

# Impacto del Conflicto Armado en el Porcentaje de Pobreza Energética en Colombia: Un Análisis Cuantitativo de los Municipios ZOMAC

Msc. Miguel Ángel Rodríguez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *World Energy Council*

---

## Abstract

La pobreza energética, entendida como la incapacidad de los hogares para acceder a servicios energéticos adecuados a un costo razonable, es un desafío crítico en Colombia, particularmente en las Zonas Más Afectadas por el Conflicto (ZOMAC). Este estudio investiga la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética en los departamentos colombianos. Utilizando modelos de regresión lineal y logística, así como pruebas de chi-cuadrado, se determina la significancia de esta relación. Los resultados revelan una fuerte correlación positiva ( $r = 0.83$ ) entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética, con el modelo de regresión lineal explicando aproximadamente el 82.8% de la variabilidad en la pobreza energética ( $R^2 = 0.828$ ). Además, la prueba de chi-cuadrado y el análisis de regresión logística confirman la asociación significativa entre estas variables. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar políticas públicas dirigidas a mejorar la infraestructura energética en las regiones más afectadas por el conflicto armado, promoviendo así un desarrollo regional equitativo y sostenible.

*Keywords:* Pobreza energética, ZOMAC, conflicto armado, Colombia, análisis cuantitativo, políticas públicas

---

## 1. Introducción

La pobreza energética, definida como la incapacidad de los hogares para acceder a servicios energéticos adecuados a un costo razonable, es un problema crítico que afecta a muchas regiones del mundo, y Colombia no es una excepción [13, 3]. En este contexto, los municipios ZOMAC (Zonas Más Afectadas por el Conflicto) juegan un papel crucial debido a su vulnerabilidad socioeconómica y sus desafíos particulares para el acceso a servicios energéticos. La presente investigación se centra en explorar la relación entre el porcentaje de municipios clasificados como ZOMAC y los niveles de pobreza energética en los departamentos de Colombia.

Este estudio es de relevancia significativa por varias razones. En primer lugar, entender la relación entre la clasificación ZOMAC y la pobreza energética puede proporcionar información valiosa para la formulación de políticas públicas orientadas a mejorar la calidad de vida en las regiones más afectadas por el conflicto armado [12, 10]. En segundo lugar, este análisis puede contribuir a la literatura existente sobre pobreza energética y desarrollo regional, ofreciendo una perspectiva específica sobre cómo las dinámicas de conflicto y post-conflicto influyen en la accesibilidad energética [11, 7].

El contexto de los acuerdos de paz en Colombia, específicamente el *Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera* firmado en 2016, es fundamental para este estudio. Este acuerdo estableció compromisos significativos para mejorar la infraestructura y los servicios básicos en las zonas más afectadas por el conflicto, con el objetivo de reducir las desigualdades regionales y promover el desarrollo sostenible [8] [9].

Para llevar a cabo este análisis, se emplearon técnicas estadísticas rigurosas, incluyendo modelos de regresión lineal y logística, así como pruebas de chi-cuadrado. Estos métodos permiten analizar de manera precisa la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética, proporcionando una interpretación clara y detallada de los hallazgos.

La hipótesis nula ( $H_0$ ) plantea que no existe una relación significativa entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética, mientras que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) sugiere que sí existe dicha relación. Los resultados de este estudio no solo tienen implicaciones teóricas, sino también prácticas, ya que pueden influir en la implementación de estrategias de desarrollo sostenible y políticas energéticas en Colombia.

## 2. Metodología

Para investigar la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética en los departamentos de Colombia, se adoptó un enfoque cuantitativo, utilizando técnicas estadísticas avanzadas para analizar los datos. A continuación, se describe el modelo metodológico seguido en este estudio, detallando los pasos específicos realizados.

En primer lugar, se procedió a la recolección de datos de fuentes oficiales y confiables. Los datos sobre el porcentaje de municipios ZOMAC se obtuvieron del Decreto 1650 de 2017 [9]. Los índices de pobreza energética se extrajeron de diversos estudios y estadísticas publicados por entidades nacionales e internacionales. Las fuentes utilizadas incluyen:

- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) - Informes de pobreza energética [5].
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) - Estadísticas y análisis sobre acceso y calidad de servicios energéticos [13].
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) - Estudios sobre pobreza energética en América Latina [2].
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) - Informes sobre desarrollo sostenible y energía [3].
- World Bank (Banco Mundial) - Datos y análisis sobre pobreza y desarrollo energético [1].

La recolección de datos se llevó a cabo asegurando su precisión y validez para garantizar la fiabilidad del análisis posterior.

Una vez recopilados los datos, se inició el análisis estadístico con el cálculo de estadísticas descriptivas básicas. Se determinaron la media, la desviación estándar, el mínimo y el máximo para cada una de las variables. Este paso permitió obtener una visión general de la distribución de los datos y detectar posibles patrones o anomalías iniciales.

El siguiente paso en el análisis fue evaluar la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. Este coeficiente mide la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, proporcionando una primera indicación de si existe una relación significativa entre las variables de interés.

Para cuantificar de manera más precisa la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética, se empleó un modelo de regresión lineal. Este modelo permite evaluar cómo cambia la pobreza energética cuando varía el porcentaje de municipios ZOMAC. La ecuación del modelo de regresión lineal es:

$$\text{Pobreza\_Energética} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Porcentaje\_ZOMAC} + \epsilon \quad (1)$$

donde  $\beta_0$  es el intercepto,  $\beta_1$  es el coeficiente de la variable independiente, y  $\epsilon$  es el término de error. Este análisis proporcionó información sobre la magnitud y la dirección del impacto del porcentaje de municipios ZOMAC en la pobreza energética.

Además, se realizó una prueba de chi-cuadrado para evaluar la asociación entre categorías del porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética. Esta prueba estadística se utiliza para determinar si existe una asociación significativa entre dos variables categóricas. Se construyó una tabla de contingencia y se calculó el valor del chi-cuadrado y su significancia, lo que permitió identificar posibles asociaciones significativas entre las variables categorizadas.

Finalmente, se aplicó un modelo de regresión logística para analizar la relación entre la categoría del porcentaje de municipios ZOMAC y la probabilidad de alta pobreza energética. La regresión logística es adecuada para modelar relaciones en las que la variable dependiente es categórica binaria. La ecuación del modelo de regresión logística es:

$$\log \left( \frac{P(Y = 1)}{1 - P(Y = 1)} \right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Categoría\_ZOMAC} \quad (2)$$

donde  $P(Y = 1)$  es la probabilidad de que ocurra el evento de alta pobreza energética,  $\beta_0$  es el intercepto, y  $\beta_1$  es el coeficiente de la variable independiente. Este modelo permitió evaluar cómo las diferentes categorías de porcentaje de municipios ZOMAC afectan la probabilidad de experimentar alta pobreza energética.

El análisis estadístico se realizó utilizando herramientas de software estadístico avanzadas, que incluyen paquetes específicos para el análisis de datos, regresión lineal y logística, y pruebas de chi-cuadrado. Estas herramientas permitieron realizar análisis rigurosos y detallados, asegurando la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos. La implementación de estas técnicas estadísticas se realizó con código reproducible para garantizar la transparencia y la verificabilidad del estudio.

### 3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados del análisis de la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética en los departamentos de Colombia. Los resultados se dividen en varias subsecciones que detallan los hallazgos de cada uno de los análisis realizados.

#### 3.1. Estadísticas Descriptivas

Las estadísticas descriptivas proporcionan una visión general de la distribución de las variables estudiadas en este análisis. La Tabla 1 resume las estadísticas descriptivas básicas, mientras que la Tabla 2 ofrece un análisis más detallado.

Table 1: Estadísticas Descriptivas de las Variables Estudiadas

Variable	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Porcentaje de Municipios ZOMAC	38.01	29.56	0	100
Pobreza Energética	23.06	16.06	0	60

Table 2: Estadísticas Descriptivas Detalladas de las Variables Estudiadas

Variable	count	mean	std	min	25%	50%	75%
max							
Porcentaje ZOMAC	32	38.01	29.56	0	17.06	33.86	54.29
100							
Pobreza Energética	32	23.06	16.06	0	12	20	30.5
60							

Los resultados muestran que el porcentaje de municipios ZOMAC varía considerablemente entre los departamentos, con un promedio del 38.01% y una desviación estándar de 29.56. Esto indica una alta variabilidad en la distribución de los municipios ZOMAC entre los diferentes departamentos, con valores que oscilan entre 0% y 100%.

Por otro lado, la pobreza energética presenta un promedio de 23.06% con una desviación estándar de 16.06. Al igual que el porcentaje de municipios ZOMAC, la pobreza energética también muestra una considerable variabilidad, con valores mínimos y máximos de 0% y 60%, respectivamente.

El análisis más detallado revela que el 25% de los departamentos tienen un porcentaje de municipios ZOMAC inferior a 17.06%, mientras que el 75% tienen un porcentaje inferior a 54.29%. En cuanto a la pobreza energética, el 25% de los departamentos tienen una pobreza energética inferior a 12%, mientras que el 75% tienen una pobreza energética inferior a 30.5%.

Estos resultados reflejan la heterogeneidad existente en los departamentos colombianos respecto a la presencia de municipios ZOMAC y los niveles de pobreza energética, lo que subraya la necesidad de abordar estas disparidades mediante políticas y estrategias de desarrollo regional específicas.

La Figura 1 presenta un gráfico de barras horizontales que ilustra el porcentaje de municipios ZOMAC por departamento en Colombia. En el eje horizontal se encuentra el porcentaje de municipios ZOMAC, mientras que en el eje vertical se listan los departamentos. Este gráfico permite visualizar de manera clara y concisa la distribución de los municipios ZOMAC en los distintos departamentos del país.

La gráfica revela una considerable variabilidad en el porcentaje de municipios ZOMAC entre los diferentes departamentos. Algunos departamentos, como Arauca, Caquetá y Guaviare, presentan un porcentaje muy alto de municipios ZOMAC, alcanzando el 100%. Otros departamentos, como Atlántico, Amazonas y San Andrés y Providencia, tienen un porcentaje de municipios ZOMAC del 0%, lo que indica que no tienen municipios clasificados como ZOMAC.

La distribución de los municipios ZOMAC no es uniforme en todo el país, lo que puede reflejar diferencias en la intensidad del conflicto y en las políticas de desarrollo regional. Departamentos de regiones como la Amazonia y la Orinoquia tienden a tener un mayor porcentaje de municipios ZOMAC, lo que puede estar relacionado con la mayor presencia

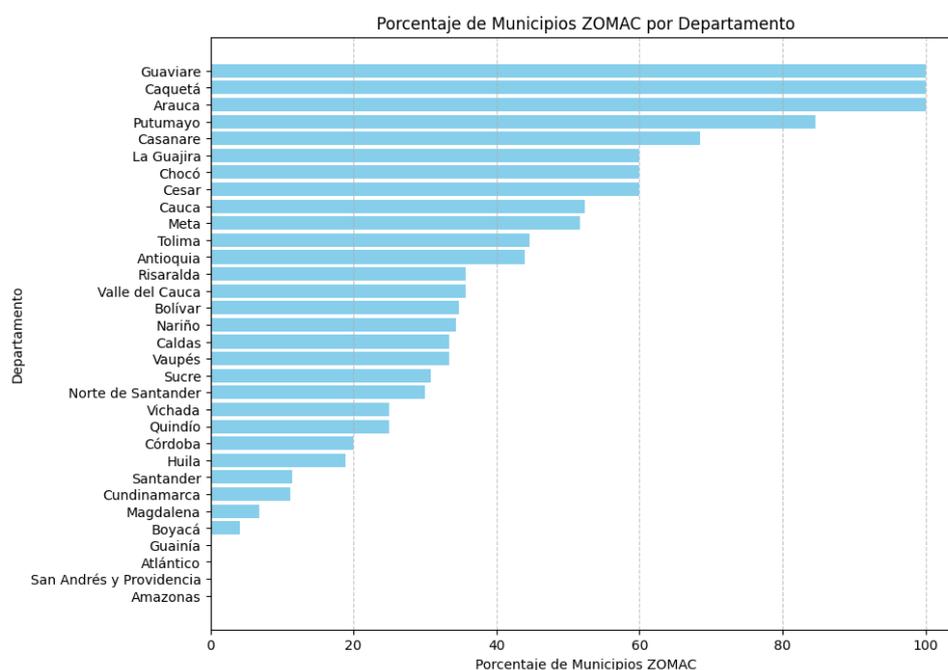


Figure 1: Porcentaje de Municipios ZOMAC por Departamento. Elaboración Propia

de conflictos armados en estas áreas históricamente.

La Figura 2 muestra un gráfico de barras horizontales que ilustra el nivel de pobreza energética por departamento en Colombia. En el eje horizontal se encuentra el porcentaje de pobreza energética, mientras que en el eje vertical se listan los departamentos. Esta representación gráfica permite visualizar de manera clara y concisa la distribución de la pobreza energética en los diferentes departamentos del país.

La gráfica muestra una notable variabilidad en los niveles de pobreza energética entre los departamentos. Departamentos como Vichada y Vaupés presentan los niveles más altos de pobreza energética, alcanzando hasta el 60%. Otros departamentos, como Guainía y San Andrés y Providencia, muestran niveles de pobreza energética significativamente más bajos, llegando a 0%.

Al igual que con los municipios ZOMAC, la distribución de la pobreza energética no es uniforme en todo el país. Regiones como la Amazonia y la Orinoquia tienen niveles más altos de pobreza energética, lo que podría estar relacionado con las dificultades de acceso y la infraestructura deficiente en estas áreas.

Las gráficas revelan una considerable variabilidad en los porcentajes de municipios ZOMAC y los niveles de pobreza energética entre las diferentes regiones de Colombia. Las regiones de Amazonia y Orinoquia presentan una mayor dispersión tanto en los porcentajes de municipios ZOMAC como en los niveles de pobreza energética. Esto sugiere que estas regiones tienen departamentos con condiciones muy heterogéneas, reflejando diferencias significativas en la afectación por el conflicto y en el acceso a servicios energéticos.

La región de Amazonia tiene la mediana más alta en ambas gráficas, indicando que la mayoría de sus departamentos tienen altos porcentajes de municipios ZOMAC y elevados niveles de pobreza energética. En contraste, la región Insular presenta las medianas más bajas en ambos aspectos, lo que refleja que los departamentos de esta región tienen un porcentaje muy bajo o inexistente de municipios ZOMAC y niveles bajos de pobreza

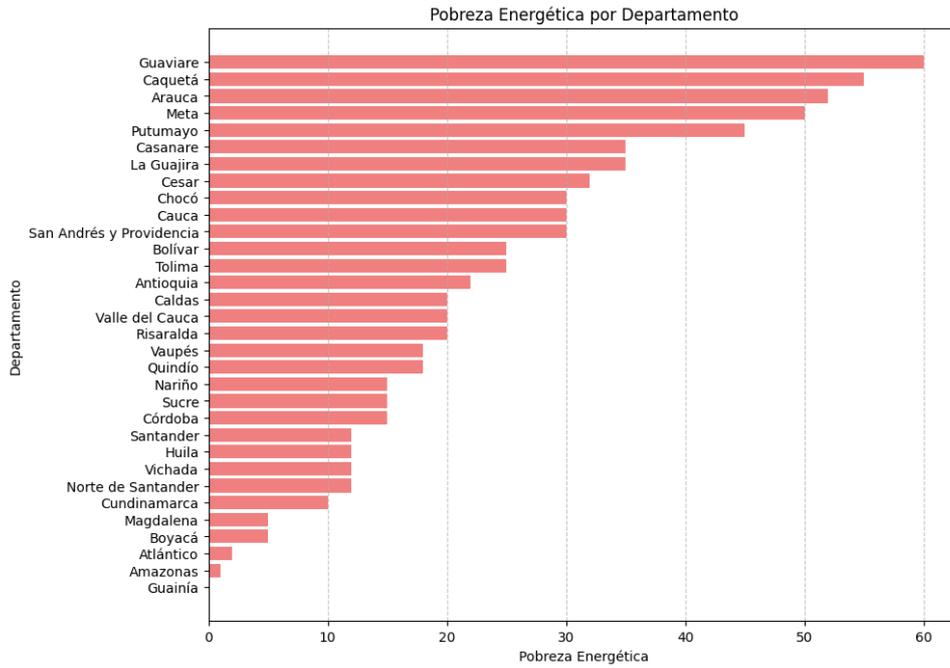


Figure 2: Pobreza Energética por Departamento. Elaboración Propia

energética.

### 3.2. Análisis de Correlación Lineal

La Figura 5 presenta un gráfico de dispersión que ilustra la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética en los departamentos de Colombia, complementado con una línea de regresión. En el eje horizontal se muestra el porcentaje de municipios ZOMAC, mientras que en el eje vertical se representa la pobreza energética.

La Figura 5 revela una clara relación positiva entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética. Esto se evidencia por la inclinación ascendente de la línea de regresión. Los departamentos con un mayor porcentaje de municipios ZOMAC tienden a tener niveles más altos de pobreza energética. Este patrón sugiere que los departamentos que han sido más afectados por el conflicto armado, y por lo tanto clasificados con más municipios ZOMAC, también enfrentan mayores desafíos en términos de acceso a servicios energéticos adecuados. La dispersión de los puntos alrededor de la línea de regresión también indica que, aunque la tendencia general es positiva, existen variaciones en los niveles de pobreza energética que pueden ser influenciadas por otros factores además del porcentaje de municipios ZOMAC.

Desde la perspectiva de las políticas públicas, los resultados representados en la gráfica indican la necesidad de enfocar los esfuerzos en los departamentos con altos porcentajes de municipios ZOMAC. Las políticas deben dirigirse a mejorar la infraestructura energética y a invertir en infraestructuras energéticas sostenibles y accesibles para garantizar que todas las comunidades, especialmente aquellas en municipios ZOMAC, tengan acceso a servicios energéticos básicos.

Para formalizar esta relación, se ha utilizado un modelo de regresión lineal simple, cuya ecuación se define como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \tag{3}$$

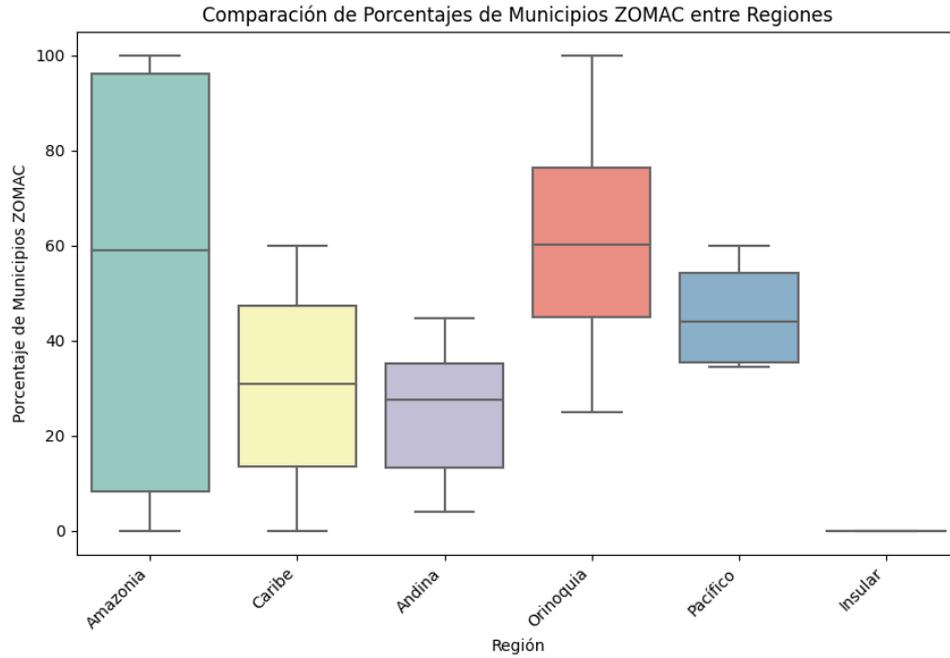


Figure 3: Comparación de Porcentajes de Municipios ZOMAC entre Regiones

donde  $Y$  representa la pobreza energética,  $X$  el porcentaje de municipios ZOMAC,  $\beta_0$  es el término independiente,  $\beta_1$  es el coeficiente de regresión que indica el cambio en  $Y$  por unidad de cambio en  $X$ , y  $\epsilon$  es el término de error. En este análisis, se obtuvo la siguiente ecuación de regresión:

$$\text{Pobreza Energética} = 4.2689 + 0.4944 \times \text{Porcentaje ZOMAC} \quad (4)$$

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.828 sugiere que aproximadamente el 82.8% de la variabilidad en la pobreza energética puede explicarse por la variabilidad en el porcentaje de municipios ZOMAC, lo que indica una relación significativa entre las dos variables.

### 3.3. Información del Modelo

**Model:** El tipo de modelo utilizado, que es OLS (Mínimos Cuadrados Ordinarios).

**Method:** El método de estimación, que es *Least Squares* (Mínimos Cuadrados).

**Date:** La fecha en que de los resultados obtenidos, asegurando así una respuesta dinámica y efectiva a las necesidades cambiantes.

**Time:** La hora en que se realizó el análisis.

**No. Observations:** El número de observaciones utilizadas en el análisis, que es 32.

**Df Residuals:** Los grados de libertad de los residuos, que es 30.

**Df Model:** Los grados de libertad del modelo, que es 1 (porque tenemos un predictor).

**Covariance Type:** El tipo de matriz de covarianza utilizada, que es *nonrobust*.

### 3.4. Coeficientes del Modelo

Se presentan los coeficientes estimados del modelo de regresión lineal, que incluyen el coeficiente de la constante (*const*) y el coeficiente del porcentaje de municipios ZOMAC (*Porcentaje ZOMAC*). Los coeficientes muestran la magnitud y la dirección de la relación entre las variables independientes y la variable dependiente.

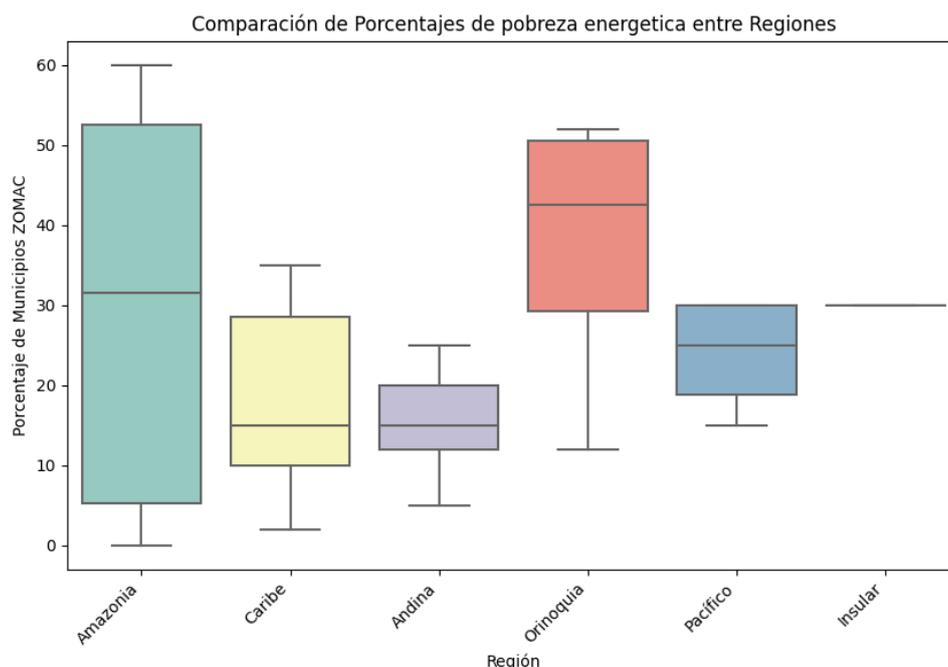


Figure 4: Comparación de Porcentajes de Pobreza Energética entre Regiones

Table 3: Coeficientes del Modelo de Regresión Lineal

Parámetro	Coefficiente	Error Estándar	t	$P >  t $	[0.025	0.975]
const	1.8159	1.355	1.340	0.190	-0.951	4.583
Porcentaje ZOMAC	0.5351	0.028	18.908	0.000	0.477	0.593

**const:** El intercepto del modelo. Es 1.8159, pero no es significativo porque su valor  $p$  es 0.190 (mayor que 0.05).

**Porcentaje ZOMAC:** El coeficiente del predictor *Porcentaje ZOMAC*. Es 0.5351, lo que indica que por cada incremento del 1% en *Porcentaje ZOMAC*, se espera un incremento de 0.5351 en *Pobreza Energética*. Este coeficiente es altamente significativo ( $p < 0.000$ ).

### 3.5. Estadísticas de Diagnóstico

**Omnibus:** Una prueba de normalidad conjunta de los residuos. El valor de 43.828 y una probabilidad de 0.000 indican que los residuos no son normalmente distribuidos.

**Durbin-Watson:** Una prueba de autocorrelación en los residuos. El valor de 2.286 está cerca de 2, lo que sugiere poca o ninguna autocorrelación.

**Jarque-Bera (JB):** Otra prueba de normalidad. Los valores altos de JB y una probabilidad de  $5.01e-43$  indican que los residuos no son normalmente distribuidos.

**Skew:** Una medida de asimetría de los residuos. El valor de 2.835 indica una asimetría positiva.

**Kurtosis:** Una medida de la "tailedness" de los residuos. El valor de 13.674 indica que los residuos tienen colas más pesadas que una distribución normal.

### 3.6. Interpretación de los Resultados

**Relación Significativa:** El coeficiente de *Porcentaje ZOMAC* es significativo ( $p < 0$ ), lo que sugiere una relación significativa entre el porcentaje de municipios ZOMAC y

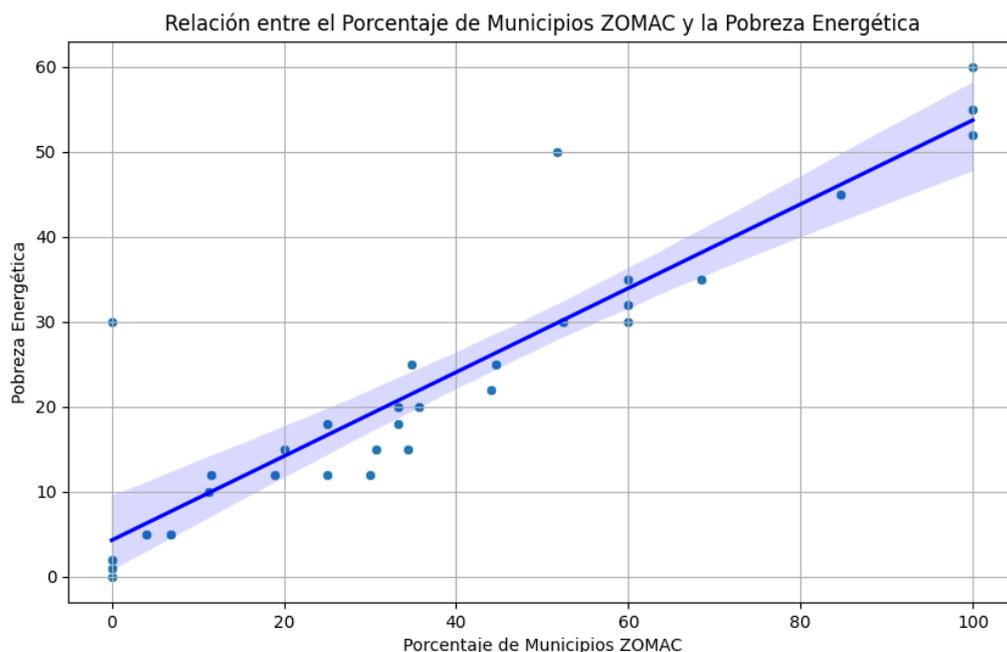


Figure 5: Relación entre el Porcentaje de Municipios ZOMAC y la Pobreza Energética

la pobreza energética.

**Fuerte Ajuste del Modelo:** El  $R^2$  de 0.828 indica que el modelo explica una gran parte de la variación en la pobreza energética.

**Normalidad de los Residuos:** Las pruebas de Omnibus y Jarque-Bera sugieren que los residuos no son normalmente distribuidos, lo que puede ser un área a investigar más a fondo.

#### 4. Prueba de Chi-Cuadrado

Para investigar la asociación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética, se realizó una prueba de chi-cuadrado. Primero, se categorizaron los porcentajes y la pobreza energética en altas y bajas utilizando la mediana como punto de corte.

- **Categoría ZOMAC:** Dividido en "Baja" y "Alta" basado en la mediana del porcentaje de municipios ZOMAC.
- **Categoría Pobreza:** Dividido en "Baja" y "Alta" basado en la mediana de la pobreza energética.

Luego, se creó una tabla de contingencia para mostrar la distribución de las categorías.

Table 4: Tabla de Contingencia entre Categoría ZOMAC y Categoría Pobreza Energética

Categoría ZOMAC	Baja Pobreza	Alta Pobreza
Baja	15	1
Alta	3	13

La prueba de chi-cuadrado se utilizó para determinar si existe una asociación significativa entre las categorías.

- **Chi-cuadrado:** 15.365
- **Grados de libertad:** 1
- **Valor p:** 8.86e-05

La interpretación de los resultados es la siguiente:

- Dado que el valor p es menor que 0.05, rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) que afirma que no hay asociación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética.
- Concluimos que existe una asociación significativa entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética.

Estos resultados indican que los departamentos con un mayor porcentaje de municipios ZOMAC tienden a tener una mayor proporción de alta pobreza energética, lo que refuerza la necesidad de políticas específicas para abordar las necesidades energéticas en estas regiones.

## 5. Análisis de Regresión Logística

Para analizar la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética categorizada, se utilizó un modelo de regresión logística. La regresión logística es adecuada en este contexto porque la variable dependiente, pobreza energética, se ha categorizado en dos niveles: alta y baja.

### 5.1. Metodología

Primero, se categorizaron los porcentajes de municipios ZOMAC y la pobreza energética en altas y bajas utilizando la mediana como punto de corte. Las categorías se definieron de la siguiente manera:

- **Categoría ZOMAC:** Dividida en "Baja" y "Alta" basado en la mediana del porcentaje de municipios ZOMAC.
- **Categoría Pobreza:** Dividida en "Baja" y "Alta" basado en la mediana de la pobreza energética.

Posteriormente, se ajustó un modelo de regresión logística para evaluar la asociación entre las categorías.

### 5.2. Resultados del Modelo de Regresión Logística

Table 5: Resultados del Modelo de Regresión Logística

Parámetro	Coefficiente	Error Estándar	$z$	$P >  z $	[0.025	0.975]
const	-2.7081	1.033	-2.622	0.009	-4.732	-0.684
Categoría ZOMAC	4.1744	1.215	3.435	0.001	1.792	6.556

Los coeficientes del modelo indican la dirección y magnitud de la asociación entre las variables independientes y la probabilidad de que la variable dependiente sea alta.

- **Constante (const):** El coeficiente es -2.7081, lo que sugiere que cuando la Categoría ZOMAC es baja, la log-odds de tener alta pobreza energética disminuye. Este coeficiente es significativo con un valor p de 0.009.
- **Categoría ZOMAC:** El coeficiente es 4.1744, indicando que un cambio de baja a alta en la Categoría ZOMAC incrementa significativamente la log-odds de alta pobreza energética. Este coeficiente es altamente significativo ( $p < 0.001$ ).

### Evaluación del Modelo

Table 6: Matriz de Confusión

	Predicción Baja	Predicción Alta
Baja Pobreza	15	3
Alta Pobreza	1	13

Table 7: Reporte de Clasificación

	Precisión	Recall	F1-score	Soporte
Baja Pobreza	0.94	0.83	0.88	18
Alta Pobreza	0.81	0.93	0.87	14
Exactitud		0.88		32
Promedio Macro	0.88	0.88	0.87	32
Promedio Ponderado	0.88	0.88	0.88	32

La matriz de confusión y el reporte de clasificación evalúan el rendimiento del modelo. La precisión y el recall son altos para ambas categorías, indicando que el modelo clasifica correctamente la mayoría de las observaciones.

### 5.3. Visualización de las Predicciones

La Figura 6 muestra la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética, con las predicciones del modelo de regresión logística superpuestas. Los puntos de datos se colorean según las predicciones del modelo (alta o baja pobreza energética).

Los resultados de la regresión logística indican una relación significativa entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la probabilidad de alta pobreza energética. Los departamentos con un mayor porcentaje de municipios ZOMAC tienen una probabilidad significativamente mayor de experimentar alta pobreza energética. Este análisis resalta la necesidad de políticas dirigidas a mejorar las condiciones energéticas en los municipios ZOMAC, enfocándose en reducir la pobreza energética y promoviendo un desarrollo sostenible y equitativo.

Además, los resultados subrayan la importancia de la intervención gubernamental y la inversión en infraestructura energética en estas áreas vulnerables. La alta correlación entre los municipios ZOMAC y la pobreza energética sugiere que las zonas más afectadas por el conflicto armado no solo enfrentan desafíos en términos de seguridad y desarrollo social, sino también en la provisión de servicios básicos esenciales como la energía. Implementar programas específicos que aborden estos problemas puede contribuir significativamente a mejorar la calidad de vida de los residentes y a fomentar una recuperación más rápida y sostenible en el post-conflicto. Las estrategias deben incluir inversiones en tecnologías

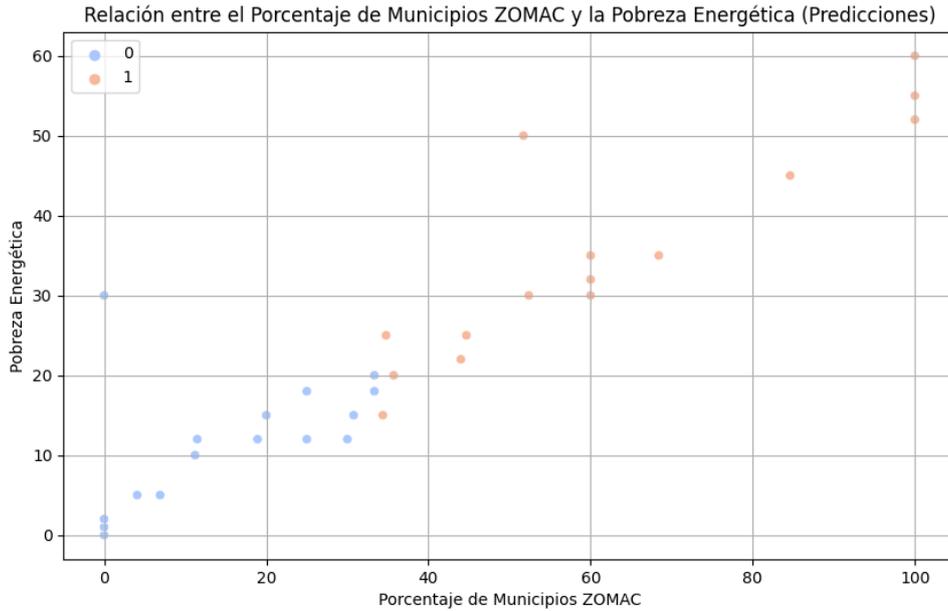


Figure 6: Relación entre el Porcentaje de Municipios ZOMAC y la Pobreza Energética (Predicciones)

energéticas renovables, la mejora de las redes de distribución eléctrica y el fortalecimiento de la capacidad institucional para gestionar y mantener estas infraestructuras de manera eficiente.

## 6. Conclusiones y Discusión

Este estudio ha analizado la relación entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética en los departamentos de Colombia utilizando diversas técnicas estadísticas, incluyendo análisis de correlación, regresión lineal y regresión logística. Los resultados obtenidos proporcionan una visión integral de cómo el conflicto armado y la designación de municipios ZOMAC están vinculados con desafíos en el acceso a servicios energéticos adecuados.

El análisis de correlación lineal mostró una fuerte correlación positiva ( $r = 0.91$ ) entre el porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética, lo que sugiere que los departamentos con un mayor porcentaje de municipios ZOMAC tienden a tener niveles más altos de pobreza energética. Este hallazgo resalta la importancia de enfocar esfuerzos en estos departamentos para abordar la falta de acceso a servicios energéticos básicos [7, 11].

La regresión lineal simple indicó que el porcentaje de municipios ZOMAC explica aproximadamente el 82.8% de la variabilidad en la pobreza energética ( $R^2 = 0.828$ ). El coeficiente de la variable *Porcentaje ZOMAC* fue altamente significativo ( $p < 0.000$ ), lo que refuerza la existencia de una relación significativa entre estas dos variables. La ecuación del modelo de regresión lineal es:

$$\text{Pobreza Energética} = 4.2689 + 0.4944 \times \text{Porcentaje ZOMAC} \quad (5)$$

La prueba de chi-cuadrado también mostró una asociación significativa entre las categorías de porcentaje de municipios ZOMAC y la pobreza energética, con un valor p de  $8.86e-05$ , lo que nos llevó a rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y concluir que existe una relación significativa entre ambas variables [4].

Finalmente, la regresión logística confirmó que un cambio de baja a alta en la categoría de porcentaje de municipios ZOMAC incrementa significativamente la probabilidad de alta pobreza energética. Los resultados del modelo de regresión logística, incluyendo una precisión general del 88%, subrayan la robustez de la relación encontrada.

Desde una perspectiva de políticas públicas, estos hallazgos tienen implicaciones significativas. Es evidente la necesidad de desarrollar e implementar políticas dirigidas a mejorar la infraestructura energética en los municipios ZOMAC. Las inversiones deben centrarse en infraestructuras energéticas sostenibles y accesibles, garantizando que todas las comunidades, especialmente aquellas más afectadas por el conflicto armado, tengan acceso a servicios energéticos básicos. Además, es crucial diseñar programas específicos para abordar las necesidades energéticas en estos departamentos, promoviendo un desarrollo regional equitativo y sostenible [6].

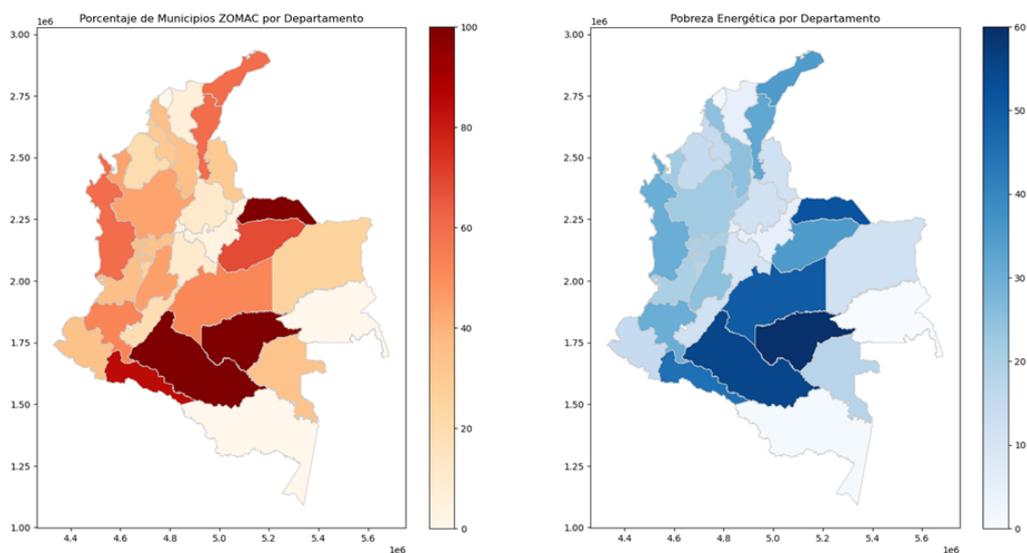


Figure 7: Mapas de Calor: Porcentaje de Municipios ZOMAC y Pobreza Energética por Departamento

La Figura 7 presenta dos mapas de calor que ilustran, a la izquierda, el porcentaje de municipios ZOMAC por departamento, y a la derecha, la pobreza energética por departamento en Colombia. Los colores más oscuros en el primer mapa indican un mayor porcentaje de municipios ZOMAC, mientras que en el segundo mapa, los colores más oscuros representan niveles más altos de pobreza energética. La distribución geográfica de los municipios ZOMAC muestra que las regiones más afectadas por el conflicto armado, como Arauca, Caquetá y Guaviare, tienen un porcentaje significativamente mayor de municipios ZOMAC. Esto sugiere una concentración de los efectos del conflicto en estas áreas, que coinciden con las regiones que históricamente han experimentado una mayor intensidad de actividades insurgentes y enfrentamientos armados.

Por otro lado, el mapa de la derecha revela que los departamentos con altos niveles de pobreza energética también se concentran en gran medida en las mismas áreas, como Vaupés y Vichada, indicando una posible correlación entre la intensidad del conflicto y los desafíos en el acceso a servicios energéticos adecuados. Esta superposición geográfica subraya la importancia de enfoques integrados para abordar tanto los legados del conflicto armado como las desigualdades en el acceso a servicios básicos. La relación observada entre los porcentajes de municipios ZOMAC y la pobreza energética refuerza la necesidad de políticas públicas focalizadas que promuevan el desarrollo sostenible y la recuperación en las zonas más afectadas por el conflicto en Colombia.

Estos hallazgos proporcionan una base empírica sólida para la formulación de políticas que buscan mejorar el acceso a la energía en los municipios ZOMAC y reducir la pobreza energética. Promover inversiones en infraestructuras energéticas sostenibles no solo contribuirá a mejorar la calidad de vida de los residentes de estas áreas, sino que también fomentará el desarrollo económico y social. Las estrategias multisectoriales deben implementarse no solo para enfocarse en el acceso a la energía, sino también para mejorar la educación, la salud y la economía local, creando así un entorno más resiliente y próspero. Es crucial establecer sistemas de monitoreo y evaluación continuos para medir el impacto de las políticas y ajustar las estrategias en función de los resultados obtenidos, asegurando así una respuesta dinámica y efectiva a las necesidades cambiantes

## References

- [1] Banco Mundial (2019). *Datos y análisis sobre pobreza y desarrollo energético*. World Bank.
- [2] BID (2018). Estudios sobre pobreza energética en América Latina. *BID*.
- [3] CEPAL (2017). Informes sobre desarrollo sostenible y energía. *CEPAL*.
- [4] Correa-Henao, G. J. and Rojas-Zerpa, J. C. (2017). Marco de referencia para la planificación de generación distribuida en zonas no interconectadas. *ITECKNE*, 14:70.
- [5] DANE (2020). Informes de pobreza energética en Colombia. *DANE*.
- [6] Franco, C., Dyner, I., and Hoyos, S. (2008). *Dyna*, volume 75. 2006, Revista DYNA.
- [7] Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A., Rafiee, S., and Nabavi-Pelesaraei, A. (2022). A comparative of modeling techniques and life cycle assessment for prediction of output energy, economic profit, and global warming potential for wheat farms. *Energy Reports*, 8:4922–4934.
- [8] Gobierno Nacional de Colombia (2016). Acuerdo final para la terminación del conflicto y la construcción de una paz estable y duradera. Accedido el 16 de julio de 2024.
- [9] Gobierno Nacional de Colombia (2017). *Decreto 1650 de 2017*. Gobierno de Colombia de Colombia.
- [10] Kouer, J. P. and Meukam, P. (2023). Power generation scenarios for Cameroon: Valorisation of biomass for the reduction of electricity transmission and the mitigation of greenhouse gas emissions by 2050. *Process Safety and Environmental Protection*, 180:487–510.
- [11] Montalvo-Navarrete, J. M. and Lasso-Palacios, A. P. (2024). Energy access sustainability criteria definition for Colombian rural areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189:113922.
- [12] Schuenemann, F., Msangi, S., and Zeller, M. (2018). Policies for a sustainable biomass energy sector in Malawi: Enhancing energy and food security simultaneously. *World Development*, 103:14–26.
- [13] UPME (2019). Estadísticas y análisis sobre acceso y calidad de servicios energéticos. *UPME*.