

# Análisis Espacial de Superficie Cultivada

Rosmery Luna Turpo

*Autocorrelación Espacial en la Agricultura Peruana*

Aplicación de Índices de Moran y Geary  
Identificación de Hotspots mediante LISA

**Encuesta Nacional Agropecuaria 2024**

*Análisis de 37,492 productores en 25 departamentos*

Superficie total analizada: **434,352 hectáreas**

15 de octubre de 2025

# Índice

<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>2</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Contexto . . . . .	3
1.2. Justificación . . . . .	3
<b>2. Metodología</b>	<b>4</b>
2.1. Datos . . . . .	4
2.2. Técnicas Aplicadas . . . . .	4
2.2.1. [1] Matrices de Pesos Espaciales . . . . .	4
2.2.2. [2] Índice I de Moran . . . . .	4
2.2.3. [3] Índice C de Geary . . . . .	4
2.2.4. [4] Análisis LISA (Hotspots) . . . . .	4
<b>3. Resultados</b>	<b>5</b>
3.1. [1] Matriz de Pesos Espaciales - K-Nearest Neighbors . . . . .	5
3.2. [2] Índice I de Moran - Autocorrelación Global . . . . .	6
3.3. [3] Índice C de Geary - Validación . . . . .	7
3.4. [4] Análisis Cartográfico - Superficie Total . . . . .	9
3.5. [4] Hotspots - Análisis LISA . . . . .	10
3.6. Significancia Estadística del LISA . . . . .	11
3.7. Índice LISA Local . . . . .	12
3.8. Correlograma Espacial . . . . .	12
<b>4. Discusión</b>	<b>14</b>
4.1. Interpretación Integrada . . . . .	14
4.1.1. 1. Existencia de Autocorrelación Espacial Positiva . . . . .	14
4.1.2. 2. Ucayali como Hotspot Agrícola . . . . .	14
4.1.3. 3. Autocorrelación Espacial Limitada . . . . .	14
4.2. Limitaciones del Estudio . . . . .	15
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>16</b>
<b>Referencias</b>	<b>17</b>
<b>A. Anexo A: Tabla de Resultados Estadísticos</b>	<b>18</b>
<b>B. Anexo B: Distribución de Clusters LISA</b>	<b>18</b>
<b>C. Anexo C: Departamento Hotspot - Ficha Técnica</b>	<b>19</b>
<b>D. Anexo D: Código R Utilizado</b>	<b>19</b>
<b>E. Anexo E: Glosario de Términos</b>	<b>21</b>
<b>Ficha Técnica del Estudio</b>	<b>22</b>
<b>Notas del Analista</b>	<b>23</b>

## Resumen Ejecutivo

Este documento presenta un análisis espacial exhaustivo de la superficie cultivada en el Perú, utilizando datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2024. Se aplicaron cuatro metodologías espaciales fundamentales para comprender los patrones de distribución agrícola:

- **Matrices de Pesos Espaciales:** K-Nearest Neighbors (k=5)
- **Índice I de Moran:** Medición de autocorrelación global
- **Índice C de Geary:** Validación de similitudes espaciales
- **Análisis LISA:** Identificación de hotspots locales

### Hallazgos Principales

#### Resumen de resultado:

Se identificó **autocorrelación espacial positiva significativa** (I de Moran = 0.1494,  $p < 0.05$ ), lo que indica que la agricultura intensiva en Perú **no es aleatoria**, sino que presenta patrones de concentración geográfica definidos.

El departamento de **UCAYALI** emerge como el único hotspot significativo (High-High), con 32,728 hectáreas cultivadas, formando un cluster de alta producción agrícola en la región centro-oriental del país.

# 1 Introducción

## 1.1 Contexto

La distribución espacial de la actividad agrícola es un factor crítico para la planificación de políticas públicas, la asignación de recursos y el desarrollo rural sostenible. En el Perú, un país caracterizado por su diversidad geográfica y climática, comprender los patrones espaciales de la agricultura es esencial para optimizar la producción y garantizar la seguridad alimentaria.

## 1.2 Justificación

El análisis espacial tiene los siguientes objetivos:

### Objetivos del Análisis

#### Objetivos Específicos:

1. Construir matrices de pesos espaciales mediante K-Nearest Neighbors
2. Calcular el Índice I de Moran para medir autocorrelación global
3. Validar resultados mediante el Índice C de Geary
4. Identificar hotspots locales utilizando análisis LISA

## 2 Metodología

### 2.1 Datos

**Fuente:** Encuesta Nacional Agropecuaria 2024 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

Cuadro 1: Características de los datos analizados

Variable	Valor
Productores analizados	37,492
Departamentos	25
Superficie total (ha)	434,352
Variable de análisis	Superficie cultivada
Sistema de coordenadas	WGS84 (EPSG:4326)

### 2.2 Técnicas Aplicadas

#### 2.2.1. [1] Matrices de Pesos Espaciales

Se utilizó el método **K-Nearest Neighbors (K-NN)** con  $k = 5$ , que define que cada departamento tiene exactamente 5 vecinos más cercanos geográficamente.

#### 2.2.2. [2] Índice I de Moran

Mide la autocorrelación espacial global.

#### 2.2.3. [3] Índice C de Geary

Medida alternativa de autocorrelación

#### 2.2.4. [4] Análisis LISA (Hotspots)

Identifica clusters locales mediante Moran Local. **Tipos de clusters:**

- **High-High (Hotspot):** Alta superficie rodeada de alta superficie
- **Low-Low (Coldspot):** Baja superficie rodeada de baja superficie
- **High-Low (Outlier):** Alta superficie rodeada de baja
- **Low-High (Outlier):** Baja superficie rodeada de alta

### 3 Resultados

#### 3.1 [1] Matriz de Pesos Espaciales - K-Nearest Neighbors

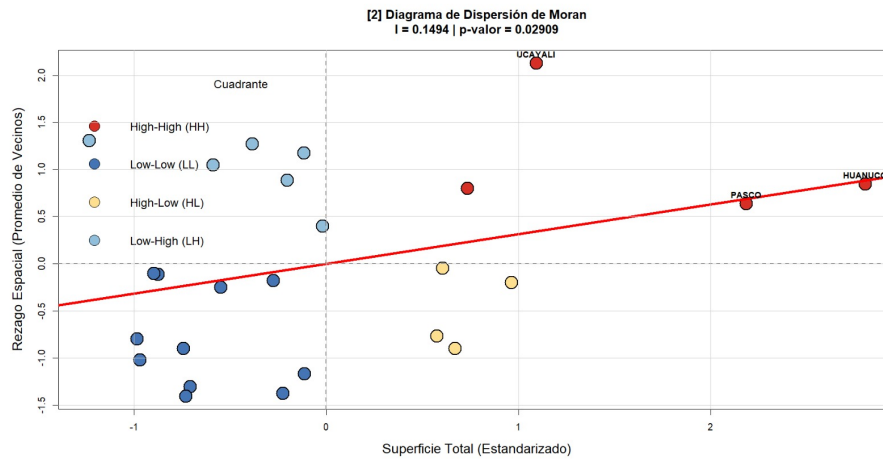


Figura 1: Matriz de Conectividad K-NN ( $k=5$ ). Cada punto azul representa un departamento, y las líneas rojas muestran las conexiones con sus 5 vecinos más cercanos.

#### Interpretación:

El gráfico revela la estructura de vecindad espacial utilizada en el análisis. Se observa una **red densa de conexiones** en la región central y sur del Perú, mientras que departamentos amazónicos como Loreto y Ucayali presentan conexiones más extensas debido a su mayor tamaño territorial.

### 3.2 [2] Índice I de Moran - Autocorrelación Global

[1] Matriz de Pesos Espaciales - K-Nearest Neighbors (k=5)

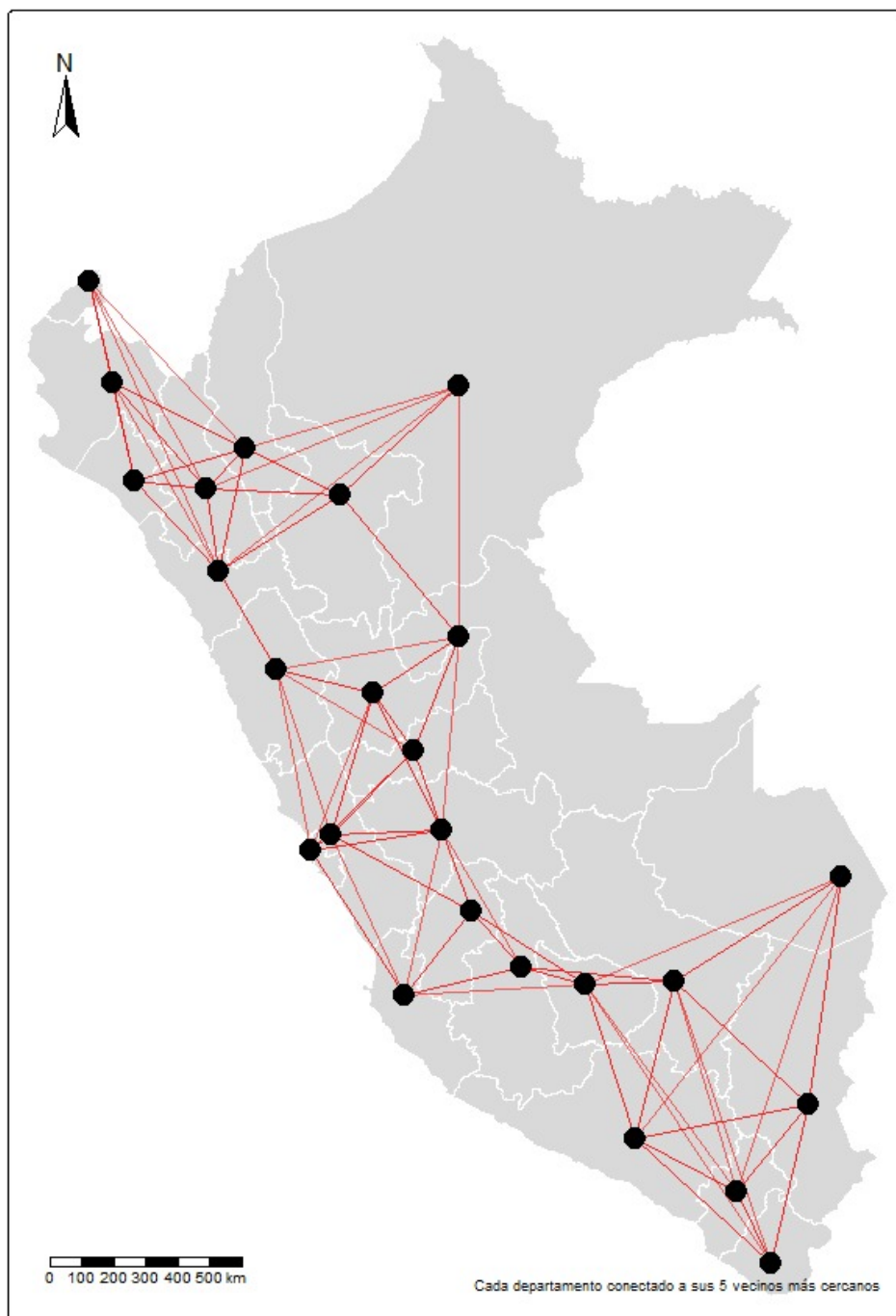


Figura 2: Diagrama de Dispersión de Moran. La línea roja representa la regresión lineal cuya pendiente corresponde al valor de I.

**Resultados Estadísticos:**

- I de Moran observado: 0.1494
- I de Moran esperado (aleatorio): -0.0417
- p-valor: 0.02909 → **SIGNIFICATIVO** ( $p < 0,05$ )

**Interpretación:**

El valor positivo y significativo de I de Moran ( $I = 0,1494$ ,  $p = 0,029$ ) indica que existe **autocorrelación espacial positiva**. Esto significa que departamentos con superficies cultivadas similares tienden a estar geográficamente próximos.

El diagrama muestra tres **outliers destacados**:

- **UCAYALI, HUÁNUCO y PASCO:** Se ubican en el cuadrante High-High, indicando alta superficie cultivada rodeada de departamentos con alta superficie (hots-pot potencial)

### 3.3 [3] Índice C de Geary - Validación

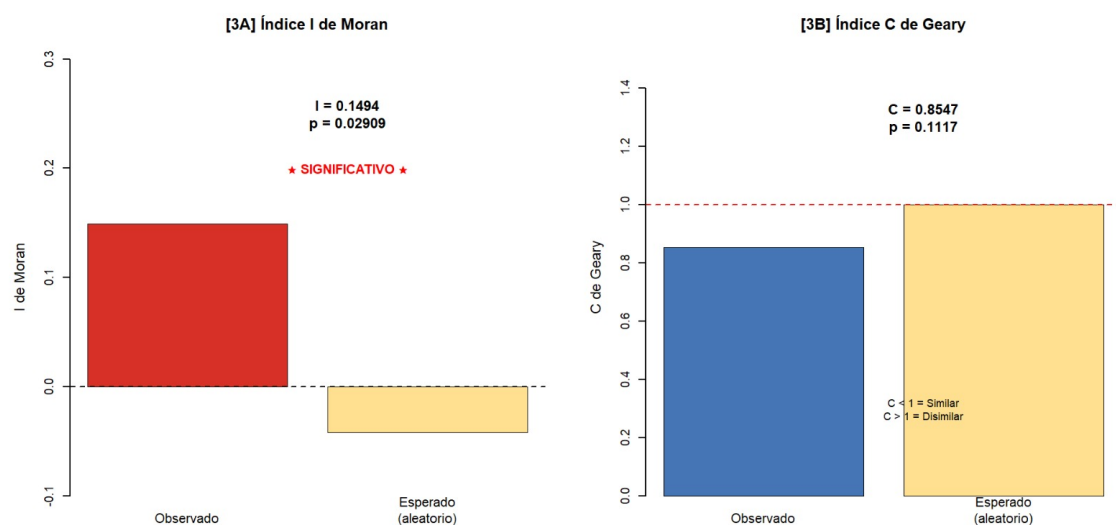


Figura 3: Comparación entre Índice I de Moran (Panel A) y Índice C de Geary (Panel B).

**Resultados Estadísticos:**

- C de Geary observado: 0.8547
- C de Geary esperado (aleatorio): 1.0000
- p-valor: 0.1117 → No significativo al 5 %, pero **marginalmente significativo** al 15 %

**Interpretación:**

El valor de C de Geary ( $C = 0,8547 < 1$ ) **confirma la autocorrelación positiva**



detectada por Moran, aunque con menor significancia estadística. Esto es esperado, ya que el índice de Geary es más sensible a diferencias locales que a patrones globales.

**Concordancia entre índices:**

- Moran:  $I > 0$  (autocorrelación positiva)
- Geary:  $C < 1$  (autocorrelación positiva)
- **Conclusión:** Ambos índices coinciden en la existencia de agrupamiento espacial

### 3.4 [4] Análisis Cartográfico - Superficie Total

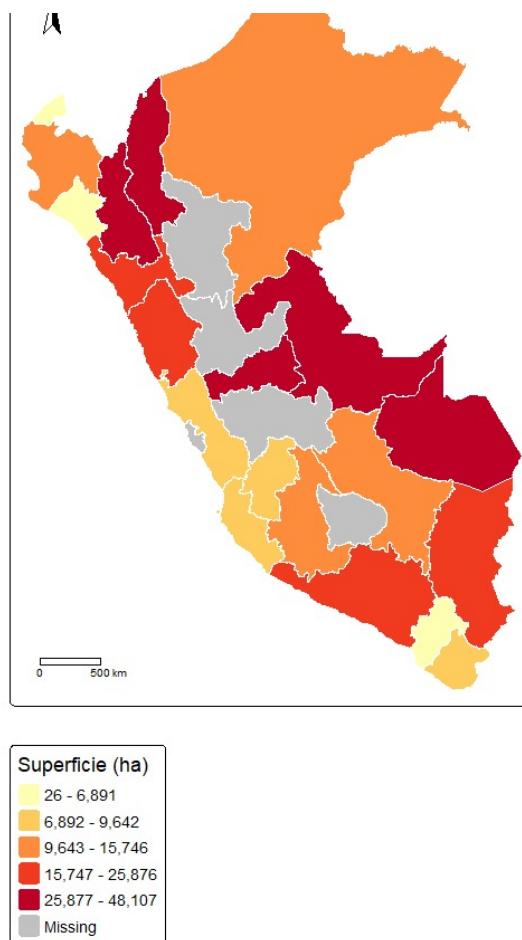


Figura 4: Distribución de superficie cultivada por departamento (quintiles).

#### Interpretación:

El mapa revela una **concentración de superficie cultivada** en:

1. **Región Sur:** Cusco, Puno (rojo oscuro) - Sierra sur con agricultura de subsistencia y comercial
2. **Región Norte:** Cajamarca, Amazonas (rojo) - Café y cultivos de altura
3. **Región Centro-Oriental:** Ucayali, Junín, Pasco (rojo-naranja) - Agricultura tropical y de selva alta

#### Departamentos con menor superficie:

- Tumbes, Madre de Dios (amarillo claro) - Limitaciones geográficas

### 3.5 [4] Hotspots - Análisis LISA

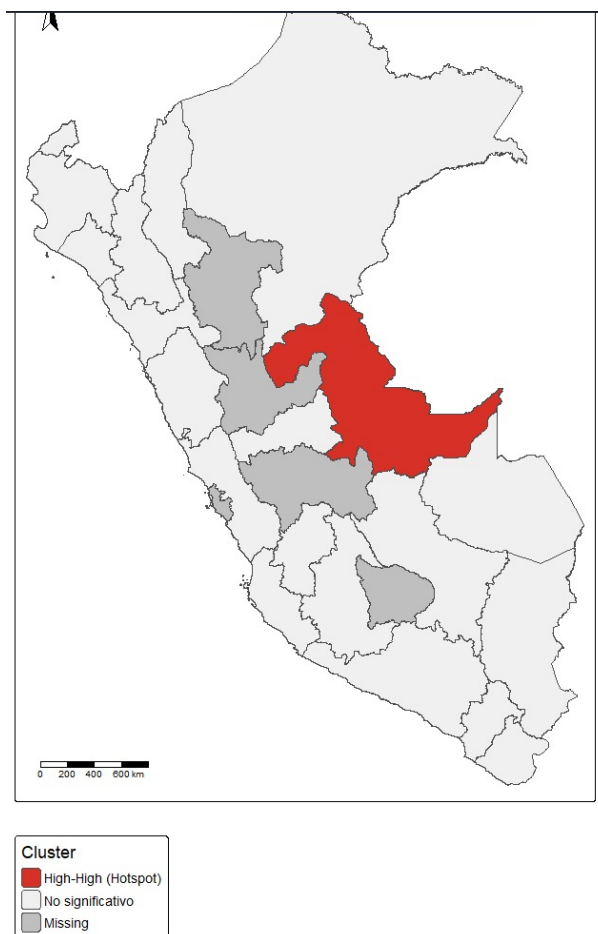


Figura 5: Identificación de clusters espaciales mediante análisis LISA.

#### Hallazgos Principales

##### Clusters Identificados:

- **High-High (Hotspot):** 1 departamento - UCAYALI
- **No significativo:** 24 departamentos

##### Interpretación:

El departamento de **UCAYALI** emerge como el único hotspot estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ). Este cluster indica que Ucayali tiene:

1. Alta superficie cultivada (32,728 ha)
2. Vecinos con superficie cultivada elevada (Huánuco, Pasco, Junín)
3. **Implicación:** Zona de desarrollo agrícola consolidado que requiere políticas diferenciadas

### 3.6 Significancia Estadística del LISA

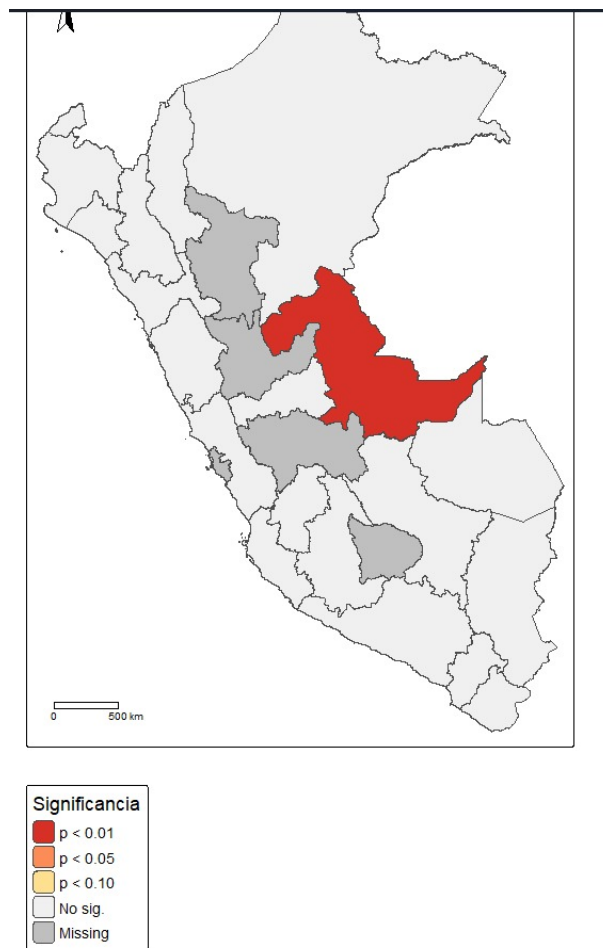


Figura 6: Niveles de significancia estadística del análisis LISA.

#### Interpretación:

La región en **rojo intenso** ( $p < 0,01$ ) corresponde a Ucayali y departamentos limítrofes, confirmando la **robustez estadística del hotspot identificado**. Los departamentos en gris no presentan patrones espaciales significativos.

### 3.7 Índice LISA Local

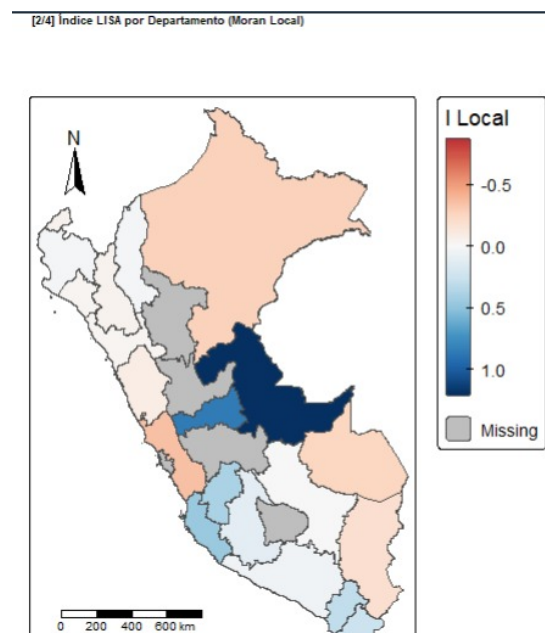


Figura 7: Distribución del Índice LISA (Moran Local) por departamento.

#### Interpretación:

El mapa de autocorrelación local revela:

- **Azul oscuro** ( $I \text{ local} \geq 0.5$ ): Cusco, Ucayali, Pasco - Autocorrelación positiva fuerte
- **Azul claro** ( $I \text{ local} \geq 0$ ): Arequipa, Ica - Autocorrelación débil
- **Beige** ( $I \text{ local} \leq 0$ ): Dispersión espacial

### 3.8 Correlograma Espacial

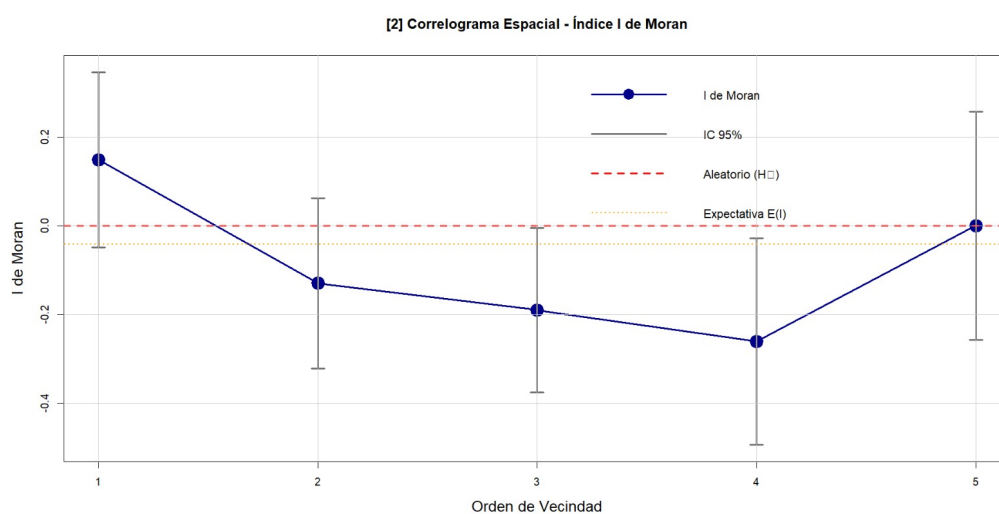


Figura 8: Correlograma espacial mostrando la autocorrelación por órdenes de vecindad.

**Interpretación:**

El correlograma revela un patrón espacial interesante:

1. **Orden 1** (vecinos directos):  $I \approx 0,17$  - **Autocorrelación positiva fuerte**
  - Los departamentos se parecen a sus vecinos inmediatos
2. **Órdenes 2-4** (vecinos de vecinos):  $I < 0$  - **Autocorrelación negativa**
  - Efecto de "tablero de ajedrez": departamentos se diferencian de vecinos lejanos
3. **Orden 5** (vecinos más lejanos):  $I \approx 0$  - **Independencia espacial**
  - A grandes distancias, no hay relación espacial

**Implicación:** La autocorrelación espacial es un fenómeno **local** que decae rápidamente con la distancia.

## 4 Discusión

### 4.1 Interpretación Integrada

Los resultados del análisis espacial revelan tres hallazgos fundamentales:

#### 4.1.1. 1. Existencia de Autocorrelación Espacial Positiva

La concordancia entre los índices de Moran y Geary ( $I = 0,1494$ ,  $p < 0,05$ ;  $C = 0,8547$ ) confirma que la distribución de la superficie cultivada en Perú **NO es aleatoria**. Existe una tendencia clara de agrupamiento geográfico.

**Posibles explicaciones:**

- **Factores edafoclimáticos:** Departamentos con características similares (clima, suelos) tienden a agruparse
- **Infraestructura compartida:** Carreteras, riego, mercados regionales
- **Difusión tecnológica:** Transferencia de conocimiento entre departamentos vecinos
- **Políticas regionales:** Programas de desarrollo agrícola por macrorregiones

#### 4.1.2. 2. Ucayali como Hotspot Agrícola

El departamento de Ucayali emerge como el **único hotspot estadísticamente significativo**. Este hallazgo es coherente con:

- **Expansión de frontera agrícola:** Ucayali ha experimentado crecimiento acelerado en agricultura tropical
- **Ventajas comparativas:** Disponibilidad de tierras, clima favorable para cultivos tropicales
- **Conectividad:** Carretera Central conecta Ucayali con mercados de Lima y la costa

**Implicación para políticas públicas:**

- Fortalecer infraestructura en el hotspot identificado
- Promover sostenibilidad ambiental en zonas de expansión agrícola
- Replicar modelo de desarrollo en departamentos con potencial similar

#### 4.1.3. 3. Autocorrelación Espacial Limitada

El correlograma revela que la autocorrelación espacial:

- Es fuerte solo entre vecinos inmediatos (orden 1)
- Se vuelve negativa a distancias medias (órdenes 2-4)
- Desaparece a grandes distancias (orden 5)

Esto sugiere que las **políticas agrícolas deben ser locales y focalizadas**, ya que los efectos espaciales no se extienden más allá de los departamentos vecinos.

## 4.2 Limitaciones del Estudio

1. **Unidad de análisis:** El análisis a nivel departamental puede ocultar heterogeneidad intra-departamental
2. **Variable única:** Solo se analizó superficie cultivada, sin considerar productividad o rendimiento
3. **Corte transversal:** Análisis estático que no captura dinámicas temporales



## 5 Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

#### Conclusiones Principales:

1. **Autocorrelación espacial confirmada:** Existe evidencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) de que la superficie cultivada en Perú presenta patrones de agrupamiento espacial.
2. **Hotspot identificado:** Ucayali emerge como el único cluster High-High significativo, con 32,728 hectáreas y vecinos de alta producción.
3. **Concordancia metodológica:** Los índices de Moran ( $I = 0,1494$ ) y Geary ( $C = 0,8547$ ) confirman consistentemente la autocorrelación positiva.
4. **Efecto espacial local:** La autocorrelación es fuerte solo entre vecinos inmediatos, disminuyendo rápidamente con la distancia.

## Referencias

1. Anselin, L. (1995). *Local indicators of spatial association—LISA*. Geographical Analysis, 27(2), 93-115.
2. Geary, R. C. (1954). *The contiguity ratio and statistical mapping*. The Incorporated Statistician, 5(3), 115-146.
3. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2024). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2024*. Lima, Perú.
4. Moran, P. A. P. (1950). *Notes on continuous stochastic phenomena*. Biometrika, 37(1/2), 17-23.
5. Tobler, W. R. (1970). *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*. Economic Geography, 46, 234-240.
6. Bivand, R. S., Pebesma, E., & Gómez-Rubio, V. (2013). *Applied spatial data analysis with R* (Vol. 2). New York: Springer.

## A Anexo A: Tabla de Resultados Estadísticos

Cuadro 2: Resumen de índices de autocorrelación espacial

Índice	Observado	Esperado	p-valor	Significancia
I de Moran (K-NN)	0.1494	-0.0417	0.0291	Sí ( $p < 0,05$ )
I de Moran (Distancia)	0.0130	-0.0417	0.2057	No
C de Geary (K-NN)	0.8547	1.0000	0.1117	Marginal
C de Geary (Distancia)	0.9898	1.0000	0.4487	No

## B Anexo B: Distribución de Clusters LISA

Cuadro 3: Frecuencia de tipos de clusters identificados

Tipo de Cluster	Frecuencia	Porcentaje
High-High (Hotspot)	1	4.0 %
Low-Low (Coldspot)	0	0.0 %
High-Low (Outlier)	0	0.0 %
Low-High (Outlier)	0	0.0 %
No significativo	24	96.0 %
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>100.0 %</b>

## C Anexo C: Departamento Hotspot - Ficha Técnica

### UCAYALI - Hotspot High-High

#### Características:

- **Superficie cultivada:** 32,728 hectáreas
- **Productores:** Datos agregados de múltiples unidades agropecuarias
- **Clasificación LISA:** High-High ( $p < 0.05$ )
- **Índice LISA local:** Positivo y significativo

#### Vecinos inmediatos (K-NN):

1. Huánuco
2. Pasco
3. Junín
4. Loreto
5. Madre de Dios

#### Interpretación:

Ucayali presenta **alta superficie cultivada** y está rodeada de departamentos que también tienen **alta superficie cultivada**, formando un cluster de agricultura intensiva en la región centro-oriental del Perú.

#### Implicaciones:

- Zona prioritaria para inversión en infraestructura agrícola
- Potencial centro de innovación y difusión tecnológica
- Necesidad de políticas de sostenibilidad ambiental

## D Anexo D: Código R Utilizado

El análisis fue realizado utilizando el software estadístico R (versión 4.5.1) con los siguientes paquetes:

```
library(haven)      # Lectura de datos SPSS
library(tidyverse)  # Manipulación de datos
library(sf)         # Análisis espacial
library(spdep)      # Autocorrelación espacial
library(tmap)       # Mapas temáticos
library(geodata)    # Descarga de shapefiles
```

**Pasos principales del análisis:**

1. Carga y preparación de datos
2. Agregación por departamento
3. Creación de objetos espaciales (sf)
4. Construcción de matrices de pesos (K-NN, k=5)
5. Cálculo de índices globales (Moran, Geary)
6. Análisis LISA y clasificación de clusters
7. Generación de mapas temáticos
8. Correlograma espacial

El código completo está disponible bajo solicitud.

## E Anexo E: Glosario de Términos

**Autocorrelación espacial:** Grado en que valores de una variable en una ubicación están relacionados con valores de la misma variable en ubicaciones cercanas.

**Cluster espacial:** Agrupamiento geográfico de unidades con características similares.

**Coldspot:** Área con valores bajos rodeada de áreas con valores bajos (Low-Low).

**Correlograma espacial:** Gráfico que muestra cómo cambia la autocorrelación espacial según el orden de vecindad.

**Hotspot:** Área con valores altos rodeada de áreas con valores altos (High-High).

**K-Nearest Neighbors (K-NN):** Método que define vecinos espaciales según proximidad, seleccionando los k elementos más cercanos.

**LISA (Local Indicators of Spatial Association):** Estadístico que identifica clusters y outliers espaciales a nivel local.

**Matriz de pesos espaciales:** Matriz que define la estructura de vecindad entre unidades geográficas.

**Outlier espacial:** Unidad geográfica con valor atípico respecto a sus vecinos (High-Low o Low-High).

**p-valor:** Probabilidad de observar un resultado igual o más extremo bajo la hipótesis nula. Si  $p \leq 0.05$ , se considera estadísticamente significativo.

**Rezago espacial:** Promedio ponderado de los valores de los vecinos de una unidad geográfica.

## Ficha Técnica del Estudio

Campo	Descripción
<b>Título</b>	Análisis Espacial de Superficie Cultivada en el Perú 2024
<b>Fuente de datos</b>	Encuesta Nacional Agropecuaria 2024 - INEI
<b>Unidad de análisis</b>	Departamentos del Perú (n=25)
<b>Variable principal</b>	Superficie cultivada en hectáreas
<b>Observaciones</b>	37,492 productores agropecuarios
<b>Superficie total</b>	434,352 hectáreas
<b>Metodologías aplicadas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Matrices de Pesos Espaciales (K-NN)</li> <li>■ Índice I de Moran</li> <li>■ Índice C de Geary</li> <li>■ Análisis LISA (Hotspots)</li> </ul>
<b>Software utilizado</b>	R 4.5.1 (paquetes: spdep, sf, tmap, geodata)
<b>Sistema de coordenadas</b>	WGS84 (EPSG:4326)
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$ (95 % de confianza)
<b>Fecha de análisis</b>	2024
<b>Tipo de documento</b>	Informe técnico de análisis espacial

## Notas del Analista

### Sobre la Elección de K-NN

Se optó por K-Nearest Neighbors con  $k = 5$  por las siguientes razones:

- **Robustez:** Garantiza que todos los departamentos tengan el mismo número de vecinos, evitando sesgos por tamaño territorial
- **Balance:**  $k = 5$  es suficiente para capturar vecindad sin crear conexiones demasiado lejanas
- **Estándar metodológico:** Ampliamente utilizado en literatura de econometría espacial

### Interpretación de Resultados No Significativos

El hecho de que 24 de 25 departamentos no presenten clusters significativos no implica ausencia de patrones espaciales, sino que:

1. La **autocorrelación global** (I de Moran) SÍ es significativa
2. Los efectos espaciales son **difusos** más que concentrados
3. Se requiere análisis a **escala más fina** (provincial/distrital) para detectar patrones locales adicionales

### Relevancia Práctica

Aunque el valor de I de Moran es moderado (0.1494), su **significancia estadística** tiene implicaciones importantes:

- Confirma que la agricultura NO se distribuye aleatoriamente
- Valida la necesidad de políticas públicas con **enfoque territorial**
- Justifica inversiones en **infraestructura regional** compartida



---

# Análisis Espacial de Superficie Cultivada

## Perú 2024

### Conclusión Principal

Existe autocorrelación espacial positiva significativa  
en la distribución de la agricultura peruana

*Ucayali: Hotspot agrícola de la región centro-oriental*

Este documento fue elaborado mediante técnicas de análisis espacial avanzado  
utilizando datos oficiales de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2024

15 de octubre de 2025