

LOS INCENDIOS FORESTALES AFECTAN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**WILDFIRES AFFECT SOIL PHYSICAL PROPERTIES**

Betsy Carolina Muñoz de Páez¹
<https://orcid.org/0000-0003-0081-6141>
Génesis Aurora Palencia Arias²
Leonellys Maria Chirino Henríquez³
José Pastor Mogollón Sandoval⁴
<https://orcid.org/0000-0002-0553-4170>

Submetido: 02/05/2022 / Aprobado: 31/07/2023 / Publicado: 24/08/2023.

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto del fuego sobre las propiedades físicas de un suelo afectado por un incendio forestal en el cerro “Corumo”, Sierra de San Luís, Estado Falcón-Venezuela, siendo esta un área estratégica para la protección del ambiente y del Sistema Hidrológico “El Falconiano”. Fueron delimitadas tres áreas: a) Plantación Afectada por el incendio forestal (PA), b) Plantación no Afectada por el incendio forestal (PNA) y c) Bosque Natural (BN). En cada área se seleccionó una parcela de 0,1 hectáreas donde se realizó el muestreo de suelos de manera aleatoria, se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas para determinar textura, estabilidad de los agregados, densidad aparente (D_a) y humedad gravimétrica (H), también se evaluó la infiltración en campo. Los resultados indican que textura y humedad del suelo no fueron afectadas por el incendio forestal, pero la estabilidad de los agregados de suelo se redujo. La densidad aparente disminuyó y la velocidad de infiltración incrementó en el suelo afectado, indicando que estas propiedades fueron favorecidas por el fuego en suelos degradados por sobrepastoreo. El impacto del fuego sobre las propiedades físicas del suelo a corto plazo puede ir en dos direcciones, afectando negativamente algunas propiedades y mejorando otras.

Palabras clave: Cuenca de infiltración. Densidad aparente. Estabilidad de los agregados. Incendio forestal. Velocidad de infiltración.

Abstract

The objective was to evaluate the effect of the fire on the physical properties of a soil affected by a forest fire on the hill “Corumo”, Sierra de San Luís, Falcón State-Venezuela, which a strategic area for the protection of the environment and the hydrological system “El Falconiano.” Three areas were delimited: a) plantation affected by a forest fire (PA), b) plantation not affected by a forest fire (PNA) and c) Natural Forest (BN). In each area, a plot of 0.1 ha was selected and randomly

¹Doctoranda em Ciencia del Suelo. Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, Brasil; Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro – Estado Falcón Venezuela. E-mail: betsycmr@gmail.com.

²Licenciada en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro – Estado Falcón Venezuela. E-mail: genesispalencia.palencia0@gmail.com.

³Licenciada en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro – Estado Falcón Venezuela. E-mail: leonellysmaria@gmail.com

⁴MSc. Ciencias Ambientales. Fundación CIEPE, San Felipe-Yaracuy, Venezuela. E-mail: jmogollon15@gmail.com.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6365>

V. 20, N. 1 (2023)



sampled disturbed and undisturbed samples were taken to determine texture, aggregate stability, bulk density (Da), and moisture (H), and the infiltration in the field was evaluated. The results indicate that the texture and moisture of the soil were not affected by the wildfire, while there was a decrease in the stability of soil aggregates. The bulk density decreased, and the infiltration rate increased in the soil affected by the fire, which indicates that these properties were favored by the fire in soils degraded by overgrazing. The impact of fire on soil physical properties in the short term can go in two directions, negatively affecting some properties and improving others.

Keywords: Aggregate stability. Bulk density. Forest fire. Infiltration basin. Infiltration rate.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos constituyen un recurso indispensable para la vida, siendo primordiales para nuestra sobrevivencia (CRUZ *et al.*, 2004; GARCÍA; RAMÍREZ; SÁNCHEZ, 2012). Sin embargo, este recurso ha estado sujeto a fuertes presiones generadas por diversas actividades, entre las que destacan los incendios forestales. En este sentido, tenemos que durante el periodo de 2003 a 2012 un promedio de 341 millones de hectáreas, o el 2.6% de toda la superficie terrestre, se quemaron anualmente. En el mismo período, un promedio de aproximadamente 67 millones de hectáreas o el 1.7% de la tierra forestal se quemó cada año, siendo que alrededor del 20% de toda el área quemada anualmente estaba en bosques (LIEROP *et al.*, 2015).

Es importante destacar, que los incendios forestales producen importantes impactos ecológicos y ambientales incluyendo afectaciones al recurso suelo (FAO, 2007). No obstante, aunque el impacto del fuego provoca modificación de las propiedades edáficas, esto no siempre ocurre en la misma dirección, puesto que depende, entre otros factores, del tipo de suelo y las características del incendio (MATAIX-SOLERA *et al.*, 2011; DATTA, 2021). Por ejemplo, las características físicas del suelo que se ven afectadas por su calentamiento incluyen la textura, densidad aparente, humedad, estabilidad estructural e infiltración (NOVAIS *et al.*, 2017; MINERVINI; MORRÁS; TABOADA, 2018). Diversas pesquisas afirman que el fuego causa un efecto adverso en dichas propiedades del suelo, influenciando negativamente las propiedades hídricas disminuyendo la infiltración (ROSERO CUESTA; OSORIO GIRALDO, 2013; KRASNOSHCHIEKOV, 2018). Por el contrario, otros autores han referido incremento en la estabilidad estructural, así como disminución de la densidad aparente e incremento de la infiltración, como consecuencia del fuego (MATAIX-SOLERA *et al.*, 2011; MEDINA-GUILLÉN *et al.*, 2017).

Considerando lo anterior, es posible afirmar que los incendios forestales pueden o no favorecer las propiedades físicas del suelo, influyendo en su estabilidad estructural y permeabilidad, determinando así la consecuente incidencia de procesos erosivos que han sido destacados por diferentes autores (EBEL; ROMERO; MARTIN, 2018; FRANCOS *et al.*, 2018; GIRONA-GARCÍA *et al.*, 2018; KRASNOSHCHIEKOV, 2018). De allí la importancia de evaluar las afectaciones producidas al suelo por el fuego, para posteriormente establecer las medidas correctivas que sean necesarias.

Tal es el caso de la Sierra de San Luis, ubicada en el Estado Falcón (Venezuela), donde se desarrollan actividades que generalmente conllevan a un agotamiento acelerado de sus recursos naturales, incluyendo una actividad agrícola itinerante basada en la tala y la quema, el predominio de sistemas agrícolas de subsistencia, cultivos limpios en terrenos de alta pendiente, así como prácticas inadecuadas de pastoreo (RIVERO *et al.*, 2002).



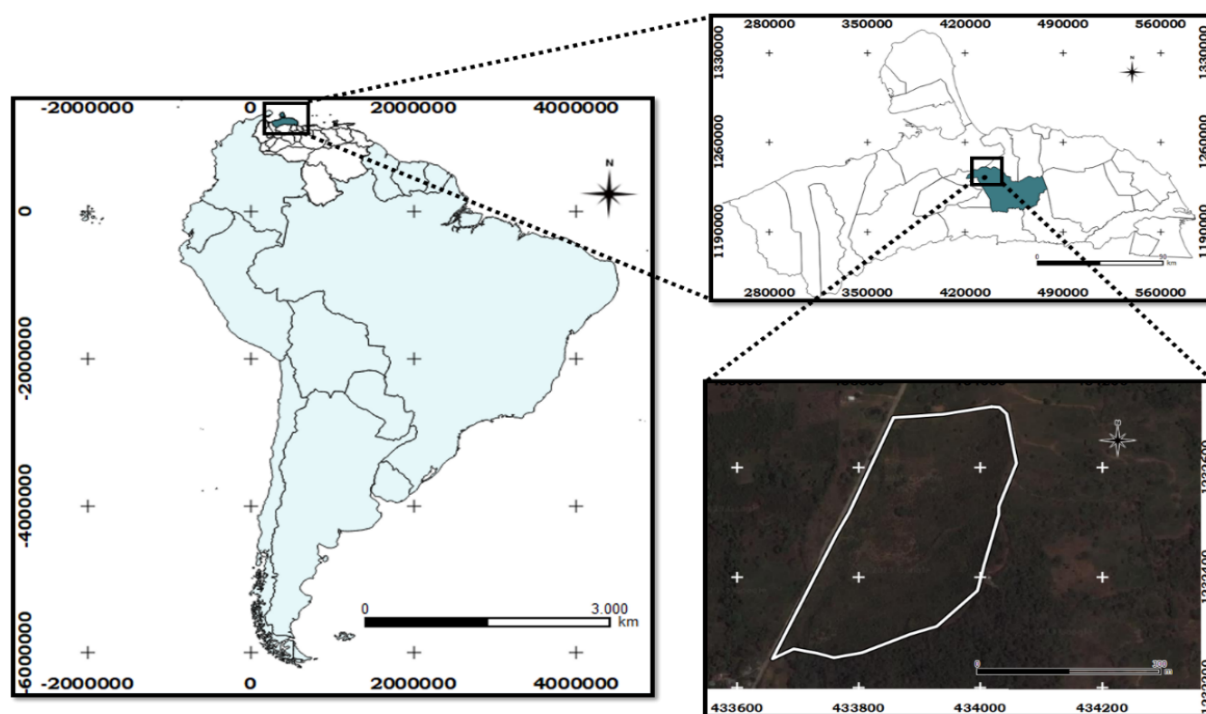
En esta serranía se ubica el Cerro Corumo, donde ocurrió un incendio forestal de considerables proporciones y cuyos efectos sobre los recursos naturales tienen interés científico, económico y social, ya que esta área forma parte de la subcuenca de infiltración occidental de la Hoya de Curimagua, que conforma el área de recarga de agua subterránea que abastece al 80 % de la población del estado Falcón (COTEF, 2015). En este caso, los suelos se enmarcan en un sistema montañoso, donde los incendios forestales tienen un agravante, y es que los productos de la erosión del suelo de las áreas quemadas se desplazan hasta los cuerpos de agua, causando su contaminación. En función de lo anterior, y dada la importancia de conocer el estado actual del recurso suelo que fue sometido a los efectos del fuego, como base para la formulación de medidas de recuperación orientadas a la protección de este importante acuífero, se propuso analizar las propiedades físicas del suelo afectadas por el incendio forestal. Nuestra hipótesis, es que el incendio forestal afectó negativamente las propiedades físicas del suelo.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Cerro “Corumo”, en la Serranía de San Luis, estado Falcón, Venezuela, entre las coordenadas N: 1231930 E: 432167 y N: 1231970 E: 432177 (Figura 1). La temperatura promedio de 21,2° C y las precipitaciones con una media anual de 750 mm (INE, 2010).

Figura 1. Ubicación del área de estudio y delimitación del perímetro exacto del Cerro Corumo, afectado por el incendio forestal.



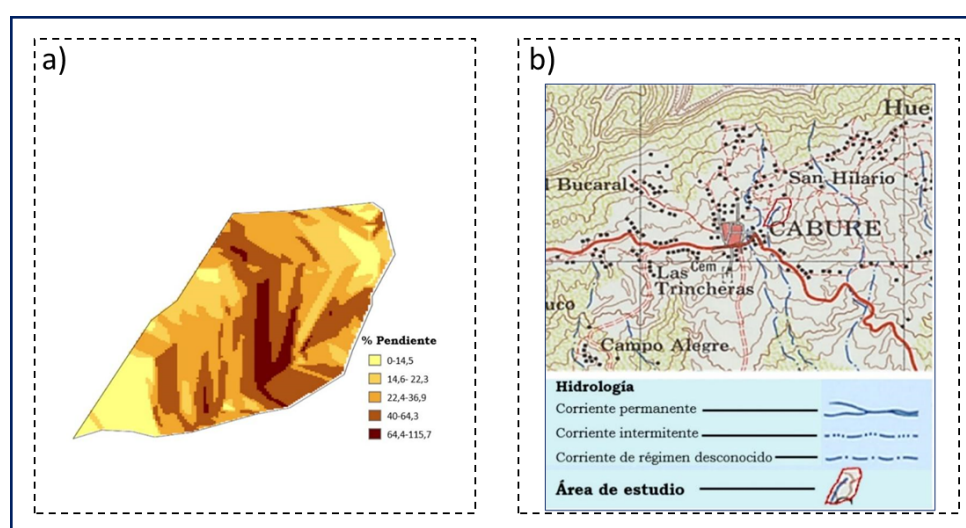
Para esta investigación se elaboró un mapa cartográfico con QGIS 2.18.11 mediante curvas de nivel (Figura 2a), para clasificar las pendientes del área, debido a la importancia de este atributo

para el drenaje de aguas superficiales. En la figura, los colores más oscuros representan los valores más altos de pendientes que alcanzan hasta 115,7%.

Los suelos del área de estudio fueron clasificados como Typic Distropepts (MOGOLLÓN; MARTÍNEZ, 2009), y al momento del incendio se encontraban bajo plantación forestal. Dicha plantación fue establecida tres años atrás con fines de recuperación, luego de los suelos ser sometidos a pastoreo bovino intensivo (CHIRINOS; PALENCIA, 2016).

El área de estudio se caracteriza por presentar una naciente hidrológica (Figura 2b) con un régimen intermitente, que es afluente de la quebrada San Pedro, y abastece a los embalses Barranca y Hueque III.

Figura 2. a) Mapa de pendientes del área bajo estudio (Elaboración propia). b) Ubicación relativa del afluente hidrológico que se encuentra dentro del área de estudio. Fuente: MARN (2004), modificado para esta investigación.



Fuente: a) Elaboración propia; b) Mapa Hidrogeológico del Estado Falcón (2004), modificado para esta investigación.

2.2 Muestreo de suelos

La plantación afectada abarca una superficie de diez hectáreas y media (10.5 Ha) con 11.110 plantas forestales y frutales. Para evaluar los cambios en las propiedades físicas del suelo producto del incendio forestal, se delimitaron tres (3) áreas: a) Plantación Afectada por el incendio forestal (PA), b) Plantación no Afectada por el incendio forestal (PNA) y c) Bosque Natural (BN).

Por otra parte, en el área de plantación fueron establecidas especies forestales y frutales. Entre las especies forestales establecidas se encontraban: Apamate (*Tabebuia rosea*), Ben (*Moringa oleífera*), Caña fistula (*Cassia fistula*), Caoba (*Swidenia macrophylla*), Caro (*Enterelobium cyclocarpum*), Ceiba (*Ceiba pentandra*), Cepillo de tetero (*Callistemon speciosus*), Flamboyán (*Delonix regia*), Jabillo (*Hura crepitans*), Leucaena (*Leucaena leucocephala*), Limón de cerca (*Swiglia glutinosa*), Samán de Guere (*Pitecellobium saman*) y entre las plantas frutales: Almendrón (*Terminalia catappa*), Fruta de pan (*Artocarpus altilis*), Guamo machete (*Inga spectabilis*), Guanábana (*Anona muricata*), Guayaba (*Psidium guajaba*), Mango (*Mangifera indica*), Naranja (*Citrus sinensis*), Noni (*Morinda citrifolia*) y Pomagás (*Syzygium laccense*) (MOGOLLÓN *et al.*, 2017)

Como paso previo a la evaluación de la afectación del fuego sobre el suelo, se evaluó la severidad de los daños a la vegetación, mediante estimación visual (NAVARRO CERRILLO *et al.*, 2015). Esta metodología clasifica los daños de la siguiente manera: nulo o leve, moderado y extremo.

De acuerdo con dicha evaluación, se determinó que aproximadamente un 89% de la plantación afectada sufrió daños moderados a extremos, estos últimos en lugares específicos, producto de un incendio de tipo superficial que se propagó hasta la copa de algunos árboles debido a la transmisión del fuego desde el estrato arbustivo, facilitada por las altas pendientes, sin ser generalizado debido a la insuficiente densidad del estrato arbóreo. Dicha información sirvió como indicador para la toma de decisiones metodológicas y la interpretación del efecto del fuego sobre las propiedades físicas de suelo evaluadas.

En cada área de estudio, se seleccionó una (1) parcela de 0.1ha, adaptando la metodología propuesta por Dezzeo *et al.* (2004). Dichas parcelas fueron delimitadas en cada área dentro del rango de pendiente de 40 a 64,3% y bajo daños moderados a la vegetación. El muestreo fue al azar estratificado y dentro de cada parcela se tomaron 7 muestras disturbadas hasta 20 cm de profundidad para la determinación del tamaño de partículas (BOUYOUCOS, 1962) y estabilidad de los agregados (FLORENTINO, 2007), y el mismo número de muestras no disturbadas con muestreador tipo Uhland, para la determinación de densidad aparente y humedad gravimétrica por el Manual de Métodos de Análisis de Solos de la EMBRAPA (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Adicionalmente, se evaluó la infiltración en campo (USDA, 2001).

2.3 Análisis de datos

Para el análisis de los datos, se utilizó un diseño cuasi experimental, con los tipos de áreas como la variable de clasificación. Los datos estadísticos se analizaron con SIGMAPLOT V14.0. Los datos tuvieron un comportamiento paramétrico, y por consiguiente se realizaron análisis de la varianza. Para aquellas variables que presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizaron pruebas de medias de Tukey con el mismo software para separar los tratamientos en función de la magnitud de los valores obtenidos.

3. RESULTADOS

3.1 Distribución del Tamaño de Partículas

No se observaron diferencias significativas en los porcentajes de arcilla, limo y arena en los suelos estudiados (Tabla 1), es decir, el fuego no produjo alteración en los valores de estas partículas, preservando valores bien cercanos para las tres fracciones en los suelos estudiados.

Tabla 1. Distribución del tamaño de partículas y textura de los suelos.

Área	A L a			Textura
	----- g kg ⁻¹ -----			
PA	690a	210a	100a	Arcilloso
PNA	630a	290a	80a	Arcilloso
BN	640a	240a	120a	Arcilloso

A (arcilla), L (limo), a (arena). Letras iguales indican que las medias no difirieron significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.2 Humedad



De acuerdo con el análisis estadístico aplicado para las tres condiciones evaluadas no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de humedad de los suelos, siendo que esta propiedad mostró muy poca variabilidad, como mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje de humedad

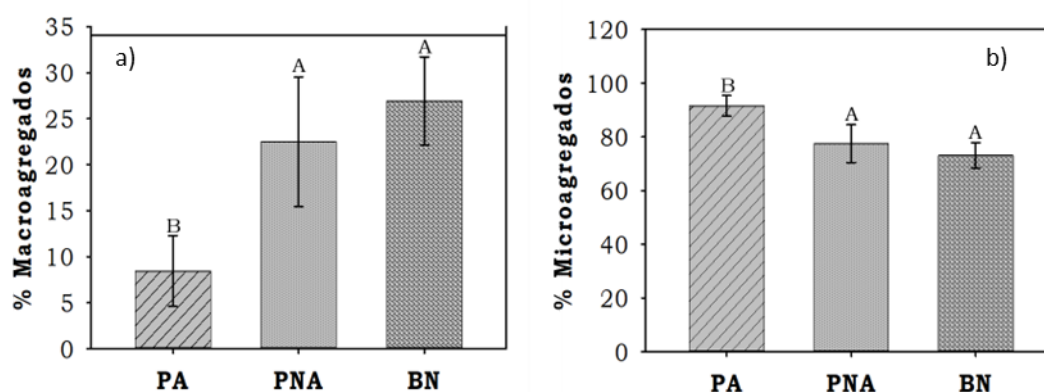
Área	% Humedad
PA	24,4a
PNA	23,3a
BN	21,1a

Letras iguales indican que las medias no difirieron significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.3 Estabilidad de los Agregados

De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 3) se puede afirmar que el incendio influyo en esta propiedad, ya que en el suelo correspondiente a PA hubo diferencias significativas en el porcentaje de macro y microagregados con respecto a los otros suelos estudiados. En el suelo afectado, los macroagregados (agregados de tamaño > 0.25 mm) disminuyeron significativamente, aumentando de este modo la agregacion menos estable del suelo (agregados de tamaño < 0.25 mm).

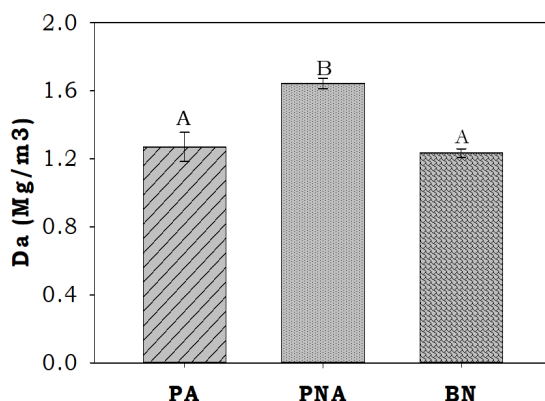
Figura 3. a) % Macroagregados e b) % Microagregados de los suelos estudiados. Letras diferentes indican que las medias difirieron significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).



3.4 Densidad Aparente

Los suelos correspondientes a PNA presentaron una D_a aparente significativamente mayor ($p < 0.05$) a los de PA y BN, con valores de D_a 29.37% más altos con respecto a PA y 33.25% más altos respecto a BN (Figura 4).

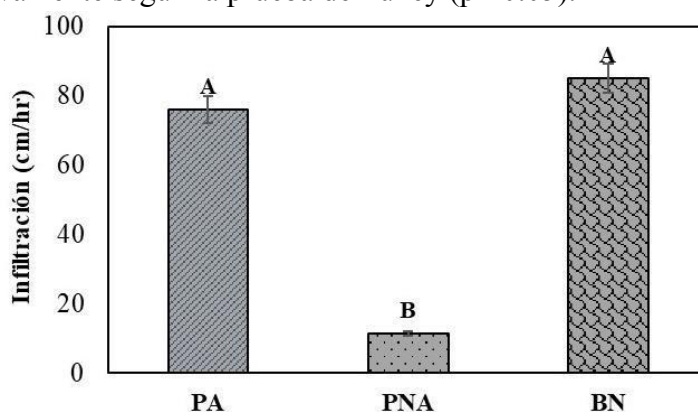
Figura 4. Densidad aparente (D_a) obtenida en los suelos estudiados. Letras diferentes indican que las medias difirieron significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).



3.5 Infiltración

La velocidad infiltración de los suelos resultó muy rápida en PA y BN, con valores promedios de 76.1 cm/hr y 85.1 cm/hr, respectivamente, a moderadamente rápida en PA valores promedios de 11,4 cm/hr según la clasificación empleada (USDA, 2001). Presentando esta última, diferencias significativas ($p < 0.05$), con respecto a las otras dos (Figura 5).

Figura 5. Infiltración (cm/hr) de los suelos estudiados. Letras diferentes indican que las medias difirieron significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).



4. DISCUSIÓN

4.1 Distribución del Tamaño de Partículas

El fuego no produjo alteración en los valores de las partículas minerales de arena, limo y arcilla en los suelos, lo cual puede ser explicado porque para su alteración son requeridas temperaturas muy altas, difíciles de alcanzar en el suelo con incendios superficiales de moderada intensidad (DIMOV *et al.*, 2018; DATTA, 2021). Estos resultados coinciden con los de Magomani e Van Tol (2019), quienes concluyeron en su investigación que la distribución de tamaño partículas es una propiedad constante e inherente de los suelos y generalmente no se ve afectada por la quema, debido a que las temperaturas rara vez son lo suficientemente altas para alterar las arcillas, en este sentido, de darse esa alteración, es poco probable que ocurra más allá de un par de centímetros por debajo de la superficie del suelo mineral (DEBANO; NEARY; FFOLIOTT, 2008).

4.2 Humedad

Al ocurrir un incendio forestal se espera que la humedad del suelo sea afectada, debido a la alta evaporación que puede producirse en la superficie del suelo producto del incremento de las temperaturas, así como por la pérdida de materia orgánica superficial por carbonización. Sin embargo, en esta investigación no hubo diferencias entre el área afectada y no afectada, lo cual puede ser debido a dos causas principales. La primera, al hecho de que, como ya fue discutido, la textura de los suelos no sufrió ninguna variación, por otra parte, tenemos que de acuerdo con Mogollón *et al.* (2017), no existen diferencias significativas en el contenido de materia orgánica entre los suelos bajo PA y PNA, aunque si entre estos y BN, lo cual es esperado por estar estos últimos bajo bosque natural.

Entonces, si consideramos que las principales fuentes de variación en el contenido de agua del suelo son la arcilla y la materia orgánica, que no sufrieron alteraciones producto del fuego al considerar PA y PNA, es esperado que tampoco sean encontradas diferencias para el contenido de agua en estos suelos. Al igual que en esta investigación, otros autores no encontraron diferencias significativas en el contenido de agua de suelos sometidos al fuego (THOMAZ; ANTONELI; DOERR, 2014).

4.3 Estabilidad de los Agregados

Los suelos bajo PA, mostraron el efecto del fuego sobre la degradación de su estructura, pues los macroagregados disminuyeron producto de su fraccionamiento en agregados de menor tamaño. Es importante destacar, que de acuerdo con Arcenegui *et al.* (2008) y Campo *et al.* (2008), estos agregados menores a 2,5mm tienden a erosionarse más rápido, lo que implica una mayor vulnerabilidad al impacto de las gotas de lluvia, favoreciendo el arrastre de sedimentos, con la consecuente pérdida de suelos, y su deposición en cuerpos de agua propiciando su sedimentación.

La disminución de la agregación generalmente se atribuye a la degradación de la materia orgánica como resultado de la combustión, (NEAR; RYAN; DEBANO, 2008; ROSERO CUESTA; OSORIO GIRALDO, 2013; MAGOMANI; VAN TOL, 2019). Sin embargo, los suelos estudiados no se ajustan a esa teoría, pues como mencionado, Mogollón *et al.* (2017) no encontraron diferencias significativas para los valores de materia orgánica entre PA y PNA. Lo que permite inferir que las temperaturas en la superficie del suelo no fueron suficientes para volatilizar la materia orgánica y, por tanto, los cambios en la estabilidad de los agregados en el suelo son atribuibles a otras causas. Estos hallazgos coinciden con los de Chief, Young y Shafer (2012) quienes, en sus investigaciones sobre los efectos del fuego en algunas propiedades físicas, encontraron disminución en la estabilidad estructural, no atribuible a disminución significativa en los contenidos de materia orgánica.

Por lo anterior, la degradación estructural del suelo sometido al fuego en nuestra investigación puede ser atribuida al estrés ejercido por la expansión del aire atrapado o la rápida vaporización del agua de los poros, siendo resultado de los esfuerzos mecánicos producidos por el escape rápido del vapor de los poros del suelo a una velocidad de calentamiento rápida, coincidiendo con los hallazgos de Albalasmeh *et al.* (2013). Este efecto es similar al ocurrido cuando los agregados secos se humedecen rápidamente, provocando su destrucción.

4.4 Densidad Aparente

Los mayores valores de D_a en la plantación no afectada, implican un menor espacio vacío para el adecuado movimiento del agua y el aire y, por consiguiente, propiedades físicas más



desfavorables en estos suelos, a pesar de no haber sido afectados por el incendio. Estos valores pueden atribuirse al efecto del manejo pecuario prolongado, bajo el que se encontraban los suelos antes de su reforestación. Al respecto, diversos autores refieren incrementos en la densidad aparente de los suelos, debido al pisoteo animal de ganado bovino, producto del pastoreo (HARGREAVES *et al.*, 2019; BENEVENUTE *et al.*, 2020; KOPPE *et al.*, 2021). Para el caso de los suelos afectados por el fuego, los cuales fueron sometidos al mismo manejo pecuario, durante el mismo periodo de tiempo que los de la plantación no afectada, es posible afirmar, que los menores valores de D_a son debido a la acción del fuego, coincidiendo con investigaciones que encontraron disminución de la D_a asociada a la disminución de la estabilidad estructural (BRYE, 2006; CHIEF; YOUNG; SHAFER, 2012). Esta asociación ocurre, porque el rompimiento de los agregados genera macroporos en el suelo, esto ha sido validado en diversas investigaciones que además afirman que esta es una situación temporal (BERTOL *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2008; GIRONA-GARCÍA *et al.*, 2018). Bajo estas consideraciones, podemos afirmar que fueron los cambios en la agregación del suelo, los que desempeñaron un papel más importante en la modificación de sus propiedades físicas posterior al incendio.

4.5 Infiltración

Los resultados de infiltración, que evidencian diferencias significativas para PNA, están influenciados por los valores de D_a que resultaron mayores para estos suelos producto del pastoreo al que fueron sometidos durante largos periodos de tiempo. Para en caso de PA, tenemos que la mayor infiltración está asociada principalmente a los menores valores de D_a , ya discutidos, los cuales implican un mayor espacio vacío en el suelo que favorece la entrada de agua desde la superficie. Estos resultados coinciden con los de Medina-Guillén *et al.* (2017), quien encontró en su investigación disminución de la D_a , asociada a una mayor infiltración en suelos afectados por el fuego. Por otra parte, las cenizas presentes en la superficie de los suelos afectados para el momento de la prueba de infiltración influenciaron también en los valores obtenidos, permitiendo que fueran similares a los del bosque natural, aun cuando los contenidos de MO son mucho menores. Al respecto, diversos autores plantean que las respuestas de las propiedades hidrológicas del suelo al fuego son contradictorias y poco estudiadas, pudiendo ser incrementadas o disminuidas en función del efecto variable que pueden tener las cenizas, siendo que esta variabilidad aún no está bien definida (STOOF; WESSELING; RITSEMA, 2010; BODÍ *et al.*, 2012).

En función de lo anterior, tenemos que otros autores han demostrado que las cenizas favorecen la infiltración en suelos de texturas finas, como en el de esta investigación, influyendo significativamente en la infiltración de agua en el suelo, después de un incendio forestal (STOOF; WESSELING; RITSEMA, 2010; WOODS; BALFOUR, 2010).

El incremento de la infiltración de agua es un efecto muy deseable en suelos de ladera, más aún en las condiciones bajo estudio, pues una mayor infiltración de agua supone un menor escurrimiento superficial y en consecuencia menor arrastre de sedimentos, lo que favorece la conservación de los cuerpos de agua. Lo anterior implica que, si bien la pérdida de agregados estables supone un incremento en los riesgos de erosión, el incremento de la infiltración que implica una disminución en el escurrimiento superficial, y una consecuente disminución en el arrastre de sedimentos, contrarresta el efecto anterior, lo cual es muy importante en suelos de alta pendiente que forman parte de una cuenca de infiltración.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6365>

V. 20, N. 1 (2023)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

- La estabilidad de los agregados de suelo disminuyó debido a la expansión del aire atrapado en los poros a causa del rápido calentamiento del suelo, que produjo la destrucción de los macroagregados en microagregados menos estables.

- La disminución en el tamaño de agregados causada por el fuego implica mayor riesgo de erosión y deposición de las partículas de suelo en los cuerpos de agua.

- En contraposición la ruptura de los macroagregados produjo una disminución en la densidad aparente del suelo que favoreció, junto a las cenizas, la infiltración de agua en el suelo previamente degradado por el sobrepastoreo agropecuario. Demostrando que, en los suelos bajo estudio, no todas las propiedades físicas evaluadas fueron afectadas negativamente.

- La distribución del tamaño de partículas y el porcentaje de humedad no fueron afectadas por el fuego, demostrando que no todas las propiedades físicas son susceptibles de modificación por causa del fuego.

6. REFERENCIAS

ALBALASMEH, A. A.; BERLI, M.; SHAFER, D. S.; GHEZZEHEI, T. A. Degradation of moist soil aggregates by rapid temperature rise under low intensity fire. **Plant Soil**, v. 362, n. 1–2, p. 335–344, 2013. DOI: 10.1007/s11104-012-1408-z.

ARCENEGUI, V.; MATAIX-SOLERA, J.; GUERRERO, C.; ZORNOZA, R.; MATAIX-BENEYTO, J.; GARCÍA-ORENES, F. Immediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. **Catena**, v. 74, n. 3, p. 219–226, 2008. DOI: 10.1016/j.catena.2007.12.008.

BENEVENUTE, P. A. N.; DE MORAIS, E. G.; SOUZA, A. A.; VASQUES, I. C. F.; CARDOSO, D. P.; SALES, F. R.; SEVERIANO, E. C.; HOMEM, B. G. C.; CASAGRANDE, D. R.; SILVA, B. M. Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. **Ecol Indic**, v 117, 106647, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106647.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Rev Bras Cienc Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000100015

BODÍ, M. B.; DOERR, S. H.; CERDÀ, A.; MATAIX-SOLERA, J. Hydrological effects of a layer of vegetation ash on underlying wettable and water repellent soil. **Geoderma**, v. 191, p. 14-23, 2012. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.01.006

BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. **Agron J.**, v. 54, n. 5, p. 464–465, 1962. DOI 10.2134/agronj1962.00021962005400050028x.

BRYE, K. R. Soil physiochemical changes following 12 years of annual burning in a humid–subtropical tallgrass prairie: a hypothesis. **Acta Oecol**, v. 2006, n. 30, p. 407 – 413, 2006. DOI: 10.1016/j.actao.2006.06.001

CAMPO, J.; GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; GONZÁLEZ-PELAYO, O.; RUBIO, J. L. Aggregation of under canopy and bare soils in a Mediterranean environment affected by different fire intensities. **Catena**, v. 74, n. 3, p. 212–218, 2008. DOI: 10.1016/j.catena.2008.05.002.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6365>

V. 20, N. 1 (2023)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

CHIEF, K.; YOUNG, M. H.; SHAFER, D. S. Changes in Soil Structure and Hydraulic Properties in a Wooded-Shrubland Ecosystem following a Prescribed Fire. **Soil Sci Soc Am J**, v. 76, n. 6, p. 1965, 2012. DOI: 10.2136/sssaj2011.0072.

CHIRINOS, L.; PALENCIA, G. **Plan de recuperación del suelo afectado por un incendio forestal en el Cerro Corumo, sector Palma Sola, municipio Petit estado Falcón**. 2016. TEG, Programa de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Santa Ana de Coro, 2016.

COTEF, Comisión Estatal para la Ordenación del Territorio del Estado Falcón. **Plan de Ordenación del Territorio Estado Falcón. Amplia Puerta de Oportunidades.**, n. Tomo 1: Visión Diagnóstica. Santa Ana de Coro, Venezuela. 2015. Disponible en: https://issuu.com/productorabacoa/docs/plan_falcon_030215._tomo_i.

CRUZ, A. B.; BARRA, J. E.; CASTILLO, R. F. del; GUTIÉRREZ, C. La calidad del suelo y sus indicadores. **Ecosistemas**, v. 13, n. 2, p. 90–97, 2004. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>.

DATTA, R. To extinguish or not to extinguish: The role of forest fire in nature and soil resilience. **J. King Saud Univ. Sci.**, v. 33, 2021. DOI 10.1016/j.jksus.2021.101539.

DEBANO, L. F.; NEARY, D. G.; FFOLLIOTT, P. F. Soil Physical Properties. *In*: NEARY, D. G.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. (eds.). **Wildland Fire in Ecosystems Effects of Fire on Soil and Water**. 1 edition. Fort Collins, Colorado: United States Department of Agriculture Forest Service Rocky Mountain Research Station, 2008. p. 29–52. DOI 10.1111/j.1467-7717.2009.01106.x.

DEZZEO, N.; CHACÓN, N.; SANOJA, E.; PICÓN, G. Changes in soil properties and vegetation characteristics along a forest-savanna gradient in southern Venezuela. **For. Ecol. Manag.**, v. 4, n. 2004, p. 183-193, 2004. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.06.016.

DIMOV, A. A.; ABAKUMOV, E. V; BEZKOROVAYNAYA, I. N.; PROKUSHKIN, A. S.; KUZYAKOV, Y. V; MILANOVSKY, E. Y. Impact of forest fire on soil properties (review). **Theor. Appl. Ecol.**, v. 4, p. 13–23, 2018. DOI 10.25750/1995-4301-2018-4-013-023

EBEL, B. A.; ROMERO, O. C.; MARTIN, D. A. Thresholds and relations for soil-hydraulic and soil-physical properties as a function of burn severity 4 years after the 2011 Las Conchas Fire, New Mexico, USA. **Hydrol. Process.**, v. 32, n. 14, p. 2263–2278, 2018. DOI: 10.1002/hyp.13167.

FAO. **Fire management - global assessment 2006**, n. 151. Roma, Italia 2007. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a0969e/a0969e00.htm>.

FLORENTINO, A. **Método para evaluar la estabilidad de los agregados de suelo por tamizado en húmedo (Equipo Eijkelkamp) - Modificado**. MARACAY, VENEZUELA, 2007.

FRANCOS, M.; PEREIRA, P.; ALCAÑIZ, M.; ÚBEDA, X. Post-wildfire management effects on short-term evolution of soil properties (Catalonia, Spain, SW-Europe). **Sci. Total Environ.**, v. 633, p. 285–292, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.195.



GARCÍA, Y.; RAMÍREZ, W.; SÁNCHEZ, S. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. **Past. y forr**, v. 35, n. 2, p. 125–138, 2012. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es

GIRONA-GARCÍA, A.; ZUFIAURRE GALARZA, R.; MORA, J. L.; ARMAS-HERRERA, C. M.; MARTÍ, C.; ORTIZ-PERPIÑÁ, O.; BADÍA-VILLAS, D. Effects of prescribed burning for pasture reclamation on soil chemical properties in subalpine shrublands of the Central Pyrenees (NE-Spain). **Sci. Total Environ.**, v. 644, p. 583–593, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.363.

HARGREAVES, P. R.; BAKER, K. L.; GRACESON, A.; BONNETT, S.; BALL, B. C.; CLOY, J. M. Soil compaction effects on grassland silage yields and soil structure under different levels of compaction over three years. **Eur. J. Agron**, v. 109, 125916, 2019. DOI: 10.1016/j.eja.2019.125916.

INE, Instituto Nacional de Estadística. **El Estado Falcón**. 2010. Disponible en: <http://www.ine.gob.ve/documentos/see/sintesisestadistica2010/estados/falcon/documentos/situacionfisica.htm>.

KOPPE, E.; RUPOLLO, C. Z.; DE QUEIROZ, R.; PUSCHMANN, D. U.; PETH, S.; REINERT, D. Physical recovery of an oxisol subjected to four intensities of dairy cattle grazing. **Soil tillage res.**, v. 206, n. 104813, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2020.104813.

KRASNOSHCHIEKOV, Y. N. Soils of Mountainous Forests and Their Transformation under the Impact of Fires in Baikal Region. **Eurasian Soil Sci.**, v. 51, n. 4, p. 387–401, 2018. DOI:10.1134/S1064229318040099.

LIEROP, P.; LINDQUIST, E.; SATHYAPALA, S.; FRANCESCHINI, G. Global Forest area disturbance from fire, insect pests, diseases, and severe weather events. **For. Ecol. Manag.**, v. 352, p. 78–88, 2015. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.06.010

MAGOMANI, M. I.; VAN TOL, J. J. The impact of fire frequency on selected soil physical properties in a semi-arid savannah Thornveld. **Acta Agr Scan B-S P**, v. 69, n. 1, p. 43–51, 2019. DOI:10.1080/09064710.2018.1495253.

MARN, Ministerio de Ambiente Y Recursos Naturales. **Mapa Hidrogeológico del Estado Falcón**. Caracas, Venezuela, 2004.

MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A.; ARCENEGUI, V.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M. Fire effects on soil aggregation: A review. **Earth Sci Rev** v. 109, n. 1–2, p. 44–60, 2011. DOI 10.1016/j.earscirev.2011.08.002.

MEDINA-GUILLÉN, R.; CANTÚ-SILVA, I.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; PANDO-MORENO, M.; KUBOTA, T.; GÓMEZ-MEZA, M. V. Efectos del rodillo aireador y el fuego en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo en matorrales de coahuila, México. **Agrociencia**, v. 51, p. 471–485, 2017. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n5/1405-3195-agro-51-05-00471.pdf>.



MINERVINI, M. G.; MORRÁS, H. J. M.; TABOADA, M. Á. Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. **Ecol. Austral**, v. 28, n. 1, 2018. DOI: 10.25260/ea.18.28.1.0.127

MOGOLLÓN, J. P.; CHIRINO, L.; PALENCIA, G.; MUÑOZ, B.; COLINA, F. Efecto del fuego sobre las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la Sierra de San Luis, estado Falcón, Venezuela. **Multiciencias**, v. 17, n. 1, p. 9–18, 2017. Disponible en: <http://produccioncientificaluz.org/index.php/multiciencias/article/view/23598/23904>.

MOGOLLÓN, J. P.; MARTÍNEZ, A. Variación de la actividad biológica del suelo en un transecto altitudinal de sierra de San Luis, estado Falcón. **Agron Trop**, v. 59, n. 4, p. 469–479, 2009.

NAVARRO CERRILLO, R. M.; OLAVE ORTIZ, F.; HAYAS, A.; CASTILLO, M. Metodología para la elaboración de un plan de restauración postincendio en Chile: La experiencia del Parque Nacional de Torres del Paine. **An. Inst. Patagon.**, v. 43, n. 1, p. 53–73, 2015. DOI:10.4067/s0718-686x2015000100005.

NEARY, D. G.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on Soil and Water**. First Edition Fort Collins: United States Department of Agriculture Forest Service Rocky Mountain Research Station, 2008. v. 2. p. 257.

NOVAIS, D. B.; MEIRA, J.; SILVA, D.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; DANILO, J.; CAMAÑO, Z. Impactos del uso de los incendios en propiedades químicas y físicas de los suelos semiáridos Paraíba. **ACSA**, v. 13, n. 3, p. 187–194, 2017. Disponible en: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/index>

RIVERO, J. C.; MIRANDA, W. C.; OWEN DE CONTRERAS, M. E.; MOLINA, Y. Diseño de un programa de desarrollo rural sustentable: caso Caritupe, Municipio Petit, estado Falcón-Venezuela. **Rev. Geogr. Venez.**, v. 43, n. 1, p. 97–112, 2002.

ROSETO CUESTA, J.; OSORIO GIRALDO, I. Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. **Cuad. Activa**, n. 5, p. 59–67, 2013. Disponible en: <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/130>.

STOOF, C. R.; WESSELING, J. G.; RITSEMA, C. J. Effects of fire and ash on soil water retention. **Geoderma**, v. 159, n. 3-4, p. 276-285, 2010. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.08.002

SILVA, R. F.; BORGES, C. D.; GARIB, D. M.; MERCANTE, F. M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes Manejos. **Rev Bras Cienc Solo**, vol. 32, n. 6, p. 2435-2441, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000600021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análises de solo**. 3a edição. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017. Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>.



THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V.; DOERR, S. H. Effects of fire on the physicochemical properties of soil in a slash-and-burn agriculture. *Catena*, v. 122, p. 209–215, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.016>.

USDA. **Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo.** Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Instituto de Calidad de Suelos, 1999. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE.../stelprdb1044786.pdf>

WOODS, S. W; BALFOUR, V. N. The effects of soil texture and ash thickness on the post-fire hydrological response from ash-covered soils. *J. Hydrol*, v. 393, 274, 286, 2010. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.08.025

