixed gas detection based on sphere-tube coupled photoacoustic cell. *Optics Communications*, 527, 128977.