

Evaluación de emisiones gases en la elaboración de carbón vegetal con el horno metálico tipo CEVAG-INIFAP.

Charcoal Quality and the Evaluation of Emissions during its Production

Maria Mariana Reyes Vazquez ¹, Julio Cesar Ríos Saucedo^{2*}, Ixchel Abby Ortiz Sánchez³, Oscar Gilberto Alaniz Villanueva³, Martín Aquino Ramírez⁴, Antonio Cano Pineda⁵

¹Estudiante de Maestría en Ingeniería, Tecnológico Nacional de México (TecNM) - Instituto Tecnológico Valle del Guadiana (IVG), Carretera Durango - México km. 22.5. Ejido Villa Montemorelos, Durango. C.P. 34371.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Valle del Guadiana., Kilómetro 4.5 Carretera Durango-El Mezquital, Durango, Dgo. C.P. 34170.

³Tecnológico Nacional de México (TecNM) - Instituto Tecnológico Valle del Guadiana (IVG), Carretera Durango - México km. 22.5. Ejido Villa Montemorelos, Durango. C.P. 34371.

⁴INIFAP-Campo Experimental Edzná. Carretera Campeche-Pocuyaxum km 15.1. Campeche, Camp. México.

⁵Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119

*Autor para correspondencia: rios.julio@inifap.gob.mx

RESUMEN

Este estudio evaluó la calidad del aire y las emisiones gaseosas durante la producción de carbón vegetal en hornos metálicos portátiles tipo CEVAG en Durango, México actividad económica crucial para la región. La investigación se justifica por la necesidad de cuantificar el impacto ambiental y en la salud pública de estas emisiones. Los objetivos fueron medir las concentraciones de material particulado (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀), formaldehído (HCHO) y dióxido de carbono (CO₂) para verificar el cumplimiento de la normativa mexicana e internacional e identificar riesgos. La metodología consistió en un muestreo radial alrededor de un horno, midiendo los contaminantes a distancias de 5, 15, 30, 60 y 120 metros en los cuatro puntos cardinales y a dos alturas, utilizando analizadores de gases, medidores láser de partículas y anemómetros calibrados. Los resultados mostraron que las concentraciones de PM y HCHO superaron los límites permisibles de la NOM-025-SSA1-2014, NOM-020-SSA1-2014 y las guías de la OMS en un radio de 5 a 30 metros, registrándose las mayores concentraciones a 5 m (PM_{2.5}: 317.25 µg/m³, HCHO: hasta 0.3955 ppm). Sin embargo, estas se redujeron drásticamente (entre 89% y 98%) a distancias mayores de 60 metros, donde se cumplió con la normativa. El CO₂ se mantuvo en niveles seguros en todas las mediciones. Respecto a la calidad del carbon, el análisis reveló que el diámetro de la materia prima es un factor crítico, encontrándose una correlación positiva entre el contenido de carbono fijo y el poder calorífico. Se concluye que, si bien la dispersión atmosférica es efectiva a distancias superiores a 60 m, es imperativo que los operadores utilicen equipo de protección personal especializado (respiradores con filtros P100 y cartuchos para gases) durante las fases críticas de operación y se recomienda establecer un distanciamiento mínimo de 60 metros entre los hornos y cualquier área habitable para proteger la salud de las comunidades cercanas.

Palabras clave: carbón vegetal, emisiones, horno CEVAG.

ABSTRACT

This study evaluated air quality, gaseous emissions and charcoal quality during production in portable CEVAG-type metal kilns in Durango, Mexico, addressing both environmental impact, impact and product characterization. The research quantified particulate matter (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀), formaldehyde (HCHO), and carbon dioxide (CO₂) concentrations through radial sampling at distances of 5-120 meters using calibrated gas analyzer, laser particle meters, and anemometers. Results demonstrated PM and HCHO levels exceed 025-

SSA1-2014, NOM-020-SSA1-2014, and OMS limits within 5-30 meters, peaking at 5 m ($PM_{2.5}$: $317.25 \mu g/m^3$, HCHO: 0.3955 ppm). Critically, concentrations reduced drastically (89-98%) beyond 60 m, achieving regulatory compliance, while CO_2 remained within safe limits. Concurrent proximal analysis revealed raw material diameter significantly influences charcoal quality, demonstrating a strong positive correlation ($R=.98$) between fixed carbon content mitigates pollution beyond 60 m, operators require specialized personal protective equipment (P100 respirators with gas cartridges) during critical operational phases. The finding provides crucial data for developing safer operational protocols and sustainable charcoal production practices that balance economic viability with environmental and public health protection.

Keywords: CEVAG kiln, charcoal, emissions.

INTRODUCCIÓN

La producción de carbón vegetal es una actividad económica importante para las comunidades rurales de la Durango. Esta industria se basa principalmente en el aprovechamiento de especies forestales como mezquite (*Neltuma spp.*) y huizache (*Acacia Schaffneri*) (Wolf & Vogel, 1986), reconocidas por su alto valor energético. Se estima que aproximadamente el 30 por ciento de los ejidos de la región dependen económicamente de esta actividad, con una producción anual estimada en 15,000 toneladas (Calzada Roviroso *et al.*, 2015; ITS, 2010).

El uso de hornos metálicos tipo CEVAG representa innovación tecnológica debido a su eficiencia y alta capacidad de producción. Estos hornos permiten un proceso térmico controlado para la obtención de carbón vegetal, optimizando la calidad y cantidad del producto (Ruiz *et al.*, 2023). No obstante, genera emisiones de partículas (PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10}) y gases como CO_2 y formaldehídos HCHO (García Pérez *et al.*, 2021b), que impactan la calidad del aire y la salud local (SRNMA, 2022). Estas emisiones pueden superar los límites de la NOM-085-SEMARNAT-2011, especialmente durante el encendido y carbonización (Avante Juárez & Rojas Álvarez, 2024; SEMARNAT, 2014). En este estudio se evaluó el impacto ambiental y en salud pública de la producción de carbón vegetal en hornos metálicos CEVAG en Durango, mediante el análisis de emisiones de material particulado (PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10}), formaldehídos (HCHO) y dióxido de carbono (CO_2). Los resultados permitirán determinar el cumplimiento normativo de las emisiones con los límites establecido e identificar riesgos potenciales para la salud de trabajadores y comunidades cercanas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en el municipio de Durango, Dgo., específicamente en el p.p. lotes de terreno rustico marcados con los números 338, 339, 340, 341, 359, 360, 361, 362, 374, 375, 376, 377, 388, 389, 390 y 39, todos colindantes al Fraccionamiento de la Colonia Hidalgo a 12 km al noreste de la ciudad de Durango. La zona presenta vegetación secundaria arbustiva (VSA), agricultura de riego anual (ARA) y pastizal inducido (PI), con especies predominantes como *Acacia Schaffneri* (huizache).

Variables evaluadas.

Este estudio evaluó la dispersión de contaminantes críticos a partir de una fuente de combustión en carboneras con hornos metálicos tipo CEVAG. Se midieron material particulado en sus tres fracciones de tamaño (PM_1 , $PM_{2.5}$ y PM_{10}) y las Partículas Suspendidas Totales, gases específicos como el formaldehído (HCHO) y el dióxido de carbono (CO_2) como indicador de combustión. Adicionalmente, se monitorearon variables meteorológicas como la velocidad del viento, la temperatura y la humedad, ya que estos factores externos influyen directamente en la volatilidad, dispersión y concentración de los contaminantes en el aire.

Equipo de medición Utilizados

Para capturar los datos, se empleó instrumentación especializada y calibrada: Medidor Laser BTMETER® de dispersión de luz para las concentraciones de partículas (PM), un analizador de gases portátil TEMPER® para los niveles de CO_2 , humedad y temperatura, para finalizar se usó un Anemómetro para registrar la velocidad del viento. El uso de este equipo aseguró que las mediciones fueran precisas y que estuvieran basadas en principios ópticos y electroquímicos reconocidos,

cumpliendo con los protocolos establecidos en las normas mexicanas pertinentes para este tipo de evaluaciones ambientales.

Análisis de Datos.

El análisis consistió en procesar los datos mediante estadística descriptiva para cálculo de promedios de concentración por distancia, seguido de un cálculo del porcentaje de reducción de la contaminación en relación con el punto más cercano al horno. Finalmente, estos valores promedio fueron cotejados con los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para determinar el cumplimiento normativo y el riesgo asociado a cada contaminante de esta actividad. A continuación, se enlistan las normas relacionadas a emisiones de gases en la producción de carbón.

Calidad de Carbón Vegetal

Se realizó un estudio de la calidad del carbón vegetal producido en los hornos metálicos tipo CEVAG, con el objetivo de caracterizar su composición proximal y analizar su posible relación con las emisiones gaseosas y material particulado previamente reportado. Específicamente, se analizó la calidad de carbón del carbón obtenido de la misma quema en la que se monitorearon las emisiones. Para el análisis proximal se analizaron muestras de carbón vegetal producido a partir de ramas de huizache (*Acacia Schaffneri*) con diferentes diámetros promedio, clasificadas de la siguiente manera: H1 correspondió a ramas de 25 cm de diámetro, H2 a ramas de 15 cm, y H3 a ramas delgadas de 7 cm.

Se realizó un análisis proximal del carbón vegetal producido (ASTM D1762-84) se determinó sus cuatro componentes principales. Primero, la muestra se molió y laminó. La humedad se calculó secando a 105°C. La materia volátil se midió por pérdida de peso a 950°C. Las cenizas se obtuvieron al calcinar a 750°C. El carbono fijo se obtuvo por diferencia: 100% menos los tres componentes anteriores. El método evalúa la calidad del carbón y se realizó por triplicado.

Tabla 1. Normas y límite máximo permisible de cada norma utilizada.

Norma	Tipo	Límite Máximo Permisible
NOM-085-SEMARNAT-2011	Norma Mexicana- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	Oficial 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramo por metro cubico)
NOM-172-SEMARNAT-2023	Norma Mexicana- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	Oficial PM _{2.5} : 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM ₁₀ : 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ CO ₂ : 5000 ppm
NOM-025-SSA1-2014	Norma Mexicana- Secretaría de Salud en el Diario Oficial de la Federación (DOF).	Oficial PM _{2.5} : 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM ₁₀ : 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NOM-020-SSA1-2014	Norma Mexicana- Secretaría de Salud en el Diario Oficial de la Federación (DOF).	Oficial 0.1 ppm para HCHO
Guías de Calidad del Aire OMS (2021)	Estándar Internacional, Organización Mundial de la Salud	PM _{2.5} : 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM ₁₀ : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ley General de Cambio Climático (CO ₂)		
Norma OSHA	Occupational Safety and Health Administration (OSHA) de los Estados Unidos.	5000 ppm para CO ₂
Límites de la NOM-098-SEMARNAT-2002	Norma Mexicana- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	Oficial PM ₁ : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las emisiones gases presentaron

Tabla 2. Condiciones ambientales durante el monitoreo

Parámetro	Promedio	Instrumento utilizado	Efecto en emisiones
Temperatura	34.7933°C	Termómetro	Aumento en la volatilización de compuestos orgánicos y mayor formación de ozono (O ₃).
Humedad relativa	4.1664 %	Higrómetro	Baja humedad puede reducir la deposición húmeda de contaminantes, aumentando su permanencia en el aire.
Velocidad Viento	0.55 m/s	Anemómetro	Velocidad baja favorece la acumulación de contaminantes cerca de la fuente de emisión.

Emisiones de Material Particulado.

Tabla 3. Concentraciones de PM₁ a diferentes distancias y alturas, comparadas con estándares internacionales.

Distancia (m)	PM1 (a) (µg/m³)	PM1 (b) (µg/m)	(%)	Norma OMS	NOM-098
5	164	203.75	..	X	X
15	34	39	79	X	O
30	17.5	27	89	X	O
60	7.25	6.5	96	O	O
120	5.75	6.25	97	O	O

Donde, PM1 (a), lecturas a 1.20 m de altura, PM1 (b) lecturas a 3 m de altura, X representa incumplimiento de la norma y O cumple con el límite permisible, µg/m³ = microgramo por metro cubico.

Los resultados muestran que las concentraciones de PM₁ presentan una marcada disminución con la distancia al horno a 5 metros se registraron los valores más altos (164 µg/m³ a 1.2 m y 203.75 µg/m³ a 3 m de altura), superando considerablemente los niveles de referencia. Sin embargo, a partir de los 30 metros las concentraciones se redujeron en un 89%, alcanzando valores inferiores a 27 µg/m³. Esta rápida disminución evidencia una efectiva dispersión del material particulado (Mccarthy, 2013).

Tabla 4. Concentraciones de PM2.5 a diferentes distancias y alturas, comparadas con estándares internacionales.

Distancia (m)	PM2.5 (a) (µg/m³)	PM2.5 (b) (µg/m³)	(%)	Norma OMS	NOM-098
5	317.25	233.5	..	X	X
15	121.25	115.5	62	X	X
30	26.25	22.6	92	X	O
60	10	11.25	97	O	O
120	7	7	98	O	O

Donde, PM 2.5 (a), lecturas a 1.20 m de altura, PM 2.5 (b) lecturas a 3 m de altura, X representa incumplimiento de la norma y O cumple con el límite permisible, µg/m³ = microgramo por metro cubico.

Las concentraciones de PM_{2.5} alcanzaron niveles críticos cerca del horno (317 µg/m³ a 5 m), superando los límites de la NOM-025-SSA1-2014 (45 µg/m³) y la OMS (15 µg/m³). A partir de 30 metros se cumplió plenamente con la normativa mexicana (26 µg/m³), aunque aún se registraron valores ligeramente por encima del estándar OMS, La reducción del 98% a 120 metros confirma la efectividad de la dispersión atmosférica (SSA, 2021).

Tabla 5. Concentraciones de PM10 a diferentes distancias y alturas, comparadas con estándares internacionales.

Distancia (m)	PM10(µg /m³)	PM10(µg /m³)	(%)	Norma OMS	NOM-098
5	180.75	137.75	..	X	X
15	43.25	47.25	75	O	X
30	22.25	27	87	O	O
60	9.75	10.25	95	O	O
120	8.25	7.75	96	O	O

Donde, X representa incumplimiento de la norma y O cumple con el límite permisible. µg/m³ (microgramo por metro cubico)

Las concentraciones de PM₁₀ mostraron niveles elevados cerca de la fuente de emisión (180.75 µg/m³ a 5 m), superando 3.6 veces la NOM-025-SSA1-2014 y la OMS con acuerdo con García Pérez 2021 que reporta factores de 2.8-4.1 en hornos artesanales. partir de 15 m se cumplió con la norma mexicana (43.25 µg/m³ menor que 50 µg/m³), pero aún se excedió el estándar OMS hasta los 30 m. La reducción del 96% a 120 m (7.75 µg/m³) confirma una dispersión atmosférica efectiva.

Tabla 6. Captura de Material Particulado a 15 metros de distancia.

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Masa de PM Capturado (µg)
Filtro 1	0.91000	0.91023	250.00
Filtro 2	0.90900	0.90921	210.00
Filtro 3	0.90890	0.90923	330.00
Promedio	0.90930	0.90956	263.33

La masa de material particulado a los 60 metros rebasa en un 1 % los límites permisibles según

Tabla 7. Concentraciones de formaldehído (HCHO) y dióxido de carbono (CO₂) por distancia y altura.

Distancia (m)	HCHO (1.2 m) (ppm)	HCHO (3.0 m) (ppm)	CO ₂ (1.2 m) (ppm)	CO ₂ (3.0 m) (ppm)	HCHO	CO ₂
5	.34775	.37575	446.75	570	X	O
15	.3955	.37425	407	387	X	O
30	.097	.1485	400	407	X	O
60	.0335	.032	400	400	O	O
120	.02825	.02475	400	400	O	O

Donde, X representa incumplimiento de la norma y O cumple con el límite permisible. ppm(partes por millón)

El HCHO presentó niveles críticos (hasta 0.3955 ppm a 15 m) superando los .25ppm reportados por Phounglamcheik 2020 en pirolisis de acacias, con un comportamiento no lineal influenciado por patrones de viento cabe mencionar que esta emisión solo es en el encendido del horno y con equipo de protección mascarillas y lentes el personal está protegido.

Calidad de carbón vegetal

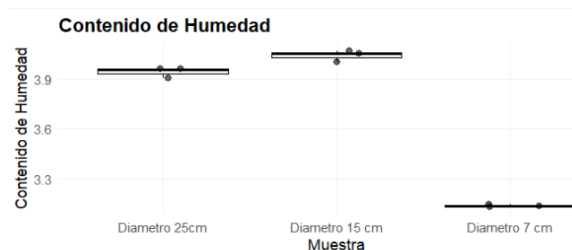
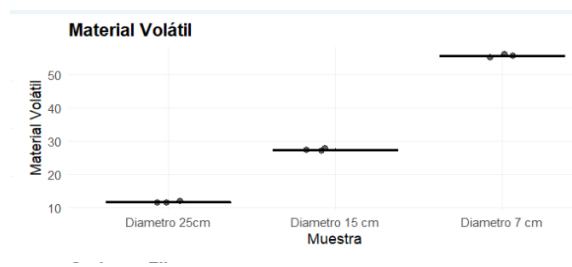
Para evaluar la homogeneidad y consistencia en la calidad del carbón vegetal, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) que permite determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras analizadas.

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado a carbón vegetal producido en una misma quema en hornos CEVAG demostró diferencias altamente significativas en los cinco parámetros de calidad analizados, con un 99% de confianza estadística. Estas variaciones observadas entre muestras de carbón derivadas de ramas de diferente diámetro (Diámetro:25cm, Diámetro:15cm y Diámetro:7cm) revelan el grosor de la materia prima es un factor crítico que afecta la calidad final del producto incluso bajo condiciones de proceso idénticas.

Los siguientes gráficos de caja (Figuras 2 a 6) presentan distribución de los cinco parámetros de

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-024-SSA1-1993. sin embargo, a los 120 mts no existe evidencia de material particulado que afecte a las poblaciones o establecimientos municipales, por otra parte, la operación de estos hornos es con estricta responsabilidad resguardando la seguridad del personal con mascarillas doble cartucho y lentes Uvex® Stealth®.

calidad evaluados, donde las diferencias en el contenido de humedad, materia volátil, cenizas, carbono fijo y poder calorífico reflejan el impacto del grosor de la materia prima en la calidad final del carbón.

**Figura 2. Distribución del contenido de humedad en carbón vegetal por diámetro de rama.****Figura 3. Contenido del carbón vegetal por clasificación de diámetro.**

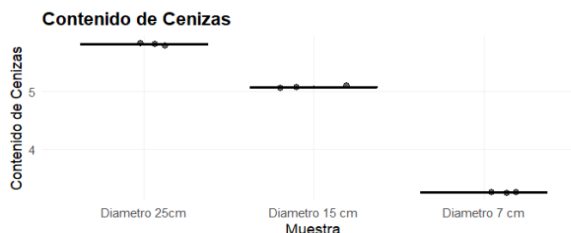


Figura 4. Variación del contenido de cenizas en carbón vegetal según diámetro de materia prima.

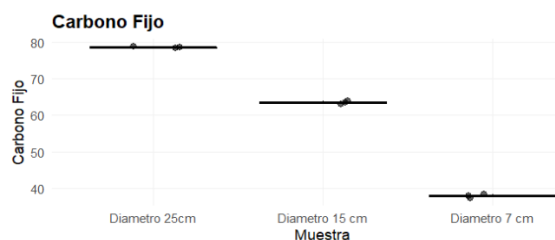


Figura 5. Distribución de carbono fijo en carbón vegetal según tamaño de rama

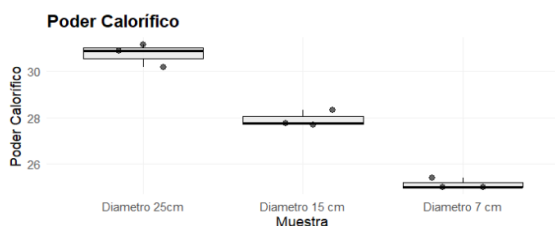


Figura 6. Poder calorífico del carbón vegetal en función del diámetro de rama.

Se realizó una regresión lineal con factor de correlación lineal con el objetivo de determinar la existencia de una relación significativa entre el contenido de Carbono fijo y Poder calorífico en las muestras de carbón vegetal (Figura 7).

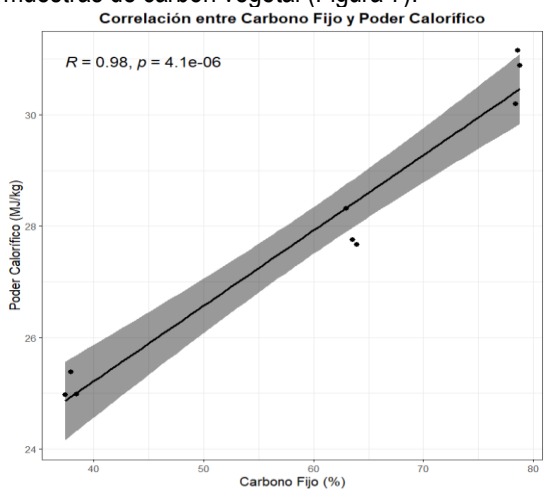


Figura 7. Correlación entre Carbono fijo y Poder calorífico en carbón vegetal.

Como se observa en la figura 7, existe una correlación positiva muy fuerte y estadísticamente significativa entre estas dos variables ($R=0.98$, $p < 0.001$). Esta relación confirma que en un mayor grado de carbonización se traduce directamente en un combustible de mayor calidad energética. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Phounglamcheik 2020, quien señala que el carbono fijo es uno de los componentes más deseable en carbón vegetal por su asociación directa con el poder calorífico.

Se realizó una regresión lineal con factor de correlación con el objetivo de determinar la existencia de una relación significativa entre el contenido de Contenido de Cenizas y Material Volátil (Figura 8).

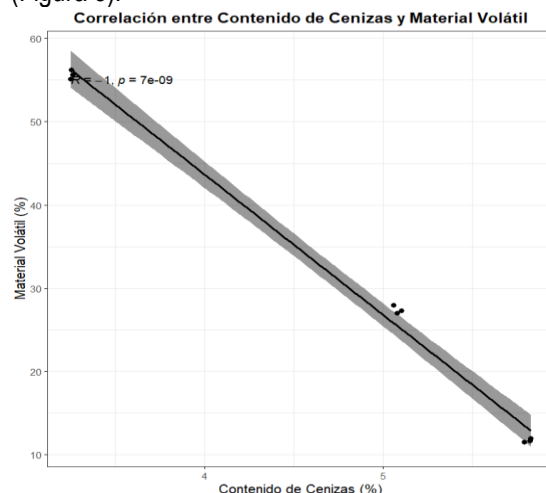


Figura 8. Correlación entre Contenido de Cenizas y Material Volátil en carbón vegetal.

La correlación negativa entre cenizas y material volátil afecta directamente la calidad del carbón vegetal, ya que cuando aumenta el contenido de cenizas el material volátil disminuye.

Se realizó una regresión lineal con factor de correlación entre el contenido de cenizas y poder calorífico con el fin de analizar la importancia del contenido de cenizas en la calidad del carbón (Figura 9).

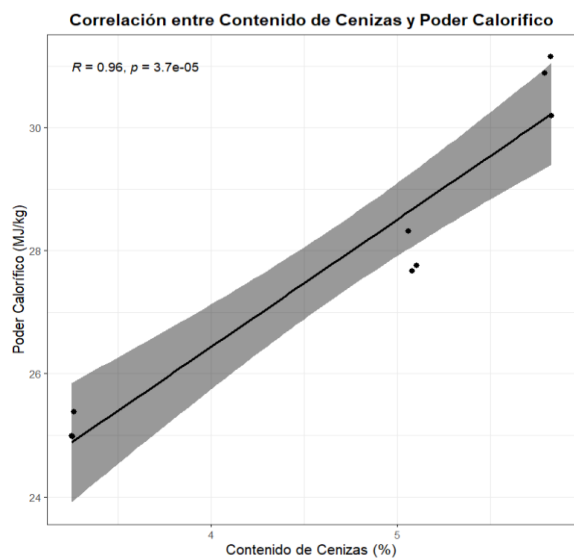


Figura 9. Correlación entre Contenido de cenizas y Poder calorífico en carbón vegetal.

Se muestra que se tiene una relación significativa ya que a medida que aumenta el porcentaje de cenizas, también aumenta su poder calorífico de manera proporcional.

CONCLUSIONES

El estudio permitió establecer que las emisiones de PM_1 , $PM_{2.5}$ y PM_{10} generadas durante la producción de carbón vegetal superaron los límites normativos cerca del horno metálico tipo CEVAG (5–30 m), pero se redujeron significativamente en un 89–98% a más de 60 m. El HCHO excedió los niveles seguros hasta 30 m, mientras que el CO_2 se mantuvo dentro de rangos aceptables en todos los rangos de medición. Las condiciones ambientales (viento bajo y humedad reducida) favorecieron la acumulación de contaminantes. Aunque el horno CEVAG permite una dispersión eficiente a distancias mayores, los operadores requieren EPP especializado por la exposición a partículas y gases tóxicos en distancias de 5-15 metros.

Por otra parte, el muestreo pasivo con filtros demostró ser un método efectivo, sencillo y de bajo costo para confirmar visual y cuantitativamente la deposición de material particulado en las inmediaciones de un horno de carbón. La ganancia de masa medida (promedio de 0.05 g por filtro) provee evidencia tangible de que las emisiones no solo se dispersan en el aire, sino que también se depositan en el suelo y las superficies.

En cuanto a la calidad del carbón vegetal, se reveló que se tiene diferencias significativas en las muestras a pesar de que son las mismas condiciones y su única variabilidad es el diámetro del carbón del cual se obtuvieron las muestras. Así mismo se observó una correlación negativa entre el contenido de cenizas y materia volátil, lo que afecta directamente las propiedades combustibles del producto final.

LITERATURA CITADA

- Avante Juárez, R. A., & Rojas Álvarez, V. A. (2024). SECRETARIA TRABAJO Y PREVISION SOCIAL DIRECCIÓN GENERAL DE SEGURIDAD Ilanueva Lagar y SALUD EN ELTRABAJO SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL. www.stps.gob.mx
- Calzada Roviroa, J. E., Narváez Narváez, J. A., Aguilar Castillo, R., & Velasco Monroy, H. E. (2015). AGENDA TÉCNICA AGRÍCOLA DURANGO. http://inifap-nortecentro.gob.mx/nodos/agendas_tecnologicas/Agenda_Tecnol%C3%B3gica_Durango_2015.pdf
- García Pérez, A. G., Monroy Ortiz, R., & Lara Manrique, J. C. (2021a). EFECTOS DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL SOBRE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL. Facultad de Ciencias Biológicas. www.uaem.mx/organizacion-institucional/unidades-academicas/facultades/ciencias-biologicas
- ITS. (2010). Evaluación de la Madera, la Biomasa y el Carbono de Bosques y las Tecnologías Potenciales de Producción de Energía a Partir de Biomasa en Durango, México (Instituto Tecnológico de El Salto, Ed.). ISOGIS Corp. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1107Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Madera,%20la%20biomasa%20y%20el%20carbono%20de%20bosques%20y%20las%20tecnolog%C3%ADas%20potenciales....pdf>
- McCarthy, J. E. (2013). CRS Report for Congress EPA Standards for Greenhouse Gas Emissions from Power Plants: Many Questions, Some Answers. www.crs.gov
- Phounglamcheik, A., Wang, L., Romar, H., Kienzl, N., Broström, M., Ramser, K., Skreiberg, Ø., & Umeki, K. (2020). Effects of Pyrolysis

- Conditions and Feedstocks on the Properties and Gasification Reactivity of Charcoal from Woodchips. *Energy & Fuels*, 34(7), 8353–8365.
<https://doi.org/10.1021/ACS.ENERGYFUELS.0C00592>
- Ruiz, F., Oscar, A., & Mijangos, F. (2023). El carbón vegetal: proceso de producción, calidad y rendimiento.
- SEMARNAT. (2013). SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES NORMA Oficial Mexicana NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013.
- SEMARNAT. (2014). NOM-085-SEMARNAT-2011. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6685/1/acuerdo_modificadorio_nom-085-semarnat-2011.pdf
- SRNMA. (2022). Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Durango, (Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango, Ed.). SRNMA. https://medioambiente.durango.gob.mx/wp-content/uploads/sites/36/2024/08/IEEGYCEI_Durango_2010-2022.pdf
- SSA. (2021). NOM-025-SSA1-2021 – Normalización. <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nom-025-ssa1-2021/>
- Wolf, F., & Vogel, E. (1986). Características del Carbón Vegetal en algunas Especies Madereras del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59). <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1215>.