



Universidad Nacional
Abierta y a Distancia



Revista de Investigación Formativa
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Volumen 4 – Número 2 - 2021

e-ISSN: 2665 - 3176



Revista Agricolae & Habitat

Volumen 4 – Número 2 - 2021 – e-ISSN: 2665 – 3176

CUERPO DIRECTIVO

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR
Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA
Vicerrector Académica y de Investigación

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ
Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

LEONARDO YUNDA PERLAZA
Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

JULIA ALBA ANGEL OSORIO
Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Comunitaria

LEONARDO EVEMELETH SANCHEZ TORRES
Vicerrector de Relaciones Internacionales

JORDANO SALAMANCA BASTIDAS
Decano Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

JUAN SEBASTIÁN CHIRIVÍ SALOMÓN
Líder Nacional de Investigación

YOLVI PRADA
Líder Nacional de Investigación Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

EDITORES

GERARDO OJEDA
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

MARGARITA BONILLA
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

EDITORES DE SECCION

Cadena Agrícola

SANDRA PATRICIA MONTENEGRO

CRISTINA MENDOZA FORERO

JORGE ARMANDO FONSECA

Cadena Agroforestal

GRACIELA GARZÓN MARÍN

SHIRLEY ANDREA RODRÍGUEZ ESPINOSA

Cadena Ambiental

DENISSE VIVIANA CORTES CASTILLO

SONIA ESPERANZA RUIZ BALAGUERA

Cadena Pecuaria

JULIÁN CASTILLO VARGAS

EDWIN PÁEZ BARÓN

VIVIANA VILLAMIL REYES

HELENA ESPITIA MANRIQUE

Revista Agricolae & Habitat

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Calle 14 Sur N. 14-23 Bogotá, Colombia

Teléfonos: (571) 344 3700 ext. 1529

e-mail:

revista.agricolae@unad.edu.co

Los artículos pueden consultarse en su versión electrónica en:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/issue/ar-chive>

DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducido en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines

Este documento contiene la política de Privacidad y Condiciones de Uso del Portal Institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, institución de educación superior colombiana creada por el Congreso de la República mediante Ley 52 de 1981, con el fin de proteger los derechos de los usuarios del portal web institucional, haciendo parte de los documentos Manual de imagen digital de la UNAD y Guía para la publicación de información en el portal institucional y en la intranet, documentos soporte de nuestro sistema de Gestión de Calidad.

La política de privada de la UNAD, detalla la forma como salvaguardamos y utilizamos la información que obtenemos a través de los servicios, trámites e información disponible en nuestro portal web institucional. En este sentido, es importante que antes de iniciar la exploración del portal, el usuario lea previa y cuidadosamente esta política de privacidad y condiciones de uso sobre qué información guardamos y cómo la utilizamos.

La información del portal institucional, contenidos y servicios divulgados son de conocimiento público, por tanto, la aceptación de esta política de privacidad, es condición necesaria para que el usuario navegue nuestro portal.

Para más información, por favor consulte aquí:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/about>

ÍNDICE

Presentación

5

Área Agrícola

1. USO DEL ANÁLISIS MULTIVARIADO FACTORIAL MIXTO PARA CARACTERIZAR VARIABLES CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS EN SISTEMAS AGROPECUARIOS COLOMBIANOS

USING MULTIVARIATE MIXED FACTOR ANALYSIS TO CHARACTERIZE CLIMATIC AND EDAPHIC VARIABLES IN COLOMBIAN AGRICULTURAL SYSTEMS

Julián Andrés Castillo Vargas, Wilmer Alfonso Cuervo Vivas

6

Área Ambiental

2. DIAGNÓSTICO SOCIO AMBIENTAL DE LA "FINCA LA VIEJA", (MUNICIPIO DE CIMITARRA-SANTANDER) COMO ESTRATEGIA PARA DETERMINAR SU POTENCIAL AMBIENTAL EN LA RECUPERACIÓN DEL ECOSISTEMA

SOCIO-ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF THE "FINCA LA VIEJA", (MUNICIPALITY OF CIMITARRA-SANTANDER) AS A STRATEGY TO DETERMINE ITS ENVIRONMENTAL POTENTIAL IN THE RECOVERY OF THE ECOSYSTEM

Yenni Alejandra Varón Román, Alba Lucia Quitian Rojas

21

3. ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE INCENDIOS DEL NORTE Y CENTRO DE SURAMÉRICA: 2009-2019

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF NORTHERN AND CENTRAL FIRES FROM SOUTH AMERICA: 2009-2019

Brigette López Guevara

33

PRESENTACIÓN

Estimados lectores

Presentamos aquí cinco artículos, fruto de la colaboración entre docentes, estudiantes y exalumnos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Se trata de un artículo de la cadena Agrícola y dos artículos de la cadena Ambiental, en representación de la Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA. En medio de estos momentos difíciles que todos atravesamos, todos estos artículos representan un esfuerzo Unadista enorme, con la firme convicción de seguir adelante con la labor investigativa, a espera de tiempos mejores.

Saludos cordiales

Gerardo Ojeda
Margarita Bonilla

USO DEL ANÁLISIS MULTIVARIADO FACTORIAL MIXTO PARA CARACTERIZAR VARIABLES CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS EN SISTEMAS AGROPECUARIOS COLOMBIANOS

USING MULTIVARIATE MIXED FACTOR ANALYSIS TO CHARACTERIZE CLIMATIC AND EDAPHIC VARIABLES IN COLOMBIAN AGRICULTURAL SYSTEMS

Julián Andrés Castillo Vargas
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5163-5127>
Email: andres.castillo@unad.edu.co

Wilmer Alfonso Cuervo Vivas
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3240-0338>
Email: wilmer.cuervo@unad.edu.co

Citación: Castillo, J., y Cuervo, W. (2021). Uso del análisis multivariado factorial mixto para caracterizar variables climáticas y edáficas en sistemas agropecuarios Colombianos. *Agricolae & Habitat*, 4(2), 06 - 19. DOI: <https://doi.org/10.22490/26653176.4584>

RESUMEN

Contextualización: La productividad de los sistemas agropecuarios se define como la combinación de las variables climáticas y edáficas que los caracteriza. Por tanto, el entendimiento de la interrelación de tales variables debe ser estudiado bajo un abordaje multivariado.

Vacío del conocimiento: Hasta ahora, no han sido desarrollados estudios que determinen la estructura multivariada de variables asociadas a climatología y edafología de los sistemas agropecuarios en Colombia.

Propósito: determinar la estructura multivariada de variables climáticas y edáficas en los sistemas agropecuarios colombianos usando la técnica de análisis multivariado factorial mixto (AMFM).

Metodología: Se construyó una base de datos con 167 registros de variables climáticas (altitud, temperatura y humedad relativa) y edáficas (textura del suelo, pH, actividad enzimática de la ureasa y actividad enzimática de la catalasa) de predios destinados a la producción agrícola o pecuaria primaria en 21 departamentos y 120 municipios de Colombia. La estructura de las

variables anteriormente mencionadas fue analizada usando un AMFM utilizando el software Statistica, versión 7.0, siendo estas clasificadas en factores latentes. Una variable era asociada a un factor latente, cuando el valor absoluto de su correlación con el factor era mayor que 0.5.

Resultados y conclusiones: Usando el AMFM, se extrajeron cuatro factores latentes para las siete variables estudiadas, los cuales representaron un 75% de la varianza total. El primer factor se asoció positivamente con la altitud (0,950) y negativamente con la temperatura (-0,957), siendo denominado como "Climático". El segundo factor se correlacionó negativamente con la humedad relativa (-0,790) y la actividad ureasa (-0,706). Adicionalmente, este tuvo una asociación negativa secundaria con el pH (-0,343), siendo denominado como "Ureasa-agua-pH". El tercer factor fue denominado como "Fisicoquímica-suelo" y se correlacionó positiva y fuertemente con la textura del suelo (0,917). Variables como la humedad relativa (-0,281), pH (0,306) y actividad ureasa (0,211), también tuvieron una contribución secundaria a este factor. El cuarto factor se correlacionó positivamente con el pH (0,544) y la actividad catalasa (0,887), siendo denominado como "Catalasa-pH". Del presente estudio se puede concluir que el AMFM reveló la estructura multivariada de variables climáticas y edáficas asociadas a los sistemas de producción agropecuaria colombiana.

Palabras clave: actividad catalasa, actividad ureasa, análisis factorial mixto, pH, suelo, temperatura

ABSTRACT

Contextualization: The productivity of agricultural systems is defined as the combination of climatic and edaphic variables that characterize them. Therefore, the understanding of the interrelation of such variables must be studied under a multivariate approach.

Knowledge gap: Until now, no studies have been developed determining the multivariate structure of variables associated with the climatology and edaphology of agricultural systems in Colombia.

Purpose: To determine the multivariate structure of climatic and edaphic variables in Colombian agricultural systems using the multivariate mixed factor analysis technique (AMFM).

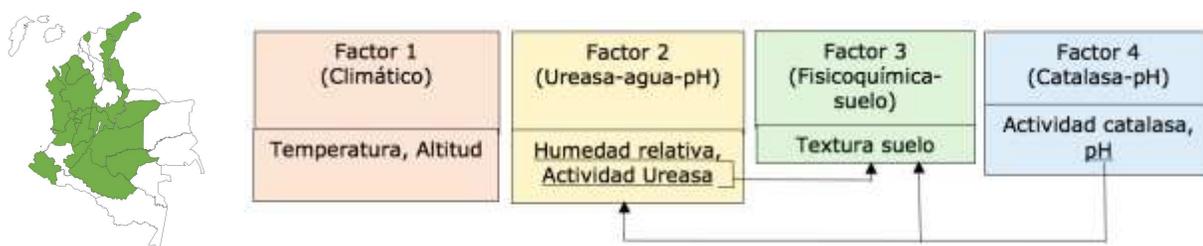
Methodology: A database with 167 records of climatic (altitude, temperature, and relative humidity) and soil (soil texture, pH, enzymatic activity of urease and enzymatic activity of catalase) variables of farms destined to primary agricultural or livestock production in 21 departments and 120 municipalities in Colombia was constructed. The structure of the aforementioned variables was analyzed using an AMFM by the software Statistica, version 7.0, and the variables were classified into latent factors. A variable was associated with a latent factor, when the absolute value of its correlation with the factor was greater than 0.5.

Results and conclusions: Using the AMFM, it was possible to extract four latent factors for the seven studied variables, which represented 75% of the total variance. The first factor was positively and negatively associated with altitude (0.950) and temperature (-0.957), respectively, being named as "Climate". The second factor was negatively correlated with relative humidity (-0.790) and urease activity (-0.706). Also, this had a negative secondary association with pH (-0.343), being termed as "Urease-water-pH". The third factor was denominated as "Physicochemical-soil" and it was positively correlated with the texture of the soil (0.917). In addition, variables such as relative humidity (-0.281), pH (0.306), and urease activity (0.211) also had a secondary contribution to this factor. The fourth factor was positively correlated with pH (0.544) and catalase activity (0.887), being named as "Catalase-pH". From the present study, it can

be concluded that the AMFM revealed the multivariate structure of climatic and edaphic variables associated to Colombian agricultural production systems.

Keywords: catalase activity, factor mixed analysis, pH, soil, temperature, urease activity

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores

1. INTRODUCCIÓN

La productividad animal y vegetal de los sistemas agropecuarios puede ser representada como el resultado de la combinación de las variables climáticas y edáficas que los caracteriza (Agnusdei, 2013). Paralelamente se sabe, que las condiciones climáticas y edáficas están interrelacionadas, afectando esta interrelación la producción de recursos vegetales en los sistemas de producción agropecuarios (Mogollón et al., 2016). Esto inherentemente lleva a pensar, que un abordaje simultáneo de las respuestas o tendencias de variables climáticas y edáficas podría proporcionar una visión más realista y práctica para la modelación y entendimiento de las respuestas de sistemas de producción animal y vegetal.

Diversos estudios han evaluado el efecto de factores físicos, químicos y bioquímicos del suelo, así como de las condiciones climáticas sobre la productividad de los sistemas agropecuarios (Vallejo-Quintero, 2013; Mogollón et al., 2016). Sin embargo, hasta

ahora, no han sido desarrollados estudios que determinen la estructura multivariada de variables asociadas a climatología y edafología de los sistemas agropecuarios en Colombia. Para este fin, el uso de técnicas de estadística multivariada podría ser lo más adecuado, ya que esta rama de la estadística se encarga del análisis simultáneo de variables en sistemas (Johnson y Wichern, 2014). Entre la gama de técnicas asociadas a la estadística multivariada, el análisis factorial es el más adecuado para entender la estructura de variables asociadas (Hair, 2014).

El análisis multivariado factorial mixto (AMFM) es una técnica de la estadística multivariada que es usada para descifrar la estructura múltiple variables cuantitativas y categóricas que componen los sistemas y permite determinar la covarianza máxima entre las variables originales (Snedecor y Cochran, 1989). Esta técnica divide la varianza total de un sistema multivariado en dos componentes: la varianza que comparten todas las variables (es decir, la comunalidad) y la varianza particular de cada variable (es

decir, la singularidad; Johnson y Wichern, 2014). De esta forma, el objetivo de esta investigación fue determinar la estructura multivariada de variables climáticas y edáficas en sistemas agropecuarios colombianos, usando la técnica de AMFM.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Conformación de la base de datos

Se construyó una base de datos que contiene un total de 167 registros provenientes de la recolección de variables climáticas (altitud, temperatura y humedad relativa) y edáficas (textura del suelo, pH, actividad enzimática de la ureasa y actividad enzimática de la catalasa) entre 2017 y 2018 de predios destinados a la producción agrícola o pecuaria primaria a lo largo de 21 departamentos (Antioquia, Atlántico, Boyacá,

Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, Guajira, Guaviare, Huila, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle) y 120 municipios de Colombia (n = 167; Tabla 1; Figura 1). La recolección de las variables climáticas fue realizada a partir de informaciones publicadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2021) y la recolección de las variables edáficas, fue hecha por estudiantes de los programas de Zootecnia y Agronomía (Curso: Bioquímica metabólica), de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia en su localidad, bajo supervisión y protocolos estandarizados, los cuales se detallan en esta sección. Cada registro fue revisado en términos de trazabilidad y calidad por parte de los autores, antes de ser incluido en la base de datos de estudio.

Tabla 1. Distribución de frecuencias de las variables cualitativas y estadística descriptiva de variables cuantitativas usadas en el análisis.

Variables cualitativas	No. municipios
Textura del suelo	
Arcilloso	16
Arenoso	15
Franco arcilloso	62
Franco arenoso	55
Limoso	19
pH	
[1,0 - 5,9]	55
(5,9 - 10,9]	110
(10,9 - 14)	2
Actividad Ureasa	
Baja	72
Media	65
Alta	30
Actividad Catalasa	
Baja	57
Media	68
Alta	42

Variabes cuantitativas	Media	S	Mínimo	Máximo
Altitud (msnm)	1273,7	872,3	4,0	3125,0
Temperatura (°C)	22,6	5,4	7,0	34,0
Humedad relativa (%)	70,6	14,3	9,0	94,0

Fuente: autores



Figura 1. Distribución geográfica de los departamentos de Colombia incluidos en el estudio. **Fuente:** autores

Las variables denominadas como cuantitativas continuas fueron: altitud (msnm), temperatura (°C) y humedad relativa (%) y las cualitativas o categóricas fueron: textura del suelo (arcilloso; arenoso; franco arenoso; limoso), pH (bajo: [1,0 - 5,9]; medio: (5,9 - 10,9]; alto: (10,9 - 14)), actividad enzimática de la ureasa en el suelo

(baja; media; alta) y actividad enzimática de la catalasa en el suelo (baja; media; alta).

Determinación de variables

Geo-referenciación del predio. Por medio de la aplicación Google Maps® de la plataforma Google®, se identificó la ubicación de la vereda y el municipio del predio a

caracterizar. En la totalidad de los datos seleccionados, se realizó un doble chequeo con la información oficial del sitio web de la alcaldía de cada municipio.

Variables climáticas

Para la estimación y toma de los datos, se recurrió a la información climatológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2021), siguiendo la ruta de la opción Meteorología - Climatología - Archivo de Climatología, la cual contiene el reporte de temperatura máxima, mínima y promedio, como también de humedad y precipitación a escala mensual y a nivel municipal.

Así mismo, la información colectada se cotejó con la información disponible en sitios web especializados en el reporte en tiempo real del promedio de temperatura y otras variables climatológicas como precipitación y humedad relativa, usando AccuWeather (AccuWeather, 2021; Inc, Pensilvania, EU) y Climate Services Partnership (CSP, 2021; Columbia, SC, EU).

Variables edáficas

Determinación del pH. Se tomaron 100 g de suelo y se mezclaron con 500 mL de agua potable. Dicha mezcla se agitó durante 20 minutos de manera continua y posteriormente se dejó en reposo por una hora en decantación. A partir del sobrenadante resultante, se realizó la estimación del pH utilizando cintillas comerciales de pH o por medio de potenciómetro (de acuerdo con la disponibilidad en la zona donde se realizó la determinación).

Caracterización de la textura - Método indirecto por integridad de agregados. Teniendo como base la metodología sugerida

por el servicio de extensionistas de estados Unidos, para evaluación de la textura y de la actividad biológica de suelos (USDA, 1999), se realizó la evaluación de la textura del suelo, mediante el siguiente procedimiento: se tamizaron 6 muestras de suelo de 100 g cada una, las cuales fueron humedecidas superficialmente y de manera gradual, para ser mezcladas y formar agregados cilíndricos que fueron secados al sol durante 1 hora. Posteriormente, los agregados fueron sumergidos en recipientes con agua y se observó durante 5 min su desagregación, luego de lo cual, los agregados fueron retirados con una cuchara plástica.

Se asignaron valores altos para suelos arenosos (más de la mitad de la integridad estructural del suelo se perdía al cabo de 5 segundos de inserción en agua). Valores medios para suelos limosos (en las muestras en las que aproximadamente la mitad de la integridad estructural del suelo se perdía al cabo de 5-30 segundos de inmersión) y valores altos para suelos arcillosos (en las muestras en las que la mitad o menos de la integridad estructural se perdía al cabo 30 - 300 segundos de inmersión).

Caracterización de la textura - Método indirecto por decantación. Se tomaron 120 g de suelo que fueron homogenizados manualmente; posteriormente, fueron tamizados y solubilizados con agua potable, hasta lograr un volumen de 250 mL en una botella de vidrio, en la que se realizó la lectura a simple vista de los decantados. La botella tapada incluyendo la mezcla, fue agitada manualmente 10 veces durante 2 minutos cada vez, luego de lo cual se dejó reposar durante 24 horas, para posteriormente observar las diferentes fracciones decantadas en la solución del suelo. Se midió la altura (cm) de la solución

en la botella de vidrio con una regla y al mismo tiempo se marcaron las fases en las cuales se separaron los decantados del suelo. Esta proporción indicó de arriba hacia abajo en la botella, la cantidad aproximada de arcillas, limos y en el fondo arena arcillas. Las proporciones con respecto a la totalidad de la solución en la botella, se utilizaron para estimar la textura de la muestra de suelo.

Estimación de la actividad ureasa. La actividad de la enzima ureasa en suelo, se determinó de forma cualitativa, usando la metodología propuesta por Arreaza et al. (2002): se realizó una mezcla de partes iguales de frijol canavalia (*Canavalia ensiformis*) molido y disuelto en agua (extracto de ureasa) con urea comercial. Como control positivo se tomó una muestra de frijol molido a la que se le agregó en igual medida urea comercial. Luego, como muestra experimental se tomó una muestra de 100 g de suelo a la que se le agregó igual cantidad de urea, mezcla que se disolvió en una proporción de 1 a 5 con agua. El desprendimiento de amonio detectado de forma sensorial (olor intenso, medio y leve), sirvió como indicador cualitativo de la presencia y grado (alto, medio o bajo, respectivamente) de actividad ureasa.

Estimación de la actividad catalasa. Se realizó la determinación cualitativa de actividad catalasa, utilizando la metodología propuesta por Gaete et al. (2010), con modificaciones: Teniendo en cuenta la elevada actividad de la enzima catalasa en los peroxisomas de los hepatocitos, se utilizó hígado de pollo macerado como control positivo de la actividad catalasa. Para esto, 20 g de hígado de pollo fueron macerados y mezclados con 25 mL de peróxido de hidrogeno (H₂O₂) comercial. De esta mezcla, se registró la cantidad de espuma desprendida. De igual

manera, a 25 g de suelo, se le adicionaron 25 mL de H₂O₂ y se registró la altura de la espuma producida, categorizándola como alta (más de 10 mm), media (5 – 9 mm) o baja (menos de 5 mm).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis multivariado factorial mixto (AMFM) utilizando el software Statistica, versión 7.0 (Stat Soft Inc, Tulsa, OK, EE. UU.), para explorar la estructura multivariada de las variables climáticas y edáficas en los sistemas de producción agropecuarios colombianos (Johnson and Wichern, 2014). El objetivo principal de AMFM es explicar la (co) varianza de un sistema definido por n variables medidas (Y₁, ..., Y_n) al generar un número menor p (p < n) de variables no observables latentes (X₁, ..., X_p), denominadas como factores latentes comunes. El AMFM acepta que la varianza de cada variable original puede descomponerse en sus componentes comunes (es decir, comunalidad) y únicos (es decir, unicidad). El modelo factorial descompone la matriz de covarianza de las variables medidas (Q) de la siguiente manera:

$$Q = AA' + \Phi \text{ (ecuación 1)}$$

donde AA' y Φ son las matrices de (co) varianza de comunalidad y unicidad, respectivamente (Snedecor and Cochran, 1989; Hair, 2014).

Como se indica en el modelo de (co)varianza, las variables medidas se pueden representar como una combinación de p factores comunes (X) no observables más una variable única (e):

$$y_1 = a_{11}X_1 + \dots + a_{1p}X_p + e_1 \text{ (Ecuación 2)}$$

$$y_n = a_{n1}X_1 + \dots + a_{np}X_p + e_n \text{ (Ecuación 3),}$$

donde: a son las cargas que cuantifican la correlación entre el factor p latente y la variable medida. Las cargas son los elementos de la matriz A (ecuación 1) del modelo de variación teórica.

La factibilidad de aplicación de la técnica de AMFM en el banco de datos usado, se evaluó a partir del logaritmo en base 10 del determinante de la matriz de correlaciones y como criterio de elección del número de factores, se usó la recomendación propuesta por Kaiser (1958), la cual sugiere que factores con valor propio mayores o iguales a 1, deben ser conservados en el análisis factorial. El número de factores a extraer se basó también en su legibilidad en términos de la relación con las variables originales y la cantidad de varianza explicada.

La legibilidad de cada factor se mejoró a través de una rotación Varimax Normalizada. Para extraer los factores latentes, se consideró que una variable estaba asociada con un factor latente específico, si el valor absoluto de su correlación con el factor específico era mayor o igual a 0.5 (Hair, 2014).

Adicionalmente, se realizó una regresión lineal entre la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la altitud (msnm) de todas las ubicaciones geográficas evaluadas usando el método de los mínimos cuadrados, mediante el software Microsoft Excel $\text{\textcircled{R}}$. Se exploró tanto la normalidad de los residuales como la presencia de valores extremos (outliers) mediante un histograma de residuos construido en el programa mencionado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS

Los municipios evaluados en el análisis presentaron principalmente suelos franco arcilloso y franco arenoso, con un pH mayoritariamente entre 5,9 y 10,9, y con actividades ureasa y catalasa principalmente baja y media (Tabla 1). La mayor variabilidad entre municipios se registró en la altitud ($\text{CV} = 68,5\%$) y la menor en la humedad relativa ($\text{CV} = 20,2\%$).

El análisis multivariado factorial fue capaz de extraer cuatro factores latentes de las siete variables analizadas (Tabla 2), representando el 75,2% de la varianza total. El primer factor latente representó el 27,5% de la varianza total, y se asoció de forma positiva con la altitud y negativa con la temperatura. Por lo tanto, se le denominó como "Climático" (Tabla 2). El segundo factor latente explicó el 19,1% de la varianza total y principalmente se correlacionó de forma negativa con la humedad relativa y la actividad ureasa. Sin embargo, este factor tuvo una asociación secundaria con el pH. Por tanto, se denominó como "Ureasa-agua-pH" (Tabla 2). El tercer factor latente se denominó como "Fisicoquímica-suelo". Éste representó el 14,7% de la varianza total y se correlacionó fuertemente y de forma positiva con la textura del suelo. Sin embargo, variables como la humedad relativa, pH y actividad ureasa, tuvieron una contribución secundaria a este factor (Tabla 2). Finalmente, el cuarto factor explicó el 13,9% de la varianza total y se correlacionó positivamente con el pH y la actividad catalasa, siendo denominado como "Catalasa-pH" (Tabla 2).

Tabla 2. Patrón de factores rotados (F) y estadísticos del análisis multivariado factorial mixto.

Variable	F1 Climático	F2 Ureasa- agua-pH	F3 Fisicoquímica- suelo	F4 Catalasa- pH
Altitud	0,950	0,042	0,115	0,028
Temperatura	-0,957	-0,020	0,005	-0,076
Humedad relativa	-0,039	-0,790	<u>-0,281</u>	0,054
Textura del suelo	0,084	0,016	0,917	0,012
pH	0,016	<u>-0,343</u>	<u>0,306</u>	0,544
Actividad ureasa	-0,023	-0,706	<u>0,211</u>	-0,008
Actividad catalasa	0,080	0,103	-0,113	0,887
Valor propio	1.93	1.33	1.03	1.00
Varianza total (%)	27.5	19.1	14.7	13.9
Varianza acumulada (%)	27.5	46.6	61.4	75.2

Números en negrita corresponden a las principales correlaciones entre la variable y un factor latente específico. Números subrayados, indican una correlación secundaria, sin embargo, significativa de una variable con un factor latente específico. **Fuente:** autores

3.2 DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue determinar la estructura multivariada de variables climáticas y edáficas en sistemas agropecuarios colombianos, mediante la técnica de AMFM. Los resultados muestran que variables como temperatura, altitud, humedad relativa, textura del suelo, pH, actividad ureasa y actividad catalasa, se pueden categorizar en cuatro factores con significado edafo-climático.

Los presentes resultados indican, que, en la región geográfica evaluada (Figura 1), predominan suelos franco arcillosos y francos arenosos, con un pH entre 5,9 y 10,9, y que además presentan principalmente, actividades catalasa y ureasa bajas y medias. Esta caracterización inicial se constituye como una fuente de información importante para el productor de dicha región, debido a que existe una estrecha relación entre las características del suelo y las actividades agrícolas (Estupiñán-Gómez et al., 2009; Villaseñor et

al., 2015), como también, por su relación con las prácticas ganaderas (Vallejo-Quintero, 2013); esto último, porque las características del suelo, en asocio con las condiciones climáticas, definen el tipo de praderas a ser cultivadas y, por ende, definen en parte, la producción animal.

El AMFM fue capaz de extraer cuatro factores con significado edafo-climático. El patrón de los factores (correlaciones entre cada factor y las variables originales) fue fácil de leer e interpretar. En particular, se observó después de examinar los patrones, que cada variable tenía una única y fuerte correlación superior a 0.5, con un único factor. Este tipo de estructura es un indicador de la viabilidad del AMFM para analizar la base de datos usada en este estudio (Johnson y Wichern, 2014).

Debido a que el análisis multivariado factorial es de carácter mixto, esto es, involucra variables cualitativas y cuantitativas, no fue posible calcular el índice Kaiser-Meyer-Olkin. Sin embargo, el valor bajo del logaritmo en

base 10 del determinante de la matriz de correlaciones (-0.60) para el presente análisis, indica que existen variables con inter-correlación altas y, en consecuencia, es factible la realización del análisis factorial.

Se observó que el primer factor latente, denominado como "Climático", está fuertemente asociado con las variables temperatura y altitud. Esto se puede deber, al alto y significativo coeficiente de correlación (R) que existe entre estas dos variables (Figura 2). El entendimiento desde un punto de vista cuantitativo de la asociación entre temperatura del ambiente y altitud, puede ser

útil para el productor, debido a que estos son dos parámetros que influyen significativamente la fisiología de plantas y animales y, por ende, de los sistemas agropecuarios, como lo muestra el trabajo de Pineda-Santos y Suarez-Hernández, (2014), los cuales sugieren que tanto la temperatura del ambiente como la altitud, son dos variables fundamentales para la zonificación agroecológica de cultivos y el de Lozano (2017), quien demostró que las dos variables en mención tienen un impacto significativo en el desempeño biológico de plantas, en la zona alto-andina de Perú.

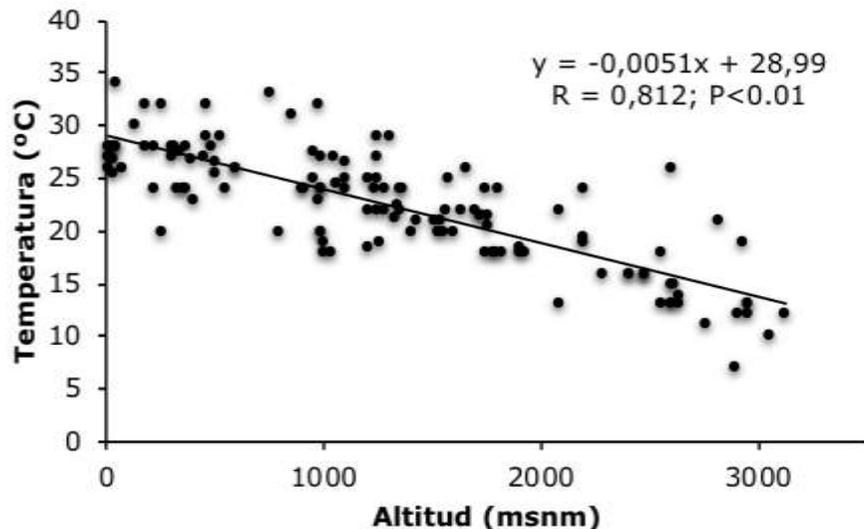


Figura 2. Regresión lineal entre la altitud y temperatura de las propiedades rurales analizadas. **Fuente:** autores

De manera semejante, temperatura del ambiente y altitud, pueden afectar la producción de forraje, influyendo indirectamente la producción animal. Escobar (2018) demostró que la altitud influencia notoriamente la producción de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst ex Chiov) en la Sabana de Bogotá. Complementariamente, Wilson-García et al. (2017), revelaron que la temperatura del

ambiente afectó significativamente el crecimiento de tres líneas de cebada, para la producción de forraje, en el valle de México - Texcoco. Por tanto, el AMFM determinó adecuadamente y con significado biológicamente coherente, la relación multivariada y cuantitativa existente entre temperatura del ambiente y altitud en los sistemas de producción agropecuarios colombianos.

El segundo factor latente, denominado como Ureasa-agua-pH se asoció fuertemente con la humedad relativa y la actividad ureasa, y tuvo también una asociación intermedia con el pH del suelo. El entendimiento de la dinámica de los sistemas enzimáticos que componen el suelo es fundamental para establecer estrategias viables para su manejo. Algunos de estos sistemas, cumplen papeles

importantes en procesos tales como la mineralización, movilización de nutrientes y fijación biológica de nitrógeno entre otros (Henríquez et al., 2014). Este es el caso de la fijación de nitrógeno, donde la enzima ureasa cataliza la conversión de urea a amonio y dióxido de carbono o bicarbonato. Su proceso catabólico se describe en la Figura 3 (Rodríguez-Jiménez et al., 2016).

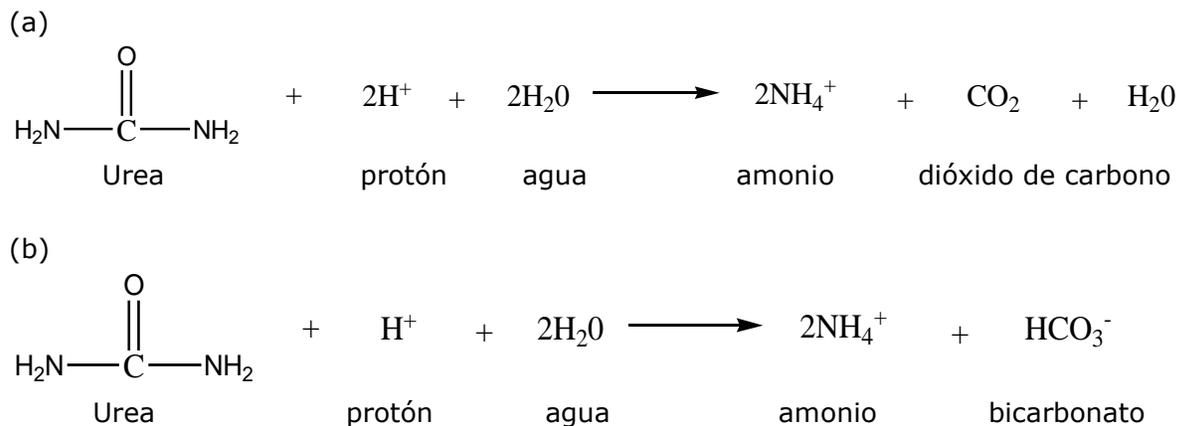


Figura 3. Proceso catalítico de la ureasa en suelo, cuando el pH es: (a) menor a 6,3; (b) mayor o igual a 6,3. **Fuente:** autores

De la figura 3, se puede observar que la cinética de la ureasa es afectada significativamente por el pH y el contenido de humedad del suelo, donde este último parámetro, es influenciado por la humedad relativa de ambiente (Ontiveros et al., 2016). La asociación entre estas variables es coherente con la estructura encontrada para el segundo factor, el cual está formado por las variables de humedad relativa y actividad ureasa, con una influencia del pH. Así las cosas, con este estudio, se demuestra que existe una fuerte asociación cuantitativa entre estas variables, en un sistema agropecuario. Esta información puede ser

importante para el entendimiento del efecto de las condiciones climáticas en la fertilidad de suelos, considerando el papel fundamental de la ureasa en esta característica (Cerón y Melgarejo, 2005; Mogollón et al., 2016).

El tercer factor latente, denominado como "Fisicoquímica-suelo" está principalmente asociado a la variable textura del suelo. Sin embargo, también presentó una asociación parcial y significativa con las variables de humedad relativa, actividad ureasa y pH. Esta estructura de variables para este factor se encuentra claramente de acuerdo con la literatura, ya que según Cerón y Melgarejo,

(2005), tanto la textura del suelo como su actividad ureasa y pH, son parámetros de calidad e indican el "status" biológico del suelo, y según, García et al. (2016), el contenido de humedad del suelo (correlacionado fuertemente a la humedad relativa), tiene un impacto en su textura. Así las cosas, evidentemente, las variables mencionadas, al ser parámetros de calidad en el suelo, no son independientes, lo cual se evidenció en el presente AMFM.

La catalasa es una enzima oxido-reductasa, que cataliza la descomposición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en oxígeno y agua. El H_2O_2 se genera durante los procesos respiratorios de los microorganismos aeróbicos en el suelo y este tiende a interactuar con la materia orgánica. Por tanto, la actividad catalasa, es un indicativo del nivel de materia orgánica y carga de microorganismos del suelo (Gili et al., 2014). Complementariamente, el pH tiene una influencia directa en la biodisponibilidad de diversos elementos y compuestos inorgánicos en el suelo, los cuales son vitales en procesos metabólicos asociados a la degradación y biosíntesis de materia orgánica en el suelo por parte de los microorganismos (Cerón y Melgarejo, 2005). De esta forma, podría esperarse una asociación fuerte entre la actividad catalasa y el pH en suelo, lo cual se evidenció en este estudio, al AMFM revelar un cuarto factor latente, compuesto por la actividad catalasa y el pH en suelo. De esta forma, el presente estudio brinda bases no solo cualitativas sino también cuantitativas viables, que podrían ser utilizadas para entender los mecanismos bioquímicos de interrelación, entre la actividad catalasa y ureasa, como también el impacto de estas, en la dinámica de crecimiento de microorganismos y producción de materia orgánica en el suelo del territorio colombiano.

4. CONCLUSIONES

De esta forma, del presente estudio se puede concluir que el análisis multivariado factorial mixto, reveló la estructura multivariada de variables climáticas y edáficas de interés para los sistemas de producción agropecuarios colombianos. El análisis reveló que las variables temperatura y altitud, pertenecen a un primer factor denominado como "Climático". Adicionalmente, que las variables humedad relativa y actividad ureasa, pertenecen a un segundo factor, denominado como "Ureasa-agua-pH". Sin embargo, estas últimas, también presentaron una asociación significativa con el tercer factor, denominado "Fisicoquímica-suelo", el cual está compuesto principalmente por la variable textura del suelo. Adicionalmente, el análisis reveló la existencia de un cuarto factor, denominado como "Catalasa-pH", el cual está compuesto de las variables actividad catalasa y pH. Sin embargo, la variable pH, presentó también una notable correlación con el factor Ureasa-agua-pH.

De esta forma, las relaciones cuantitativas entre variables halladas por este estudio pueden ser de valor para aumentar el entendimiento de diversos factores físicos, químicos y microbiológicos que afectan la fertilidad y calidad de los suelos colombianos, información que puede ser útil para el diseño estrategias viables y eficientes para maximizar la producción animal y vegetal en los sistemas agropecuarios de la región en estudio. Adicionalmente, el presente trabajo deja en evidencia la viabilidad del análisis multivariado factorial mixto para entender diversas asociaciones complejas entre variables que hacen parte de sistemas agropecuarios, lo que viabiliza su aplicación futura en estudios adicionales que busquen entender tales relaciones en otros sistemas

geográficos diferentes al estudiado y que a su vez, involucren un mayor número de variables cualitativas y cuantitativas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Julián Andrés Castillo Vargas: Metodología, curaduría de datos, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original y manuscrito final. **Wilmer Alfonso Cuervo Vivas:** Curaduría de datos, revisión de borrador original y manuscrito final.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por el suministro de los datos para la realización de este estudio. Adicionalmente, a todos los estudiantes del curso de bioquímica metabólica, entre los años 2017 y 2018, de los cursos de Agronomía y Zootecnia, por contribuir con las informaciones usadas en este estudio.

REFERENCIAS

- AccuWeather Inc. (2021). Recuperado de <https://www.accuweather.com/>
- Agnusdei, M. G. (2013). Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 21(1), 63-78.
- Arreaza, L., García, S., Leal, J., Roncallo, B., y Mateus, H. (2012). Guía para la suplementación energético – proteico de bovinos en el trópico En: Alternativas Tecnológicas para la producción competitiva de leche y carne en el trópico bajo. *Memorias Seminario CORPOICA*, 29-40.
- Cerón, L. E., y Melgarejo, L. M. (2005). Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. *Acta Biológica Colombiana*, 10(1), 5-18.
- CSP. (2021). Climate Services Partnership. Recuperado de www.climate-services.org/
- Escobar, M. A. (2018). *Efecto de la madurez del pasto Kikuyo (Cenchrus clandestinus Hochst. ex Chiov.) sobre la producción de biomasa y la composición nutricional en diferentes altitudes de la provincia de Ubaté* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Estupiñán-Gómez, L. H., Gomez, J. E., Barrantes, V. J., y Limas, L. F. (2009). Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo El Granizo, (Cundinamarca - Colombia). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 12(2), 79-89.
- Gaete, H., Hidalgo, M. E., Neaman, A., y Ávila, G. (2010). Evaluación de la toxicidad de cobre en suelos a través de biomarcadores de estrés oxidativo en *Eisenia foetida*. *Química Nova*, 33(3), 566 - 570.
- García, G., Brogioni, M., Venturini, V., Rodriguez, L., Fontanelli, G., Walker, E., Macelloni, G., y Graciani, S. (2016). Determinación de la humedad de suelo mediante regresión lineal múltiple con datos TerraSAR-X. *Revista de Teledetección*, 46, 73-81.
- Gili, P., Marando, G., Irisarri, J., y Sagardoy, M. (2014). Actividad biológica y enzimática en suelos afectados por sales del Alto Valle de Ro Negro y Neuquén. *Revista Argentina de Microbiología*, 36, 187-192.
- Hair, J. F., Black, W. C., y Babin, B. J. (2014). Anderson, R. E. *Multivariate data analysis*, Edinburg, UK: Pearson Education Limited.
- Henríquez, C., Uribe, L., Valenciano, A., y Nogales, R. (2014). Actividad enzimática del suelo -Deshidrogenasa, β -Glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa- bajo diferentes cultivos. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 43-54.

- IDEAM. (2021). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de www.ideam.gov.co/
- Johnson, R. A., y Wichern, D.W. (2014). *Applied multivariate statistical analysis*, Edinburg, UK: Pearson Education Limited.
- Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, 187-200.
- Lozano, A. L. C. (2017). *Desempeño de la planta Lepidium meyenii Walp. "maca" en parcelas experimentales localizadas en diferentes altitudes: la influencia del suelo y la procedencia de las semillas* (tesis de pregrado). Universidad Peruana Cayetano Heredia, San Martín de Porres, Perú.
- Mogollón, J. P., Martínez, A., y Torres, D. (2016). Efecto de la aplicación de vermicompost en las propiedades biológicas en un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Bioagro*, 28(1), 29-38.
- Ontiveros, S., Manrique, S., y Franco, J. (2016). *Flujos de metano en suelos forestales, dinámica y relación con factores edáficos y ambientales*. XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES), La Plata, Argentina.
- Pineda-Santos, L. D., y Suárez-Hernández, J. E. (2014). Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(3), 28-32.
- Rodríguez-Jiménez, T. J., Ojeda-Barrios, D. L., Blanco-Macías, F., Valdez-Cepeda, R. D., y Parra-Quezada, R. (2016). Urease and nickel in plant physiology. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(2), 69-82.
- Snedecor, G. W., y Cochran, W. G. (1989). *Statistical methods*, Iowa, US: Iowa State University Press.
- USDA. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Vallejo-Quintero, V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83-99.
- Villaseñor, D., Chabla, J., y Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia del El Oro. *Cumbres*, 1(2), 28-34. DOI: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a06
- Wilson-García, C. J., Hernández-Garay, A., Ortega-Cerrilla, M. E., López-Castañeda, C., Bárcena-Gama, R., Zaragoza-Ramírez, J. L., y Aranda-Osorio, G. (2017). Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje, en el valle de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 49(2), 79-92.



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

CASO DE ESTUDIO SOBRE EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN UN CONJUNTO RESIDENCIAL DE SANTIAGO DE CALI

CASE STUDY ON THE INTEGRAL MANAGEMENT OF SOLID WASTE IN A RESIDENTIAL COMPLEX IN SANTIAGO DE CALI

¹ Jenny Fernanda Espitia Arias

Ingeniera Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – ECAPMA

ORCID: 0000-0003-2949-7957

Email: jfespitiaa@unadvirtual.edu.co

² Martha Espitia Arias

Ingeniera Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – ECAPMA

ORCID: 0000-0003-0595-0040

Email: mespitiaa@unadvirtual.edu.co

³ Luisa Fernanda Calderón Vallejo

Ingeniera Sanitaria, M.Sc.

Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia – ECAPMA

ORCID: 0000-0002-4963-0631

Email: luisa.calderon@unad.edu.co

Citación: Espitia, J., Espitia, M., y Calderón, L. (2021). Caso de estudio sobre el manejo integral de residuos sólidos en un conjunto residencial de Santiago de Cali. *Agricolae & Habitat*, 4(2), 21 - 32. DOI: <https://doi.org/10.22490/26653176.4343>

RESUMEN

Contextualización: El manejo inadecuado de residuos sólidos contribuye a la contaminación del medio ambiente, el deterioro del paisaje natural y pone en riesgo la salud pública por la proliferación de vectores y roedores.

Vacío de conocimiento: Se pretendió en este estudio reconocer el manejo de los residuos sólidos en el conjunto residencial Los Fundadores de la ciudad de Cali, el cual, aunque hace varios años tiene un Comité de Manejo Integral de Residuos Sólidos, en la actualidad no cuenta con un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Propósito: El estudio se enfoca en la necesidad de realizar el diagnóstico del manejo integral de residuos sólidos en el conjunto residencial, con el fin de generar lineamientos que permitan cumplir con la normatividad ambiental a la cual están obligados y contribuir al manejo adecuado de los residuos sólidos, aportando a las metas del municipio y avanzando gradualmente hacia una economía circular.

Metodología: Para el desarrollo del estudio, primero se llevó a cabo el diagnóstico de la situación actual del manejo de los residuos sólidos del conjunto residencial, luego se aplicó una encuesta, posteriormente se hizo la caracterización y aforo de los residuos sólidos generados en un periodo de 8 días y finalmente se realizaron algunas actividades de capacitación con los residentes y usuarios del conjunto.

Resultados y conclusiones: Se encontró que el mobiliario usado para el manejo de residuos sólidos presenta falencias que dificultan la correcta gestión de los residuos sólidos, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1077 de 2015. Con la aplicación de la encuesta se observó que hacen falta jornadas de capacitación con los generadores de residuos sólidos. Con los resultados de la caracterización y aforo se pudo determinar

que en los 8 días se generó un 60,5% de residuos sólidos no aprovechables y un 39,5% de aprovechables. Con las actividades de capacitación se logró promover la separación en la fuente y finalmente, se establecieron recomendaciones que permitirán reducir los impactos ambientales, sociales y solucionar en el mediano y largo plazo los problemas encontrados. En conclusión, esta investigación permitió identificar situaciones que generan diversas problemáticas en el conjunto residencial, y a su vez, establecer propuestas encaminadas a la recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos generados.

Palabras Clave: residuos sólidos aprovechables y no aprovechables, PGIRS, impactos ambientales, caracterización de residuos sólidos

ABSTRACT

Contextualization: The inadequate management of solid waste contributes to the contamination of the environment, the deterioration of the natural landscape and the risk to the public health due to the proliferation of vectors and rodents.

Knowledge gap: The aim of this study was to recognize the management of solid waste in the Los Fundadores residential complex in the city of Cali, which, although for several years it had a Committee for the Integral Management of Solid Waste, currently does not have an adequate and Integral management of solid waste.

Purpose: The study focuses on the need to carry out the diagnosis of the integral management of solid waste in the residential complex, in order to generate guidelines that allow compliance with the environmental regulations to which they are obliged, as well as to contribute to the proper management of solid waste, by achieving goals of the municipality and gradually moving towards a circular economy.

Methodology: For the development of the study, first the diagnosis of the current situation of solid waste management of the residential complex was carried out, then a survey was applied, thereafter the measurement and sampling of the solid waste generated in a period of 8 days were held, and finally some training activities with the residents and users of the complex were performed.

Results and conclusions: It was found that the furniture used for the management of solid waste has shortcomings that hinder the correct management of solid waste, in accordance with the provisions of Decree 1077 of 2015. With the application of the survey it was observed that training sessions are needed with solid waste generators. With the results of the measurement and sampling it was determined that in the 8 days, 60.5% of non-usable solid waste and 39.5% of usable were generated. With the training activities, it was possible to promote

separation at the source and finally, recommendations were established that will reduce the environmental and social impacts and solve the problems encountered in the medium and long term. In conclusion, this research made it possible to identify situations that generate various problems in the residential complex, and in turn, establish proposals aimed at the recovery and use of the solid waste generated.

Keywords: usable and non-usable solid waste, ISWMS, environmental impacts, solid waste characterization

RESUMEN GRÁFICO

En la siguiente imagen se presentan las estrategias que permitieron desarrollar el trabajo obtenido, el cual fue analizado con base en la metodología implementada para el aforo de los residuos en el conjunto residencial Los Fundadores.

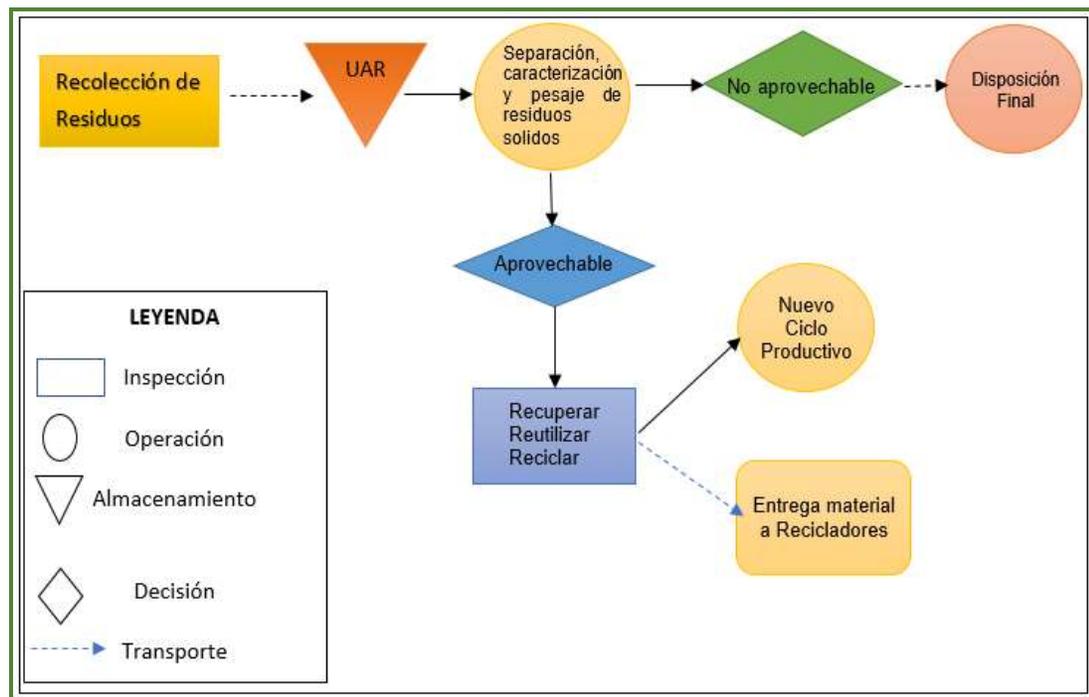


Imagen 1. Diagrama de la metodología de aforo para los residuos sólidos del caso de estudio (Espitia et al, 2020)

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos son aquellos restos generados por actividades humanas, los cuales pueden ser orgánicos e inorgánicos, son considerados por lo general como inútiles y son desechados por quienes los generan, pero pueden tener alguna utilidad para otras personas que los reincorporan a algún proceso. Los residuos sólidos han tomado mucha relevancia debido a los grandes volúmenes que se generan a diario y a la diversidad de su composición, siendo el mal manejo de estos, la causa de problemas comunes que se presentan en cualquier lugar del mundo (Escamirosa et al, 2001).

A nivel mundial, los residuos sólidos representan un grave problema para las poblaciones, especialmente para las grandes ciudades, debido a la alta generación de los mismos, situación que se viene presentando por diversos factores como el acelerado crecimiento poblacional que incluye la elevada aglomeración en los centros urbanos, el crecimiento industrial y las variaciones de hábitos de consumo que buscan el mejoramiento de la calidad de vida (Ojeda et al, 2008). Por una parte, la concentración de habitantes en un determinado lugar genera también concentración de residuos, y por otra parte el estilo de vida en zonas urbanas reduce el consumo de productos inorgánicos, favoreciendo por el contrario una mayor generación de desechos inorgánicos los cuales ocupan mayores espacios en los sitios de disposición final debido a que no se descomponen (Rodríguez, 2002).

En cuanto a los lineamientos normativos para el manejo de residuos sólidos, Colombia cuenta con políticas sólidas, las cuales han permitido generar los mecanismos necesarios

para reducir los impactos ocasionados por el mal manejo y disposición inadecuada de los mismos. Un ejemplo de lo anterior es la Resolución 0754 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por la cual se adoptó la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

A nivel regional (Valle del Cauca), mediante el Decreto Municipal 1147 de 2015 se adoptó el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Santiago de Cali 2015 - 2027. En cuanto al manejo de residuos sólidos en los conjuntos residenciales, el Departamento Administrativo de Planeación Municipal - DAPM, en el año 2008 elaboró el Manual para la Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Sector Residencial - Conjuntos Residenciales del Municipio de Santiago de Cali.

En el año 2019 la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos Municipales - UAESPM, presentó el Manual para la Implementación del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el Sector Residencial, el cual establece los aspectos más relevantes para la implementación del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos (SGIRS) en el sector residencial.

Finalmente, es importante resaltar que, aunque los conjuntos residenciales están obligados a planificar, implementar y hacer seguimiento al sistema de gestión integral de residuos sólidos, en la mayoría de los casos, no lo hacen, o simplemente realizan algún documento con la formulación de este SGIRS,

pero no le hacen seguimiento o no implementan las prácticas allí consignadas.

A pesar de que en el caso de estudio de este documento (el conjunto residencial Los Fundadores de la ciudad de Santiago de Cali) si se realizaban acciones para dar manejo adecuado a los residuos sólidos generados, se identificó que, durante la realización de la investigación en el año 2019, no se encontraban implementando el SGIRS. Con la elaboración del diagnóstico del manejo integral de residuos sólidos en el conjunto residencial Los Fundadores, se pretende generar un impacto positivo, mediante la verificación, y propuesta de lineamientos para la mejora de las condiciones actuales y el seguimiento de estas acciones, en aras de lograr una adecuada gestión integral de los residuos sólidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos del conjunto residencial incluyó varios aspectos como el análisis de los puntos de disposición, ducto de gravedad, unidades temporales de almacenamiento y la unidad de almacenamiento. Para el diagnóstico se realizaron: 14 recorridos de campo, georreferenciación de las unidades de almacenamiento temporal, UAR, puntos ecológicos y compostera, registro fotográfico, entrevistas a los trabajadores del conjunto y análisis de las condiciones actuales relacionadas con el manejo de los residuos sólidos del conjunto residencial.

Respecto de su ubicación, el conjunto residencial Los Fundadores se ubica en el barrio Camino Real, en la comuna 19, de Santiago de Cali. Cuenta con 240 unidades habitacionales, 20 torres, 2 parqueaderos, 1

jardín infantil, 1 sede social, 1 lugar de disposición de residuos UAR, 2 porterías, 1 gimnasio y 8 locales. El conjunto residencial cuenta con aproximadamente 720 residentes.

2.1 Encuesta:

Se aplicó una encuesta de 12 preguntas con opciones de respuesta SI o No, a 50 residentes del conjunto residencial, con el fin de hacer un sondeo sobre su nivel de conocimiento en temas relacionados al manejo de los residuos sólidos generados en el sitio. De acuerdo con Casas *et al* (2003), "La técnica de encuesta es ampliamente utilizada como procedimiento de investigación, ya que permite obtener y elaborar datos de modo rápido y eficaz" (p. 527), (ver anexo 1). Los resultados se procesaron utilizando estadística descriptiva en el programa Microsoft Excel.

2.2 Identificación y cuantificación de los residuos sólidos generados:

Con el objetivo de determinar cualitativa y cuantitativamente los residuos sólidos generados dentro del conjunto residencial, fue necesario realizar su caracterización física y aforarlos durante un período de tiempo específico. La caracterización de los residuos se realizó mediante su clasificación en aprovechables, que son aquellos que se puede reciclar para ser reintroducidos en nuevos ciclos de vida (orgánicos, plásticos, pet y/o pasta, papel o cartón, vidrio y metal) y no aprovechables, aquellos que debido a sus características son llevados al relleno sanitario (ordinarios y riesgo biológico). Para garantizar que todos los residuos sólidos se vieran involucrados en el proceso de aforo, se identificaron todas las unidades de almacenamiento de residuos temporal y los diferentes puntos de disposición del conjunto

residencial. Con base en lo anterior, se estableció que el ciclo de producción en el conjunto residencial corresponde a 8 días, este ciclo es el tiempo en el que la producción de los residuos sólidos del conjunto se repite con características similares.

Teniendo en cuenta el peso total de los residuos sólidos generados durante el ciclo del aforo y la cantidad de habitantes del conjunto residencial se logró calcular la producción per cápita, teniendo en cuenta la ecuación 1:

$$ppc = \frac{Wt}{N \text{ Hab} * \text{Días de almacenamiento de los R.S}} = \frac{Kg}{\text{Hab} - \text{día}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde: **ppc** = producción per cápita; **Wt** = Peso total de los R.S. aforados; **N Hab** = número de habitantes por vivienda.

carteleras informativas en todas las torres del conjunto.

Para determinar la producción mensual de residuos sólidos del conjunto residencial, se tuvo en cuenta lo estipulado en la Resolución CRA 236 de 2002, que en su Inciso e, Articuló 7, establece que "para determinar la producción mensual (kg/mes) de residuos sólidos presentados por el multiusuario, se multiplicará el valor del promedio simple de producción semanal por el número de semanas del mes (4.34 semanas/mes)" (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2002). Esta producción se calculó acorde con la producción obtenida durante el diagnóstico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diagnóstico de la situación actual del manejo de los residuos sólidos en el conjunto residencial Los Fundadores:

2.3 Actividades de capacitación:

Con el fin de promover un mejor manejo de los residuos sólidos, se realizaron actividades de capacitación con los residentes y usuarios del conjunto residencial, específicamente 20 charlas educativas, una por cada torre en las cuales participaron en promedio 4 personas por torre. Se elaboraron y colocaron

Mediante el diagnóstico de la situación actual se pudo evidenciar que en el lugar se presentan diferentes falencias que impiden que se lleve a cabo una correcta gestión de los residuos sólidos generados. Las paredes y pisos de las unidades de almacenamiento de residuos temporales (UART) se encuentran deterioradas, ya que no se les ha realizado mantenimiento en mucho tiempo. Estas unidades no cuentan con puntos hidráulicos, energía o ventilación, tampoco cuentan con señaléticas. Las tinas en las cuales se depositan los residuos no cuentan con rótulos que permita que los residentes realicen una disposición adecuada.



Imagen 2 y 3. Tinas y entrada de UARt sin señalización (Espitia et al, 2020)

La mayoría de los ductos de gravedad se encuentran altamente deteriorados, debido a la falta de mantenimiento, además de que muchos de los residentes arrojan todo tipo de residuos por allí, generando atascos. En estos ductos también se evidenciaron problemas de malos olores, debido a que muchos de los

residentes depositan residuos orgánicos, lo que representa una pérdida de material que es fundamental para la compostera. Esta situación en gran medida se puede presentar porque los residentes desconocen la importancia del proceso del compostaje y de la separación en la fuente.



Imagen 4 y 5. Mal estado de los ductos y disposición inadecuada de los residuos (Espitia et al, 2020)

Debido a que la frecuencia de recolección de los residuos en las unidades temporales solo es de 2 veces por semana y que no se realiza la separación en la fuente, se generan problemas de malos olores y aparición de vectores (moscos y cucarachas).

La UAR se encuentra altamente deteriorada debido a que no se le ha realizado mantenimiento, indicando que en el conjunto la inversión para el manejo de los residuos sólidos por parte de la administración es muy baja. El conjunto cuenta con puntos ecológicos, recipientes plásticos y canastas

metálicas, indicando buena cobertura para el depósito de los residuos sólidos, aunque no cumplen en su totalidad con los estándares, por lo que los residentes no realizan el depósito de forma adecuada. Aunque el conjunto cuenta con algunos recipientes para depositar los desechos de las mascotas, es común encontrarlos en los suelos de las zonas verdes.

Cerca de unas 50 familias del conjunto realizan la separación en la fuente de los residuos orgánicos y los entregan para la compostera, indicando que, del total de hogares, cerca del 22% están aportando los residuos orgánicos para la compostera.

Este diagnóstico permitió evidenciar que en el conjunto residencial se presentan diferentes falencias que impiden que se lleve a cabo una correcta gestión de los residuos sólidos generados, existe poca inversión por parte de la administración y no hay un buen aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos que se generan en los hogares.

3.2 Encuesta:

Los resultados de la encuesta aplicada a los residentes del conjunto residencial se pueden apreciar en la Figura 1.

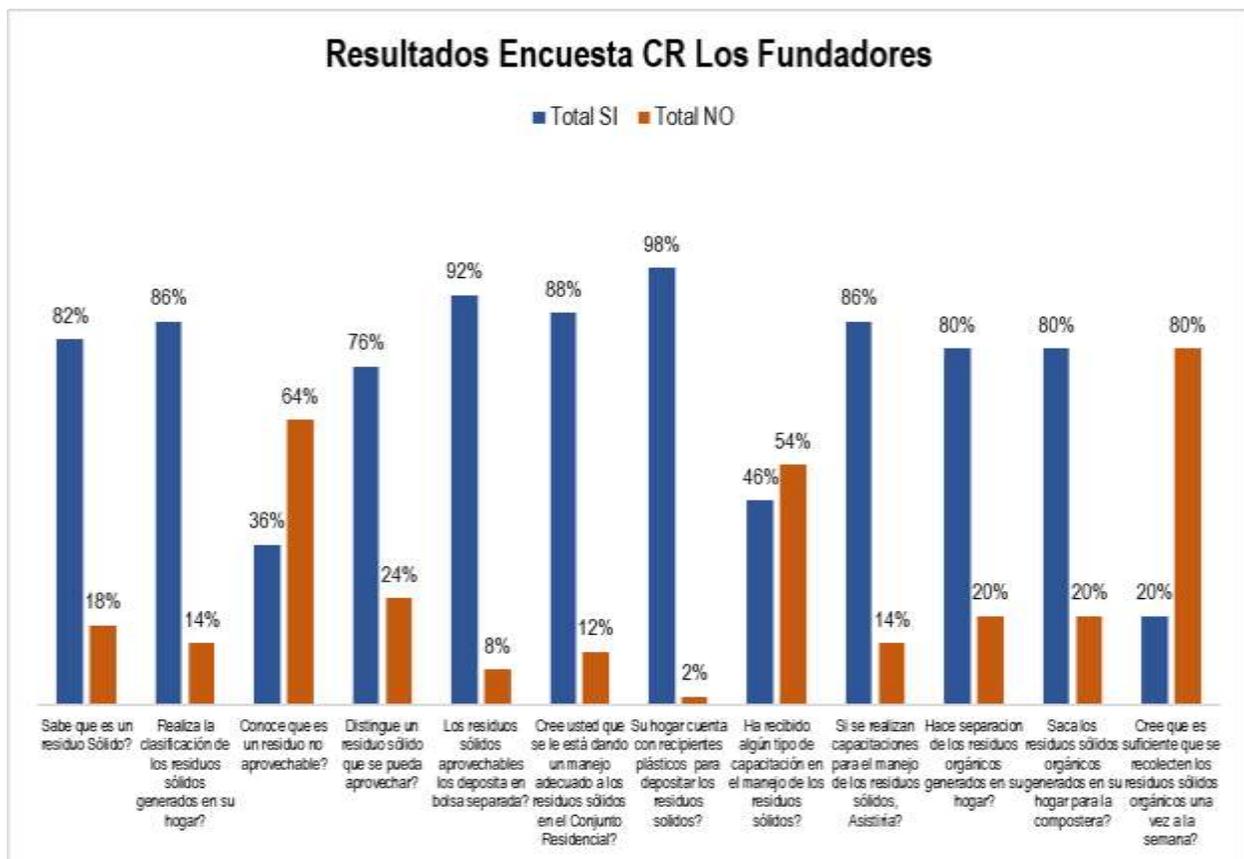


Figura 1. Resultados encuesta (Espitia et al, 2020)

Se puede observar que las personas encuestadas no tenían claro los conceptos usados en las preguntas, ya que, aunque más del 90% respondió que, aunque si depositan los residuos sólidos aprovechables en bolsa separada, sólo el 36% de los encuestados manifestó saber lo que es un residuo sólido no aprovechable. Lo anterior indica que hace falta mayor inversión por parte de la administración en temas de educación ambiental y manejo adecuado de los residuos sólidos.

3.3 Caracterización y aforo:

El volumen de residuos sólidos generados durante los ocho (8) días de aforo corresponde a 2.593,10 kg clasificados en

aprovechables y no aprovechables. Entonces, se determina que la producción mensual de residuos sólidos del conjunto es de 11.254,054 kg (multiplicando la producción semanal por 4.34 semana / mes) de acuerdo a lo indicado por la CRA y explicado en la metodología del presente documento.

Para la identificación y cuantificación de los residuos sólidos generados en el conjunto residencial, se realizó la clasificación de estos en aprovechables (39.5%) y no aprovechables (60.5%), ver Figura 2.



Figura 2. Clasificación y peso de los residuos sólidos generados (Espitia et al, 2020)

De otro lado, tal y como se observa en la figura 3, los residuos no aprovechables (que corresponden al 60.5% de los residuos encontrados) se clasifican en ordinarios y otros residuos. Los ordinarios comprenden residuos de barrido, papel carbón, papel aluminio, icopor, servilletas, envoltorios o empaques con restos de alimentos y bebidas,

y los otros residuos incluyen residuos biológicos, residuos sanitarios, pañales y heces de mascotas). Por su parte, los residuos aprovechables, son el 39.5% de los generados durante la caracterización, e incluyen residuos orgánicos de cáscaras de alimentos, papel y cartón, botellas PET, vidrio y metal.

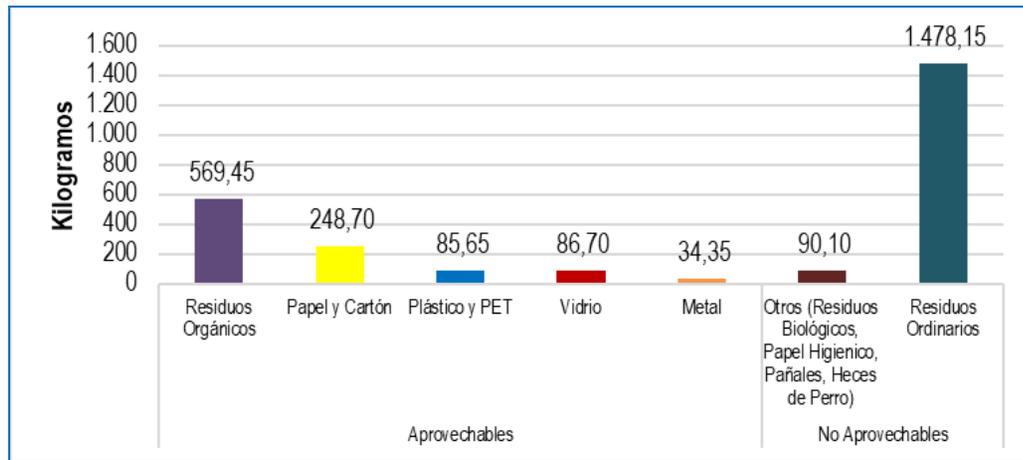


Figura 3. Resultados de la caracterización y pesaje de los residuos sólidos generados (Espitia et al, 2020)

En general, los residuos sólidos que se produjeron en mayor cantidad fueron los ordinarios que equivalen al 57.0% del total generado, seguido por los residuos orgánicos que representan el 22.0% y el papel y cartón (9.6%), Por otra parte, el residuo que se generó en menor cantidad es el metal (1,32%).

Adicionalmente a la caracterización mencionada, se realizó durante dos (2) días (viernes) el aforo de los residuos sólidos orgánicos dispuestos en la compostera del conjunto residencial. Los residuos orgánicos generados en la primera semana del aforo corresponden a 374,1 kg y los residuos orgánicos generados durante la segunda semana del aforo sumaron 367,3 kg. Solo el 22% de los residentes del conjunto disponen los residuos en el sitio adecuado de manera separada para su posterior aprovechamiento, los demás residentes mezclan residuos orgánicos con residuos ordinarios que no pueden ser reciclados. Los valores presentados en la Figura 3 indican que, en el conjunto residencial se está generando un volumen muy alto de residuos sólidos no aprovechables, los cuales finalmente son dispuestos en el relleno sanitario, situación

que afecta su vida útil. Por lo tanto, es evidente que los residentes y usuarios del conjunto residencial no están realizando una eficiente separación en la fuente, lo que ocasiona que se esté perdiendo el potencial de aprovechamiento de los residuos y se generen problemas de contaminación, por lo que sería necesario iniciar un proceso de capacitación y sensibilización con todos los habitantes.

3.4 Producción per cápita:

Para el caso de estudio, se obtuvo una producción per cápita de 0,45 kg/hab/día de residuos sólidos, valor que se encuentra en el rango de concordancia para Santiago de Cali, teniendo en cuenta que en el año 2015 el Departamento Administrativo de Planeación Municipal - DAPM, dentro del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del municipio – PGIRS 2015 – 2027 estableció que “En la ciudad de Santiago de Cali, el total de residuos sólidos dispuestos para el año 2014 fueron de 632.075 toneladas, y la producción per cápita del municipio corresponde aproximadamente a 0.55 kg/hab/día” (p. 117).

4. CONCLUSIONES

Con el diagnóstico locativo se pudo identificar que la unidad de almacenamiento de residuos y las unidades temporales no cumplen con los parámetros establecidos en el Decreto 1077 de 2015, ya que no cuentan con acabados que permitan una limpieza fácil, generando ambientes propicios para el desarrollo de microorganismos y otros vectores como insectos, que pueden ocasionar problemas en la salud de los residentes del lugar.

Con la caracterización y aforo de los residuos sólidos se logró reconocer que el conjunto residencial tiene gran potencial de recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos que allí se generan, de los cuales gran parte son clasificados como no aprovechables según el aforo efectuado, y finalmente son dispuestos en el relleno sanitario.

Las actividades de capacitación ejecutadas durante la investigación permitieron reconocer las falencias que tienen los residentes y usuarios del conjunto residencial en cuanto al manejo de los residuos sólidos, y con base en estas se hace necesario proponer algunas estrategias encaminadas a mejorar prácticas como la separación en la fuente.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer y segundo autor: revisión de literatura, introducción, metodología, resultados, análisis y conclusiones. **Tercer autor:** resumen, asesor del proyecto, supervisión, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Para el desarrollo del presente proyecto agradecemos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y a la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA por creer en esta idea de proyecto aplicado y evaluar su viabilidad al ser implementada, esto ha permitido a las ingenieras ambientales egresadas de la UNAD, autoras del presente documento, forjar conocimientos académicos muy valiosos y a la docente asesora identificar una problemática que requiere de gran abordaje en el contexto vallecaucano y nacional. Las autoras del presente documento también agradecen a los residentes y trabajadores del conjunto residencial del caso de estudio, por su tiempo y amabilidad para hacer posible esta investigación.

REFERENCIAS

- Casas-Anguita, J., Repullo-Labrador, J.R., Donado-Campos, J. (2003). *La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos*. Atención Primaria, 31(8), 527-538. [https://doi.org/10.1016/S0212-6567\(03\)70728-8](https://doi.org/10.1016/S0212-6567(03)70728-8)
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (2002). Resolución CRA 233 de 2002 por la cual se establece una opción tarifaria para los multiusuarios del servicio de aseo, se señala la manera de efectuar el cobro del servicio ordinario de aseo para inmuebles desocupados y se define la forma de acreditar la desocupación de un inmueble. Bogotá D.C. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/0233%20-%202002.pdf>
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal - DAPM. (2008). *Manual para la gestión integral de residuos sólidos en el sector residencial*. (Manuales para la implementación de los Programas de

- Gestión Integral de Residuos Sólidos).
Alcaldía de Santiago de Cali.
<https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/142562/manuales-para-la-implementacion-de-los-programas-de-gestion-integral-de-residuos-solidos/>
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal – DAPM. (2015). *Plan de gestión integral de residuos sólidos de Santiago de Cali - PGIRS 2015 – 2027*. (Documentos Actualización PGIRS). Alcaldía de Santiago de Cali.
<https://www.cali.gov.co/documentos/413/documentos-actualizacion-pgirs/>
- Escamiroso, L. F., Del Carpio, C. U., Castañeda, G., Quintal, C. A. (2001). *Manejo de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas*. Google Libros.
https://books.google.com.co/books?id=fePw0GgZt6gC&printsec=frontcover&source=gbs_%20ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Espitia, J. F., Espitia, M. C. & Niño, Y. (2020). *Diagnóstico del manejo integral de residuos sólidos en el Conjunto Residencial Los Fundadores en la ciudad de Cali, en el año 2019*. [Proyecto Aplicado o Tesis]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/33399>.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Resolución 0754 de 2014 Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá. D.C. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
<https://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Gesti%C3%B3n%20ambiental/Residuos/Anexo%20residuos%20ordinarios/Resoluci%C3%B3n%200754%20del%202014.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). Decreto 1077 de 2015 (versión integrada con sus modificaciones, actualizado el 24 de marzo de 2021) por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Bogotá. D.C. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
- Ojeda, S., Lozano, G., Quintero, M., Whitty, K., Smith, C. (2008). *Generación de residuos sólidos domiciliarios por periodo estacional: el caso de una ciudad mexicana*. REDISA, 1-10.
<http://www.redisa.net/doc/artSim2008/gestion/A26.pdf>
- Rodríguez-Escobar, L. A. (2002). *Hacia la gestión ambiental de residuos sólidos en las metrópolis de América Latina*. INNOVAR, (20), 111-120.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/24282/25135>
- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos Municipales – UAESPM. (2019). *Manual para la implementación del sistema de gestión integral de residuos sólidos en el sector residencial*. Alcaldía de Santiago de Cali.



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE INCENDIOS DEL NORTE Y CENTRO DE SURAMÉRICA: 2009-2019

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF NORTHERN AND CENTRAL FIRES FROM SOUTH AMERICA: 2009-2019

Brigette López-Guevara
Estudiante de ingeniería ambiental, Semillero BioSIG
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
ORCID: 0000-0001-5750-6182
Email: blopezgu@unadvirtual.edu.co

Citación: López-Guevara, B. (2021). Análisis espacio-temporal de incendios del norte y centro de Suramérica: 2009-2019. *Agricolae & Habitat*, 4(2), 33 - 43. DOI: <https://doi.org/10.22490/26653176.4542>

RESUMEN

Contextualización: la frecuencia, poder radiativo y tamaño de los incendios en el mundo se ha incrementado, generando graves impactos sociales, ambientales y económicos.

Vacío del conocimiento: A pesar de ello, se cuenta con una cantidad limitada de investigaciones frente a este problema, especialmente en el norte (NSA) y centro de Suramérica (CSA) que permitan crear políticas públicas con base en la ciencia y tecnología.

Propósito: así las cosas, el presente

proyecto busco analizar espacial y temporalmente los incendios del norte y centro de Suramérica entre 2009 y 2019.

Metodología: se utilizó información del espectrorradiómetro de imágenes de media resolución (MODIS) a bordo de los satélites Aqua y Terra de la NASA. Los datos de incendios con una confianza mayor al 75% fueron seleccionados y procesados en lenguaje de programación R. Se identificó espacialmente aquellos incendios con el mayor poder radiativo [MW] (por encima del percentil 90). La distribución del conteo diario de incendios se analizó de forma mensual y anual.

Resultados y conclusiones: durante los primeros cuatro meses del año, el NSA es afectado por incendios de más de 3000 MW en la cuenca de la Orinoquia; mientras que el CSA es afectado en más de un 90% por incendios de más 8800 MW, principalmente durante agosto, septiembre y octubre.

Palabras clave: gestión ambiental, tecnología espacial, satélite artificial, estadísticas ambientales, gestión de riesgos

ABSTRACT

Contextualization: the frequency, radiative power, and size of fires in the world has increased, generating serious social, environmental, and economic impacts.

Knowledge gap: Despite this, there is a limited amount of research on this problem, especially in the northern (NSA) and central South America (CSA).

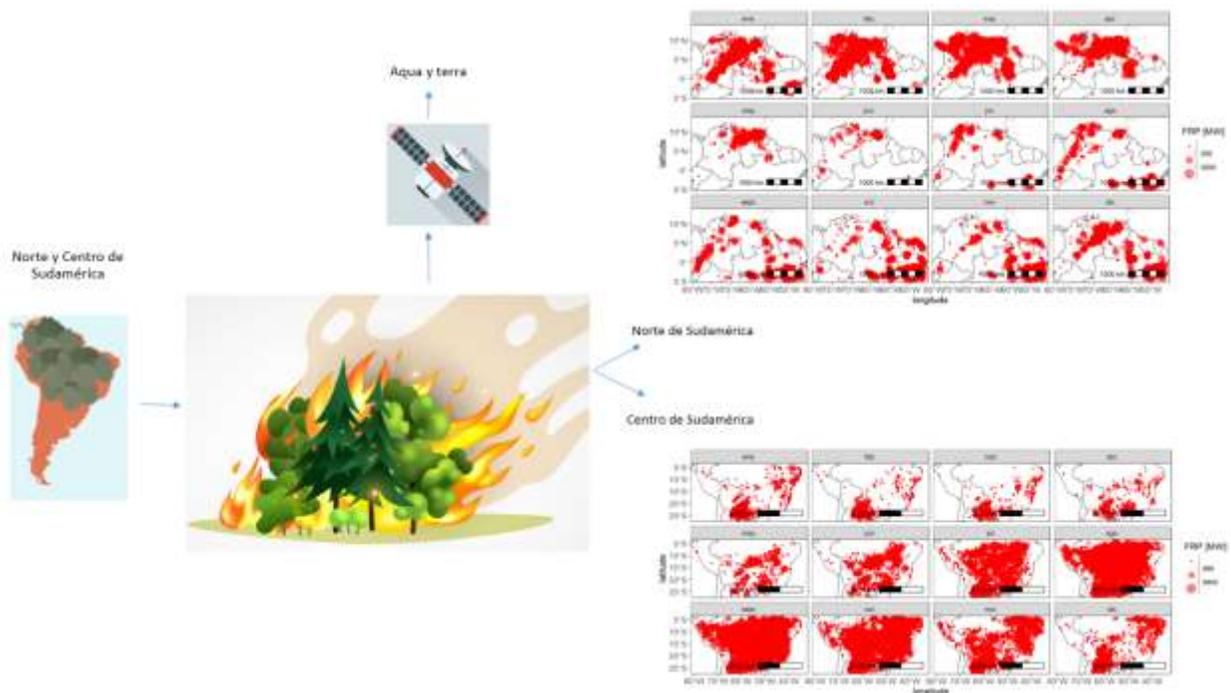
Purpose: this project sought to analyze spatially and temporally the fires in NSA and CSA between 2009 and 2019.

Methodology: information from the medium resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on board the Aqua and Terra NASA's satellites was used. The fire data with a confidence greater than 75% were selected and processed in R' programming. Fires with the highest radiative power [MW] (above the 90th percentile) were spatially identified. The distribution of daily fire counting was analyzed on a monthly and annual basis.

Results and conclusions: during the first four months of the year, the NSA is affected by fires of more than 3000 MW in the Orinoquia basin; while the CSA is affected in more than 90% by fires of more than 8,800 MW, mainly during August, September, and October.

Keywords: Environmental management, space technology, artificial satellites, Environmental statistics, risk management

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autora

1. INTRODUCCIÓN

Müller et al. (2013) afirma "Los incendios juegan un importante rol en la dinámica energética de los ecosistemas como en el manejo de la tierra". Pimm et al.,(1995) afirma "*Es reconocido cada vez más el impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas, dando lugar a fuertes modificaciones sobre los patrones espaciales de la biodiversidad y sus servicios a nivel global*". Parr & Chown, (2003) afirma "El fuego ha sido asociado con la *"expresión del banco de semillas mediante diversos mecanismos ecológicos"*.

Müller et al., (2013) afirma "Se ha asociado con alteraciones del microclima ",MORTON et al.,(2008) afirma " y la interacción atmósfera-vegetación". Así mismo, con efectos económicos y sociales a nivel local-regional. En Latinoamérica, aunque el *"fuego puede ser un mecanismo natural en muchos ecosistemas, las acciones humanas han alterado los regímenes naturales"* generando pérdida en servicios ecosistémicos que mantienen el equilibrio natural

Marengo et al.,(2008) "afirma En Suramérica, el incremento de incendios recientes está asociado con periodos de sequías", Ray et al.,(2005) afirma "particularmente en la cuenca del Amazonas, dónde se ha asociado este aumento con eventos climáticos extremos como el fenómeno del niño-oscilación sur (ENOS)" Marengo et al.,(2008) o con la oscilación del Atlántico Norte. ALENCAR et al (2004) afirma "Los bosques húmedos tropicales de la amazonia fueron gravemente afectados durante las sequías de 1997, 1998, 2005,2007, 2010 y 2015 por grandes incendios, muchos de los cuales se salieron de control desde zonas agrícolas y

explotaciones ganaderas". Armenteras et al., (2013) afirma " El incremento de incendios también ha estado asociado a las interacciones entre la deforestación, ocasionada principalmente para el establecimiento de cultivo, en los que el uso del fuego es la herramienta más efectiva para despejar el suelo tanto en el norte como en el centro de Suramérica. Estableciendo un reto a futuro para las presentes y futuras generaciones".

Armenteras et al.,(2013) afirma "La región de norte de Sudamérica y en particular Colombia, Ecuador y Perú, han sufrido un incremento en la frecuencia y extensión de los incendios, sin embargo, han pasado desapercibidos en la literatura. En estos países los incendios ocurren en una amplia variedad de regiones geográficas con condiciones sociales, demográficas, económicas y ambientales especiales. A pesar de ello, no se cuenta con una visión regional del problema, aspecto necesario para formular estrategias de prevención, mitigación y atención. Debido a esto, es fundamental contar con estadísticas sobre incendios para establecer buenas políticas en seguridad contra incendios". Sin embargo, el norte y centro de Suramérica carece de esta herramienta. Si bien existen análisis anuales sobre incendios por parte de La Asociación Internacional para el Estudio de Asuntos Económicos sobre Seguros, "The Geneva Association", y por parte del Comité Técnico Internacional para la Prevención y Extinción de Incendios (CTIF), estos no enfocan sus esfuerzos en las regiones: Norte de Suramérica (NSA) y Centro de Suramérica (CSA).

A partir del contexto anterior, el presente proyecto busca dar respuesta a la pregunta general: ¿Cuál fue el comportamiento espacio-temporal de los incendios del norte y centro de Suramérica durante los años 2009-2019?

Considerando que se cuenta con una cantidad limitada de investigaciones que hagan frente a este problema, especialmente en el norte y centro de Suramérica. La presente investigación tiene como objetivo principal analizar espacial y temporalmente los incendios del norte y centro de Suramérica entre 2009-2019. Para su cumplimiento se especificaron los siguientes objetivos específicos:

*Determinar la serie temporal de número de incendios diarios multi-anual y multi-mensual en el norte y centro de Suramérica entre 2009-2019 haciendo uso de del lenguaje de programación R.

*Identificar la distribución espacial de aquellos incendios del norte y centro de Suramérica entre 2009-2019 cuyo poder radiativo [MW] se encuentra por encima del percentil 90.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

• Área de estudio

En esta investigación se considera el norte de Suramérica como el dominio (longitud = -79.0, latitud = -4.4 como esquina inferior izquierda; longitud = -51.7, latitud = 13.1 como esquina superior derecha) (Figura 1a). El centro de Suramérica se consideró como el dominio (longitud = -79.0, latitud = -26.5 como esquina inferior izquierda; longitud = -34.2, latitud = -4.4 como esquina superior derecha) (Figura 1b).

Armenteras et al., (Armenteras et al., 2013) afirma Dentro de los ecosistemas susceptibles a los incendios, encontramos aquellos que presentan una densidad vegetal considerable además de factores climáticos como baja humedad, gran radiación solar y/o altas temperaturas las cuales pueden generar el comienzo y expansión del fuego. Algunos de los ecosistemas sensibles al fuego son bosques secos, andinos, páramos y el matorral espinoso, los cuales han sufrido transformaciones a tal punto que "presentan procesos extensos de sabanización, paralización, aridización y desertización".

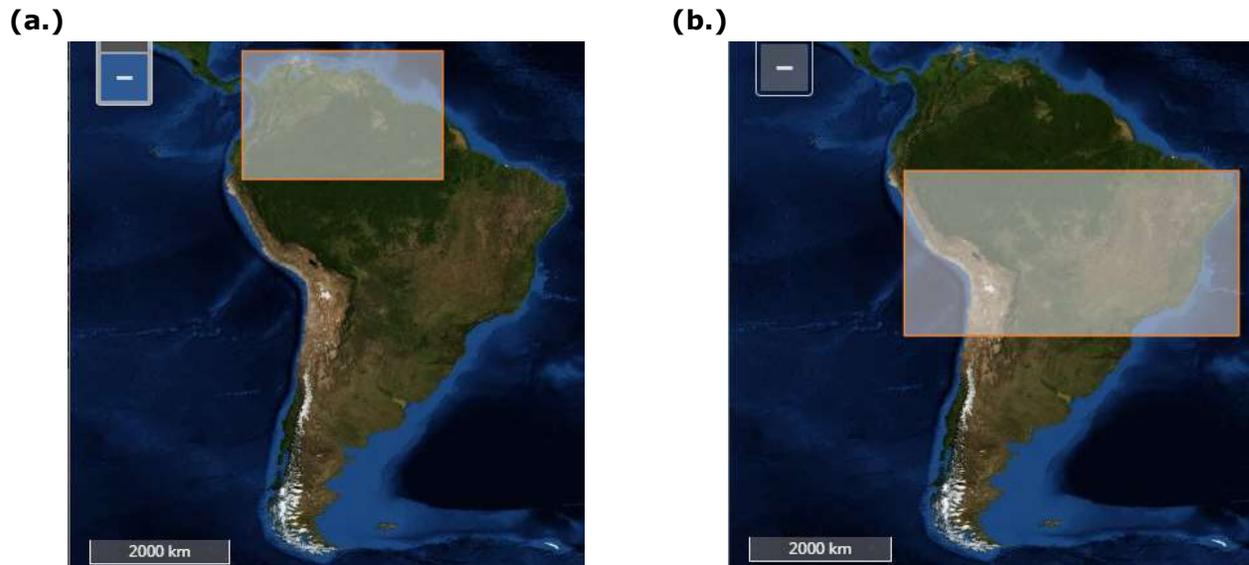


Figura 1. Área de estudio mostrado en forma rectangular para (a.) Norte de Suramérica, (b.) Centro de Suramérica. **Fuente:** autores.

- **Análisis espacio-temporal de incendios entre 2009 y 2019**

Francois (2011) afirma "Se utilizó información del espectrorradiómetro de imágenes de media resolución (MODIS) a bordo de los satélites Aqua y Terra de la NASA. Esta información se obtuvo a partir de la plataforma "Fire Information for Resource Management System" (FIRMS) (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>).

Se seleccionaron aquellos incendios entre 2009 y 2019 con una confianza mayor o igual al 75% con el fin de asegurar su alta calidad. Los incendios seleccionados fueron contados diariamente mediante el lenguaje de programación R. R es el software básico de referencia en el mundo de la estadística, la herramienta más potente y eficiente del mercado, además, es un software OPEN SOURCE para todos los sistemas operativos, es decir que es de código abierto, y por tanto, no tiene costo de adquisición. Este lenguaje de programación está pensado para

cálculos estadísticos, cálculos matemáticos y creación de gráficos de una manera fácil y rápida". Gracias a los paquetes zoo y tidyverse de R se pudo sistematizar el análisis espacial y temporal de los incendios. Se analizó su temporalidad a nivel mensual y anual mediante diagramas de caja y bigote con el fin de identificar los periodos más y menos críticos en el norte y centro de Suramérica. Conjuntamente se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis con el fin de estimar si existía una diferencia significativa entre los promedios mensuales y anuales de conteos diarios de incendios para ambas zonas de estudio. Así mismo, a partir de la información proveniente de MODIS se identificaron espacialmente los incendios cuyo poder radiativo [MW] se encontró por encima del percentil 90. Las zonas del norte y centro de Suramérica más críticas para la población debido a su alto poder radiativo se identificaron paquetes de R: raster, rgdal, rgeos, stringr, sf, tidyverse, RColorBrewer, cowplot, ggpubr, ggspatial, rnaturalearth, rnaturalearthdata, ggplot2.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- **Análisis espacial de los incendios del norte de Suramérica**

Mendez Espinosa et al.,(2019) afirma "Durante el periodo 2009-2019, el NSA fue principalmente afectado por los incendios provenientes de la cuenca del Orinoco Colombo-Venezolano y del caribe Colombiano (ambas llanuras), en concordancia con lo obtenido por Anaya (2009) en su estudio para Colombia entre el 2001 y el 2006 en el que establece que los incendios fueron la mayor fuente de gases efecto invernadero en el país. Este impacto se generó

principalmente durante los primeros meses del año. Durante estos meses, se presentó una disminución en la precipitación debido al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hacia la zona sur". Mendez Espinosa et al. (2020) afirma "Los incendios del NSA presentaron un poder radiativo con una mediana de 34,5 MW (1er cuartil: 20,7 MW; 3er cuartil: 64,2 MW) y valores máximos de hasta 3859,4 MW. La distribución de los incendios con un poder radiativo por encima del percentil 90 (> 118,9 MW) se muestra en la Figura 2. Su ubicación y poder radiativo preocupa ya que se ha relacionado con la mala calidad del aire en zonas circundantes".

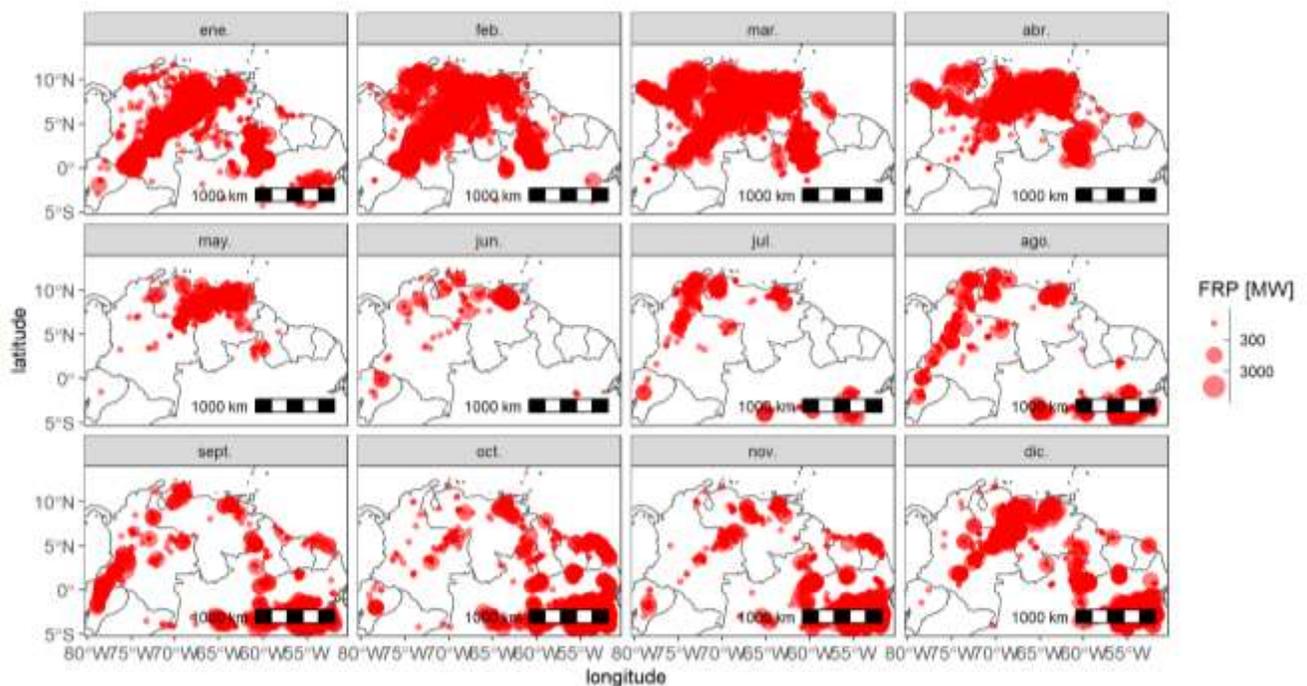


Figura 2. Distribución mensual de los incendios del norte de Suramérica con un poder radiativo [MW] por encima del percentil 90 (> 118,9 MW) entre 2009 y 2019. **Fuente:** autora

A diferencia del NSA, los incendios del CSA durante el periodo 2009-2019 se ubicaron en más del 90% de la cuenca del Amazonas,

principalmente durante julio, agosto y septiembre, lo que sugiere su extenso impacto sobre la flora y fauna. Durante estos

meses, Brasil, Perú, Bolivia, y Paraguay registran presencia de incendios en diferentes zonas de su territorio. Sin embargo, se presenta un impacto recurrente y espacialmente significativo en Paraguay y Brasil (Figura 3). Los incendios del CSA presentaron un poder radiativo con una mediana de 44 MW (1er cuartil: 24,5 MW; 3er cuartil: 89,4 MW) y valores máximos de

hasta 13294,5 MW. La distribución de los incendios con un poder radiativo por encima del percentil 90 ($> 179,5$ MW) se muestra en la Figura 3. Así las cosas, los incendios del CSA no solo tuvieron una mayor extensión de impacto en comparación al NSA, también tuvieron un mayor poder de destrucción debido a su alto poder radiativo.

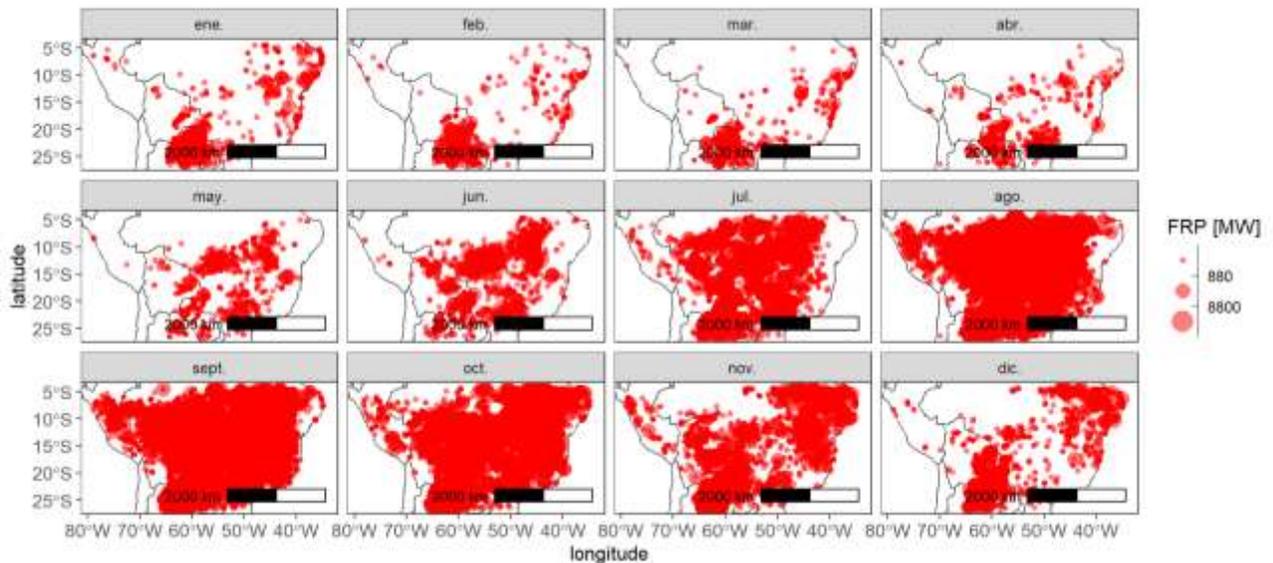


Figura 3. Distribución mensual de los incendios del centro de Suramérica con un poder radiativo [MW] por encima del percentil 90 ($> 179,5$ MW) entre 2009 y 2019. **Fuente:** autora

- **Análisis temporal de los incendios del norte de Suramérica**

En el NSA, durante el 2009-2019 el conteo diario de incendios presenta una mediana de 61 incendios/día (1er cuartil: 27; 3er cuartil: 130) y valores máximos de hasta 1460 incendios/día. El promedio de 106,4 incendios/día sugiere una mayor concentración de días con gran número de incendios (> 61). Por otro lado, en el CSA, durante el 2009-2019 el conteo diario de incendios presenta una mediana con 83 incendios/día más que el NSA (1er cuartil: 57; 3er cuartil: 501) y valores máximos de

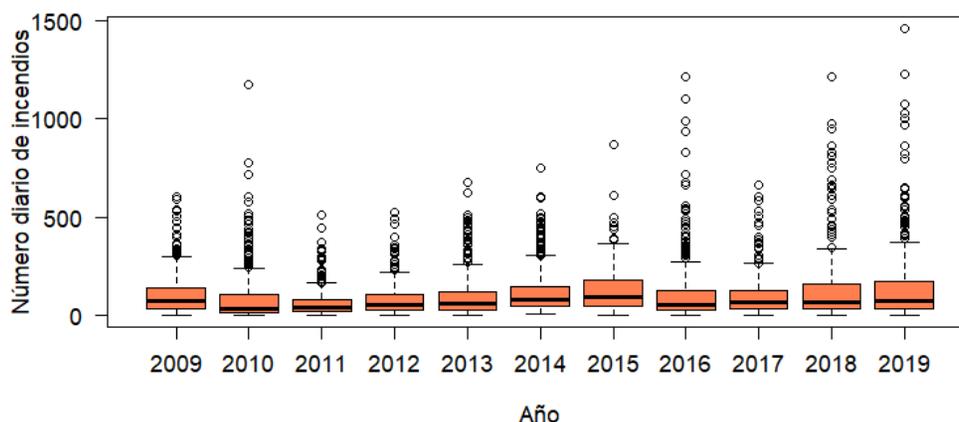
hasta 7579 incendios/día (6119 incendios/día más que en el NSA). El promedio de 487,6 incendios/día sugiere una mayor concentración de días con gran número de incendios (> 144).

Los resultados anuales del conteo diario de incendios entre 2009-2019 muestran que el CSA pudo llegar a presentar ~ 5000 incendios más que el NSA. Ambas zonas presentaron altas anomalías durante el 2010 y 2019 (Figura 4). Sin embargo, a pesar de estar en una misma región (Latinoamérica) presentan un comportamiento diferenciado.

En el NSA se presume una tendencia creciente alta en el número diario de incendios, mientras que en el CSA la tendencia ascendente es menos pronunciada. A nivel mensual (Figura 5), el NSA se ve principalmente impactado durante los primeros cuatro meses del año, mientras que

el CSA presenta un incremento en más del 100% entre julio y noviembre en comparación con los demás meses. Al comparar los grupos a nivel anual y mensual para cada zona según la prueba de Kruskal-Wallis se obtuvo una diferencia significativa en todos los casos (valor-p < 1%).

(a.) NSA



(b.) CSA

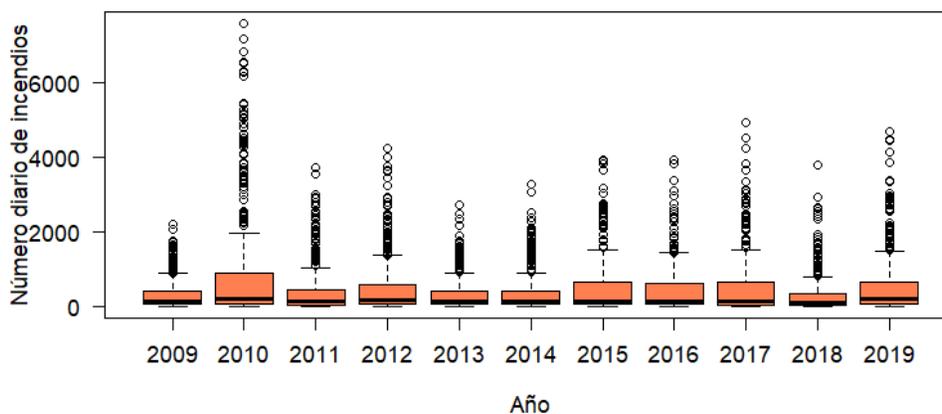


Figura 4. Diagrama anual de caja y bigotes asociado al conteo diario de incendios en el (a.) norte de Suramerica y (b.) centro de Suramerica durante 2009-2019. **Fuente:** autora

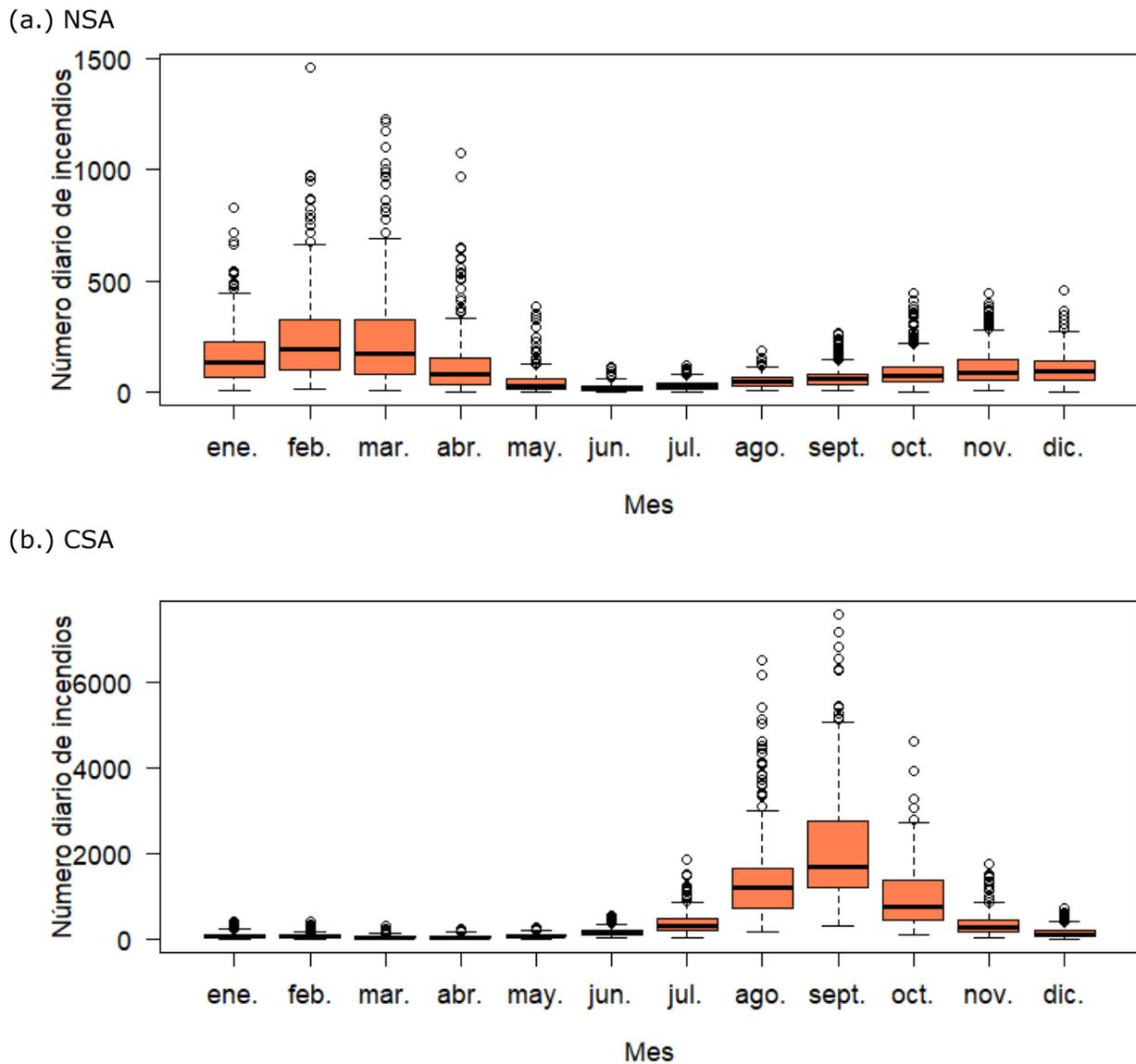


Figura 5. Diagrama multimensual de caja y bigotes asociado al conteo diario de incendios en el (a.) norte de Suramérica y (b.) centro de Suramérica durante 2009-2019. **Fuente:** autora

La comparación de los resultados obtenidos en esta investigación con los resultados obtenidos por Armenteras en su estudio "Caracterización de las interacciones del patrón espacial del fuego con el clima y la vegetación en Colombia" evidencia que también la mayor incidencia fue en el año 2003 donde el número de incendios incremento generando un impacto en más de

1.000.000 hectáreas. Así mismo, se evidenció una semejanza con el incremento después del año 2010 respecto a la cantidad de hectáreas afectadas e incendios provocados.

Al comparar los resultados de la presente investigación con el artículo científico "Dinámica e impulsores de la deforestación en diferentes tipos de bosques en América

Latina: tres décadas de estudios (1980-2010)” por Armenteras se constató las pérdidas en biodiversidad por incendios generados en los países del NSA. Conjuntamente se identificó que la deforestación y los incendios forestales incrementaron anualmente, especialmente por influencia antrópica.

En la investigación “Dinámica del paisaje en la Amazonía noroccidental: una evaluación de pastos, incendios y cultivos ilícitos como impulsores de la deforestación tropical” de Armenteras, se infirió que durante 2009 (primer año de estudio en esta investigación) el noroeste de la Amazonia colombiana presentó un desequilibrio en sus ecosistemas debido a la intencionalidad del uso del fuego. Se estimó un aumento anual del 0,06% en la deforestación en la que la quema fue uno de los factores principales durante el periodo comprendido entre 2000 y 2009. En la presente investigación no se encontró una tendencia ascendente en el número de incendios diarios por encima del 1%, sin embargo, si se pudo evidenciar cambios anuales por posibles influencias de los fenómenos ENOS: el Niño y la Niña.

Los incendios forestales relacionados con las prácticas de tala y quema, tradicionalmente utilizados para la conversión de bosques en tierras agrícolas y pastizales, se han destacado como un factor importante que degrada y erosiona los bosques y altera su composición y estructura de acuerdo con las investigaciones realizadas por Armenteras en el 2013. A su vez, la tala de bosques también da como resultado la fragmentación del bosque, lo que aumenta el número de bordes de bosque y, por lo tanto, la alteración de las condiciones de humedad del sub-dosel, lo que a su vez aumenta la susceptibilidad de los fragmentos restantes al fuego

(Armenteras, 2013). Así las cosas, el uso del fuego para la limpieza y el manejo de la tierra son una de las principales amenazas para los bosques neotropicales y una de las fuentes más importantes de emisiones de contaminantes climáticos y atmosféricos.

4. CONCLUSIONES

Se identificó que en el NSA los focos de incendios aumentan en los primeros 3 meses de cada año; mientras que en el CSA se presenta entre Julio-noviembre.

El NSA es afectado por incendios de más de 3000 MW en la cuenca de la Orinoquia; mientras que el CSA es afectado en más de un 90% por incendios de más 8800 MW.

Los incendios del CSA no solo tuvieron una mayor extensión de impacto en comparación al NSA, también tuvieron un mayor poder de destrucción debido a su alto poder radiativo.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

López-Guevara B.: Investigación, escritura, borrador original, análisis de datos.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la NASA por la identificación de las anomalías térmicas, y a los creadores de R Project. Así mismo, agradece la asesoría y dirección del docente Juan Felipe Mendez Espinosa de la ECAPMA de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

REFERENCIAS

Alencar, A. C., Solorzano, L. A., & Nepstad, D. C. (2004). MODELADO DE INCENDIOS FORESTALES EN UN PAISAJE DEL AMAZÓNICO ORIENTAL. Ecological

Applications, 14(0), 139–149.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1890/01-6029>

Armenteras, D., Rodríguez, N., & Retana, J. (2013). Landscape Dynamics in Northwestern Amazonia: An Assessment of Pastures, Fire and Illicit Crops as Drivers of Tropical Deforestation. In Plos One (Vol. 8, Issue 0). <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054310>

Francois, J. (2011). Aplicaciones del sensor MODIS - CIGA-UNAM.

Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., Sampaio de Oliveira, G., Oliveira, R. de, Camargo, H., Alves, L. M., & Foster Brown, I. (2008). The Drought of Amazonia in 2005. AMS, 21(0), 495–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>

Mendez Espinosa, J. F., Belalcazar, L. C., & Morales, B. (2019). Regional air quality impact of northern South America biomass burning emission. Sciencedirect, 203(0), 131–140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.01.042>

Mendez Espinosa, J. F., Rojas, N. Y., Vargas, J., Pachón, J. E., Belalcazar, L. C., & Ramírez, O. (2020). Air quality variations in Northern South America during the COVID-19 lockdown. Sciencedirect, 749(0). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141621>

Morton, D. C., Defries, R. S., Randerson, J. T., Giglio, L., Schroeder, W., & Van Der Werf, G. R. (2008). Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. Wiley Online Library, 14(0), Pages 2262-2275.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01652.x>

Müller, D., Suess, S., Hoffmann, A. A., & Buchholz, G. (2013). The Value of Satellite-Based Active Fire Data for Monitoring, Reporting and Verification of REDD+ in the Lao PDR. Springer King, 7–13.

<https://doi.org/10.1007 / s10745-013-9565-0>

Parr, C. L., & Chown, S. L. (2003). Burning issues for conservation: A critique of faunal fire research in Southern Africa. Austral Ecology, 28(0), 384–395.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01296.x>

Pimm, S. L., Russell, G. J., Gittleman, J. L., & Brooks, T. M. (1995). The Future of Biodiversity. Science, 269(0), 347–350.

<https://doi.org/10.1126/science.269.5222.347>

Ray, D., Nepstad, D., & Moutinho, P. (2005). MICROMETEOROLOGICAL AND CANOPY CONTROLS OF FIRE SUSCEPTIBILITY IN A FORESTED AMAZON LANDSCAPE. Ecological Applications, 15(0), 1664–1678.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1890/05-0404>



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.