

**RELACIÓN ESPACIAL ENTRE LA PRODUCCIÓN DE ORO Y CASOS DE MALARIA  
EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ  
2017-2019**

**IVAN ENRIQUE RODRIGUEZ DAZA  
TOMAS ALFONSO CUADRADO CARTAGENA**



**UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES®**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2020**

**RELACIÓN ESPACIAL ENTRE LA PRODUCCIÓN DE ORO Y CASOS DE MALARIA  
EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ  
2017-2019**

**IVAN ENRIQUE RODRIGUEZ DAZA  
TOMAS ALFONSO CUADRADO CARTAGENA**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar  
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Principalmente agradecerle a Dios por guiarnos a lo largo de nuestras vidas, por darnos fuerza para continuar en este proceso, a nuestras familias por ser el motor de nuestros sueños anhelados y por confiar en nosotros, por los concejos, valores y principios que nos han brindado.

Gracias a la secretaria de salud del departamento del Chocó, por facilitar las bases de datos y ubicaciones de los casos de Malaria en el departamento.

Infinitas gracias al profesor José Antonio Huitrón Mendoza de la facultad de Economía UNAM de México, quien fue parte vital por los concejos consignados en nosotros en la metodología empleada en el siguiente trabajo.

Desde luego agradecemos a todos nuestros docentes de la Universidad de Manizales, por haber compartido todos sus conocimientos a lo largo de nuestra preparación como especialistas.

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	12
2.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	13
3. OBJETIVOS .....	14
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
4. JUSTIFICACIÓN .....	15
5. REFERENTE TEÓRICO.....	16
5.1 REFERENTE CONCEPTUAL. ....	16
5.1.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	16
5.1.2 Malaria o paludismo. ....	16
5.1.3 Índice Parasitario Anual (IPA).....	17
5.1.3 La Geografía de la Salud.....	17
5.1.4 Minería de Oro.....	18
5.1.5 Índice de Moran. ....	18
5.1.6 Estructura de I de Moran.....	19
5.1.7 Cálculos.....	20
5.1.8 I de Moran Bivariado. ....	20
5.1.9 Gráfico del Índice de Moran .....	21
5.1.10 Matrices de pesos espaciales (Tipos de contigüidad). ....	22
5.1.11 Pasos para evaluar una prueba de hipótesis. ....	23
5.1.12 GeoDa. ....	24
5.2 ANTECEDENTES .....	24
6. METODOLOGÍA.....	27
6.1 TIPO DE TRABAJO .....	27
6.2 FASE I .....	27
6.3 FASE II.....	27
6.4 FASE III.....	30
6.4.1 Año 2017.....	33
6.4.2 Año 2018.....	37
6.4.3 Año 2019.....	40

.....	42
7. RESULTADOS.....	43
8. CONCLUSIONES .....	47
9. RECOMENDACIONES.....	48
10. BIBLIOGRAFÍA .....	49

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localización del Departamento del Chocó- Elaboración propia.....	13
Figura 2:Patrones espaciales hipotéticos de acuerdo con el valor del I Moran.....	19
Figura 3: Representación del concepto de I de Moran Bivariado (Siabato, W & Manrique, J, 2018) .....	21
Figura 4: Gráfico del I de Moran tiene incluida una recta que indica la pendiente del I de Moran bivariado. Fuente: (BUZAI, 2005) .....	21
Figura 5: Tipo de Matrices de pesos espaciales, disponibles en el Software GeoDa....	22
Figura 6: Tipos de pruebas de hipótesis I: De dos colas o bilateral, II: Izquierda y III: Derecha. ....	23
Figura 7: Interfaz del GEODA una vez abierto el archivo espacializados a nivel de municipios, Departamento del Chocó.....	31
Figura 8: Panel que se despliega en el apartado de herramientas, para crear la matriz de pesos espaciales, Elaborado en el Software GeoDa. ....	31
Figura 9: Creando la Matriz de pesos espaciales de Tipo Reina y orden 1, Elaborado en el Software GeoDa.....	32
Figura 10: Propiedades de la matriz de pesos espaciales. Software GeoDa.....	32
Figura 11: Ajustes para el I de Moran Bivariado, la variable en el eje (X) indica el IPA y en el eje (Y) es el porcentaje de producción de Oro para el año 2017, Elaborado en el Software GeoDa.....	33
Figura 12: Agrupaciones de valores por cuadrantes 1.Alto- Alto, 2.Bajo-Alto, 3.Bajo-Bajo y 4.Alto-Bajo (Figura. 4), y la pendiente de la recta indica el I de Moran Bivariado para el año 2017. Elaborado en el Software GeoDa. ....	33
Figura 13: Mapa de Cluster, Indicando los cuadrantes del grafico del I de Moran para el año 2017, Elaboración propia. ....	34
Figura 14: Prueba de hipótesis bilateral o de dos colas, escogida por $H_a \neq 0$ .....	35
Figura 15:Prueba de hipótesis bilateral o de dos colas con una significancia del 10% y una confianza del 90%, Elaboración propia. ....	35
Figura 16: Permutaciones realizadas 999 a partir de los datos de referencias trabajados año 2017. Elaborado en el Software GeoDa.....	36
Figura 17: Prueba de hipótesis de dos colas con el valor de Z de prueba ( $Z=2,2838$ ) que arroja las permutaciones, Elaboración propia. ....	36
Figura 18: Agrupaciones de valores por cuadrantes y pendiente de la recta indica el I de Moran Bivariado para el año 2018, Elaborado en el Software GeoDa.....	37
Figura 19:Mapa de Cluster, Indicando los cuadrantes del grafico del I de Moran para el año 2018, Elaboración propia. ....	38
Figura 20:Permutaciones realizadas 999 a partir de los datos de referencias trabajados año 2018. Elaborado en el Software GeoDa.....	38
Figura 21:Prueba de hipótesis de dos colas con el valor de Z de prueba ( $Z=1,6641$ ) que arroja las permutaciones, año 2018. Elaboración propia. ....	39
Figura 22:Agrupaciones de valores por cuadrantes y pendiente de la recta indica el I de Moran Bivariado para el año 2019. Elaborado en el Software GeoDa. ....	40
Figura 23:Mapa de Cluster, Indicando los cuadrantes del grafico del I de Moran para el año 2019, Elaboración propia. ....	40
Figura 24:Permutaciones realizadas 999 a partir de los datos de referencias trabajados año 2019. Elaborado en el Software GeoDa.....	41

Figura 25: Prueba de hipótesis de dos colas con el valor de Z de prueba ( $Z=1,7069$ ) que arroja las permutaciones, año 2019. Elaboración propia. .... 42

Figura 26: Comparación de los Cluster para cada año en estudio, I: Cluster año 2017, II: Cluster año 2018, III: Cluster año 2019. Elaboración Propia..... 44

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1: Niveles de significancia más utilizados (Buzai & Baxendale, 2006). .....	23
Tabla 2: Casos de Malaria y porcentaje de los años 2017-2019- Elaboración propia; Fuente:( secretaría de Salud Departamental del Chocó, 2020) .....	28
Tabla 3: Proyecciones poblacional del departamento del Chocó, Fuente: (DANE, 2018) .....	28
Tabla 4: Índice parasitario Anual IPA por municipios en el departamento del Chocó- Elaboración propia. ....	29
Tabla 5: Producción de Oro y Porcentaje anual por Municipios del Departamento del Chocó- (UPME, 2020) .....	30



## **RESUMEN**

El Chocó es el primer departamento en tener actividad minera de oro no relacionada espacialmente con las respectivas licencias autorizadas por las entidades competentes, esta actividad modifica radicalmente la geomorfología de la zona hasta el punto de crear criaderos de mosquitos directamente; se evidencia que para el 2016 hubo aumentos de casos de malaria, atribuyéndolo a la intensificación de la minería ilegal de oro (Minsalud, 2018).

Con el apoyo de las herramientas SIG se pretende, identificar los focos de afectación por la malaria asociada a la minería de oro y priorizar las ayudas destinadas a los municipios con mayor afectación, proporcionalmente mejorar los tiempos de respuesta en la atención de la población vulnerable, por parte del sistema de vigilancia de salud pública del departamento. La metodología propuesta, se soporta en el software libre GeoDa trabajando con las bondades de los SIG, relacionando el índice parasitario anual (IPA) y los porcentajes de producción de oro anual, detectando asociaciones de patrones espaciales por medio del Índice de Moran Bivariado para los años (2017,2018 y 2019), trabajados con una matriz de tipo reina o “Queen” identificando si la malaria en un lugar depende de la producción de oro en unidades vecinas. Todos los resultados obtenidos fueron validados y apoyados estadísticamente con pruebas de hipótesis (Con una significancia del 10% y una confianza del 90%), indicando agrupación espacial en los años de estudio y relación directa entre los porcentajes de producción de oro y el IPA.

**PALABRAS CLAVES:** índice de Moran Bivariado, Malaria, Índice parasitario Anual (IPA), Cluster, matrices de pesos espaciales.

## **ABSTRACT**

Chocó is the first department in having gold mining activity not related spatially with the respective licenses authorized by the competent entities, this activity radically modifies the geomorphology of the zone to the point of creating mosquito breeding directly; it is evidenced that for 2016 there were increases in case of malaria, attributing it to the intensification of illegal gold mining (Minsalud, 2018).

With the support of GIS tools, the aim is to identify the sources of malaria associated with gold mining and prioritize the aid destined for the most affected municipalities, proportionally improve response times in the care of the vulnerable population, by the department's public health surveillance system. The proposed methodology is supported by the free GeoDa software working with the benefits of GIS, relating the annual parasitic index (API) and the percentages of annual gold production, detecting associations of spatial patterns through the Bivariate Moran Index for the years (2017, 2018 and 2019), worked with a matrix of type "Queen" identifying if the cases of malaria in a place depend on the production of gold in neighboring units. All the results obtained were validated and statistically supported with hypothesis tests (with a significance of 10% and a confidence of 90%), indicating spatial grouping in the years of study and direct relationship between the percentages of gold production and the API.

**KEY WORDS:** Bivariate Moran Index, malaria, annual parasitic index (IPA), cluster, spatial weight matrix.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el departamento del Choco, se encuentra gran cantidad de recursos minerales como el oro, representando grandes dividendos para la economía local; contradictoriamente el departamento cuenta con una escasa infraestructura en salud, desplazamiento de poblaciones, contaminación de fuentes hídricas, modificación de los ecosistemas, de tal manera que generan ambientes propicios para múltiples enfermedades en especial la malaria, que es transmitida por mosquitos cuyo hábitat son las zonas pantanosas o de aguas estancadas, generalmente el hábitat del mosquito trasmisor era propio de ambientes poco habitados por el hombre, pero desencadenantes como la pobreza, el desplazamiento forzado y la minería, entre otros, han cambiado esta realidad, lo que se ve reflejado en mayores contagios.

El auge de las herramientas tecnológicas como los SIG ha incursionado en todas las áreas de desarrollo, en especial las que tengan en común un componente espacial o geográfico. Para el desarrollo de esta investigación la Incursión de los SIG es vital, porque permite la integración de información espacial, relación de las variables de estudio en cuanto al índice de Moran bivariado con matrices de pesos espaciales y a la vez facilita la identificación de asociación de patrones espaciales.

En la siguiente investigación se hace uso de aportaciones que ya han sido probadas por otras entidades solo con enfoque descriptivos apoyados en estudios estadísticos; en esta ocasión se trabajó con información georreferenciada para analizarla dentro del entorno SIG, siendo esta validada estadísticamente con pruebas de hipótesis.

## 2. ÁREA PROBLEMÁTICA

Toda intervención minera genera cambios irreversibles incluyendo las actividades mineras de oro, en los últimos años ha venido aumentando su valor en el mercado proporcional al tiempo, según estudio realizado por la UNIDOC<sup>1</sup> y el GOBIERNO COLOMBIANO, lo que ha sido el principal desencadenante para que el 60% de las explotaciones de oro no coincidan con las áreas autorizadas por la ley. Chocó ocupa el primer lugar con 84% en solicitudes de legalización, siendo este departamento el primero en explotación de oro ilegal (UNODC, 2014), además se evidencia que para el 2016 se presentaron aumentos de casos de malaria, atribuyéndolo a la intensificación de la minería ilegal de oro, en la región pacífica, sobre todo en el departamento del Chocó (15 de 30 Municipios), reporto el 67% de los casos registrados en el país (Minsalud, 2018). La mayor parte del área poblacional del Chocó presenta condiciones climáticas, geográficas y epidemiológicas aptas para la transmisión de ciertas patologías, como son: la malaria, la fiebre amarilla, el dengue, leishmaniosis chagas y tracoma (INS, 2019). Toda esta problemática se atribuye en afectaciones de salud pública para el departamento del Chocó en la preeminencia de la malaria en todo el territorio, en especial en zonas rurales donde no se mantiene una gestión de información efectiva, debido al acceso y la falta de comunicación. El Chocó no cuenta con estudios que involucren la relación de estos eventos en el entorno de los sistemas de información geográfica (SIG), que faciliten la identificación y localización de patrones espaciales o dinámica del mismo, y a la vez le permitan al sistema de vigilancia de salud pública y al área de gestión de riesgo, optimizar los procesos en la toma de decisiones, inclinar los recursos en las zonas más afectada mejorando los tiempos de respuesta a esta emergencia.

---

<sup>1</sup> UNIDOC- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito

## 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

### MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ



*Figura 1: Localización del Departamento del Chocó- Elaboración propia.*

La zona de estudio es el departamento del Chocó, el cual se localiza en el occidente de Colombia, cuenta con una extensión 46.530 Km<sup>2</sup> conformado por treinta (30) municipios, hace parte de la región Pacífica y es un departamento de frontera internacional con Panamá e interoceánicos con el océano Pacífico y el mar Caribe; está rodeados por numerosas fuentes hídricas dentro de las cuales se destacan el río San Juan, el río Baudó y el río Atrato, éste último deposita sus aguas al mar Caribe. El departamento cuenta con una población de 457,412 personas según el último censo registrado por él (DANE, 2018), y según las proyecciones anuales de población por sexo y edad para el período 2018-2020, la población del Chocó llegaría a 544,764 (DANE, 2018).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Relacionar la Producción de oro y los casos de malaria en el departamento del Chocó 2017-2019.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la distribución de los casos de malaria vs producción de oro.
- Detectar patrones en la incidencia de la producción de oro en los casos de malaria para los años 2017- 2019.
- Describir la incidencia de la producción de oro en los casos de malaria de los municipios del departamento del Chocó.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

El departamento del Chocó a pesar de ser uno de los grandes productores de oro en el país, históricamente ha venido presentando incrementos en los casos de malaria, generando así altas tasa de mortalidad, además Chocó es el primer departamento en explotación de oro ilegal, y en donde no hay coincidencia geográfica con ninguna autorización por la ley, consecuentemente a esta problemática en los años siguientes aumentaron los casos de malaria atribuyéndolo a la intensificación de la minería de oro, en los departamentos de la región pacífica, sobre todo en el departamento del Chocó; por lo anterior es necesario incorporar nuevos métodos que faciliten el seguimiento y vigilancia del comportamiento de estos dos factores, localizando zonas más afectadas y vulnerables en este departamento que faciliten la pronta respuesta del sistema de vigilancia de salud pública departamental.

## 5. REFERENTE TEÓRICO

### 5.1 REFERENTE CONCEPTUAL.

#### 5.1.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Un SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica; además permite la captura, edición, almacenamiento, análisis y salidas gráficas de la información, inclinándose a mejores tomas de decisiones.

En función de cuál de estos aspectos se valore como más importante, encontramos distintas definiciones formales del concepto de un SIG. Una definición clásica es la de (Tomlin, C. Dana, 1990), para quien un SIG es un elemento que permite analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre. El mismo autor argumenta, no obstante, que esta es una definición muy amplia, y habitualmente se emplea otra más concreta. En palabras habituales, un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos (Olaya, 2014).

#### 5.1.2 Malaria o paludismo.

El paludismo es causado por parásitos del género Plasmodium que se transmiten al ser humano por la picadura de mosquitos hembra infectados del género Anopheles, los llamados vectores del paludismo. Hay cinco especies de parásitos causantes del paludismo en el ser humano, a) P. falciparum, b) P. vivax, c) P. malariae, d) P. ovale, e) P. Knowlesi (en los últimos años en países del Asia). si bien dos de ellas - Plasmodium falciparum y Plasmodium vivax - son las más peligrosas (OMS, 2015).

La transmisión puede ser:

- Vectorial: el Anopheles infectado, al picar, inocula los esporozoitos, forma infectante del parásito.
- Inoculación directa de glóbulos rojos infectados por vía transfusional o casual por pinchazos con jeringas contaminadas.
- Transmisión vertical: de una madre infectada al feto.



En Colombia las zonas de malaria están entre 0 y 1600 m.s.n.m. Las regiones de mayor riesgo son: la costa pacífica, valles del río Cauca (bajo) y Sinú (alto), la Amazonía y la Orinoquia (MinSalud, 2013).

### **5.1.3 Índice Parasitario Anual (IPA).**

El Índice Parasitario Anual de Malaria expresa la relación de los casos de malaria y la población que vive en zonas de riesgo. Da cuenta de la probabilidad de contraer la enfermedad entre la población en riesgo (Asivamosensalud, 2020). Para la obtención de este índice es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{IPA} = \frac{\text{Nuevos Casos reportados}}{\text{Población bajo vigilancia}} * 1000$$

### **5.1.3 La Geografía de la Salud.**

Tradicionalmente, en el ámbito de la Geografía, el objetivo fundamental ha sido el análisis de las variaciones espaciales de la salud humana (aunque con mayor frecuencia se estudie la falta de esta), en especial de los complejos patógenos o enfermedades endémicas y de las condiciones ambientales que son o pueden ser sus causas. En 1955 Maximilian Sorre describía los principios generales de la Geografía Médica y los asociaba estrechamente a la distribución de los complejos patógenos que, por otro lado, se hallan vinculados a las condiciones del medio ambiente. Destacaba un primer enfoque general que consistía en mostrar el reparto de las enfermedades (geografía de las enfermedades) para dar cuenta de la extensión de un fenómeno sobre la superficie del globo y, además, un enfoque o criterio regional, ya que cada región se caracteriza por una asociación de endemias o de epidemias vinculadas a los caracteres geográficos (físicos, biológicos y humanos); se consideraba así que el origen de las enfermedades se hallaba en los factores externos, incluidos entre éstos los propios hábitos (Sorre & Maximilian, 1955). De este modo la Geografía Médica establecía una directa relación entre el entorno -el medio geográfico-, y el estado de salud -la morbilidad y mortalidad de la población (Valcárcel & José Ortega, 2000). El objeto de estudio estaba claramente marcado: mostrar el área de extensión de una enfermedad endémica o epidémica que a

su vez es el área de extensión de un complejo patógeno, y se pretendía conocer su localización, sus movimientos de retroceso o expansión en superficie y buscar las circunstancias en que se desarrolla: densidad de población, migraciones, modo de vida, rasgos físicos del medio (Ramirez, 2004).

#### **5.1.4 Minería de Oro.**

La minería en oro consiste en extraer este mineral del suelo con alguna de las técnicas que se describen a continuación. En el bateo se utiliza un recipiente cóncavo para extraer el oro de la orilla de los ríos. El recipiente es llenado con arena y gravilla, se sumerge en el agua y se agita; debido a que el oro es más denso que la roca se asienta en el fondo del recipiente. El segundo método, consiste en utilizar un detector de metales y caminar alrededor de un área determinada hasta que el dispositivo de la señal de que detecto un metal. Finalmente, cuando el oro está contenido en finas rocas, una solución de cianuro de sodio se mezcla con estas para separar el metal.

Este mineral es el principal recurso metálico del país y tiene varios usos en nuestra vida cotidiana, está presente en: la medicina, la industria, la ingeniería, el transporte, la tecnología y es utilizado como reserva de valor por algunos países del mundo (UPME, 2017).

#### **5.1.5 Índice de Moran.**

Es un coeficiente que mide la autocorrelación espacial basada en las ubicaciones y los valores de las entidades simultáneamente. Dado un conjunto de entidades y un atributo asociado, evalúa si el patrón expresado está agrupado, disperso o es aleatorio (Celemín, 2019)

La autocorrelación es multi-direccional(lo que pasa en un espacio depende de espacios circunvecinos)y multi-dimensional( Las variables tienen distintos niveles, tienen distintas dimensiones en el espacio), es similar a los coeficientes de correlación. Sin embargo, mientras que otros coeficientes miden la correlación perfecta a ninguna correlación, el I de Moran es ligeramente diferente debido a los cálculos espaciales que involucra.

### 5.1.6 Estructura de I de Moran.

$$I = (n/S_0) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} Z_i Z_j / \sum_{i=1}^n Z_i^2$$

Donde:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad \text{Es la suma de los elementos de la matriz de pesos.}$$

**Z** son las desviaciones de la media ( $x_i - \bar{x}$ ) o ( $x_j - \bar{x}$ ) donde  $x_i$  es el valor de una variable en una unidad espacial y  $x_j$  es el valor de la variable en otra localización, normalmente las vecinas a  $x_i$ .

Según el valor que pueden obtener:

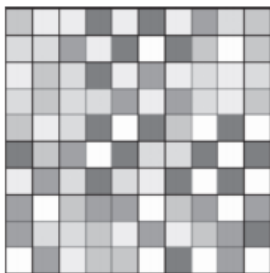
-1 (Valores negativos): Indicaría una tendencia a la dispersión espacial perfecta del fenómeno.

1 (Valores positivos): Indicaría una agrupación perfecta de valores similares (es lo opuesto a la dispersión)

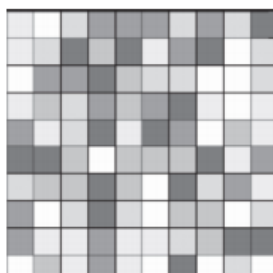
0: No autocorrelación

Patrones espaciales hipotéticos de acuerdo con el valor del I Moran

**Dispersión perfecta**



**Dispersión Aleatoria**



**Agrupación Perfecta**

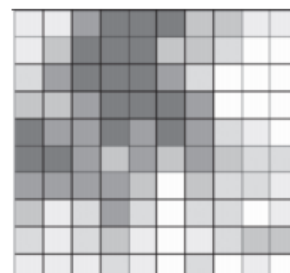


Figura 2: Patrones espaciales hipotéticos de acuerdo con el valor del I Moran (Anselin, 2003).

Existen dos tipos de cálculos del I de Moran y diferentes Métodos:

### 5.1.7 Cálculos.

- **Global:** Evalúan asociaciones para el conjunto de valores del fenómeno, considerando todas las unidades de análisis, pero no son sensibles a escenarios en los que se presenta heterogeneidad (variación) en el comportamiento del fenómeno geográfico.
- **Local:** Permite analizar las agrupaciones de la información con su respectiva significancia, sí consideran escenarios específicos, por tanto, permiten identificar subzonas en las que se presenta agrupamiento o dispersión del fenómeno. Aunque este cálculo también considera la media global, estos indicadores asignan medidas de autocorrelación a cada unidad de análisis y, por tanto, permiten identificar individualmente el nivel de agrupamiento o dispersión de cada unidad con relación a sus vecinos o respecto de aquellas unidades que se hayan definido a través del criterio de vecindad. (Siabato, W & Manrique, J, 2018)

### 5.1.8 I de Moran Bivariado.

El concepto bivariado resulta de considerar los vecinos de una variable complementaria, la lógica del índice bivariado se puede resumir así: (i) la unidad de análisis central está determinada por la variable 01; (ii) la unidad central ahora estará relacionada con vecinos de una variable secundaria (variable 02); (iii) el índice calculado permite identificar el patrón espacial de la variable 01; (iv) los criterios de vecindad aplicados son iguales a los que ya han sido presentados. Por supuesto, para realizar el análisis se debe mantener el mismo lattice, ya que no sería posible realizar el cálculo si se cambia la distribución espacial de cada variable.

El Índice de Moran bivariado relaciona dos variables que comparten un lugar en el espacio, este índice bivariado no tiene en cuenta la correlación espacial inherente entre las dos variables.



Figura 3: Representación del concepto de I de Moran Bivariado (Siabato, W & Manrique, J, 2018)

el I

de Moran bivariado se define a través de la siguiente expresión:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j W_{ij} (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{W \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

Donde: N es el número de unidades de análisis, W corresponde al número total de vecindades, x<sub>i</sub> será la variable 01 y y<sub>j</sub> la variable 02. Nótese cómo los componentes w<sub>ij</sub> determinan la relación de los valores centrales (x<sub>i</sub>) con los vecinos de la variable secundaria (y<sub>i</sub>). En el cálculo se consideran los valores (atributos) de la variable primaria (x) en el sitio “i” con los valores que asume la variable secundaria (y) en los vecinos localizados en cada sitio “j”.

### 5.1.9 Gráfico del Índice de Moran

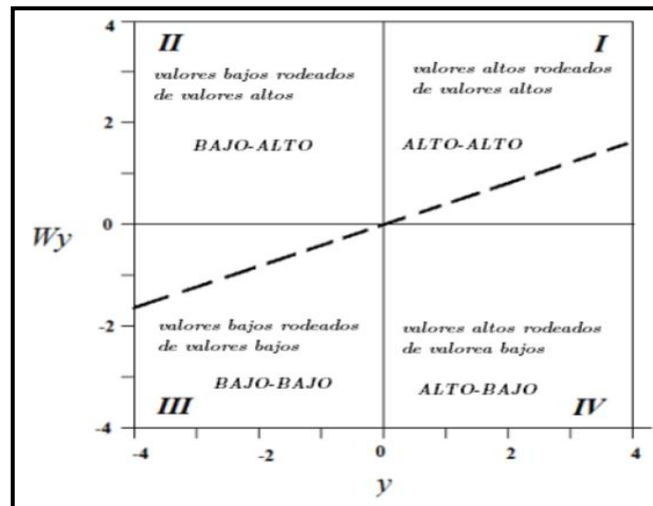


Figura 4: Gráfico del I de Moran tiene incluida una recta que indica la pendiente del I de Moran bivariado. Fuente: (BUZAI, 2005)

En el grafico anterior que trabaja el índice de Moran, donde el grafico que se genera como resultado tiene incluida una recta que tiene asignada una pendiente equivale a el I de Moran, además agrupa en cuatro cuadrantes los tipos de observaciones que se tienen; en el cuadrante I indica una variable con valor alto y alrededor variables con valores altos llamados también Cluster Altos- Altos; en el cuadrante II se agrupan valores bajos de una variable de interés con respecto a valores altos; en el cuadrante III se agrupan unidades espaciales de valores bajos rodeadas de valores bajos también; en el cuadrante IV se tiene valores altos rodeados de valores bajos (ANSELIN, 1993). Los cuadrantes II y IV son inversos y se consideran de transición porque sus variables pueden ser cambiantes, además son situaciones perfectas para investigar el por qué se encuentran en estos cuadrantes.

#### 5.1.10 Matrices de pesos espaciales (Tipos de contigüidad).

Hay diferentes tipos de contigüidad como lineal, lineal bidireccional, torre, alfil y tipo reina, pero especial los que se utilizan más a menudo son de tipo reina considerando todas las direcciones o tipo torre de izquierda a derecha y hacia arriba y abajo, como corresponden la siguiente grafica.

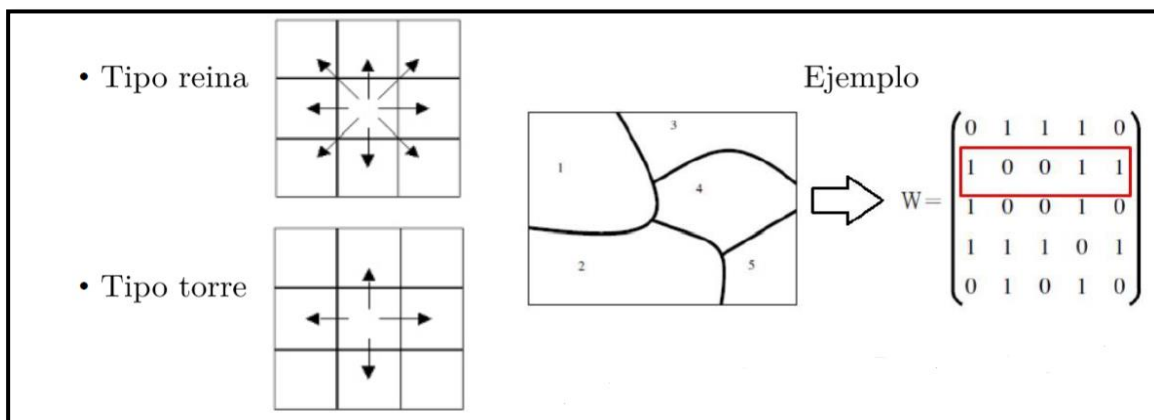


Figura 5: Tipo de Matrices de pesos espaciales, disponibles en el Software GeoDa.

Siguiendo los conceptos de la primera ley de la geografía, “Todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes” (Tobler, 1970), es una noción a la construcción de matrices.

### 5.1.11 Pasos para evaluar una prueba de hipótesis.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

La hipótesis alternativa, por lo general, representa la pregunta que debe responderse, la teoría que debe probarse y por ello su especificación es muy importante.

Paso 2: Elegir el nivel de significancia que es el máximo nivel de error tolerado

Y la confianza esperada, aquí las significancias más utilizadas

Significancia	10%	5%	1%
Valor Alfa ( $\alpha$ )	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
Confianza	90%	95%	99%
Valor Z	1,645	1,96	2,575

Tabla 1: Niveles de significancia más utilizados (Buzai & Baxendale, 2006).

Para hallar el valor de Z o valor crítico es necesario utilizar la significancia en la siguiente ecuación y buscar el valor en la tabla de probabilidades acumuladas en la distribución normal estándar (Barrios et, al, 2016).

$$Probabilidad\ Acum = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

El proceso en el software GeoDa es confiable pero siempre se debe apoyar en procedimientos como el de aleatorización y permutación (ANSELIN, 1995), y verificar si el nivel de significancia es superior al p-valor, en ese caso se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Por el contrario, si se comprueba la hipótesis nula se puede decir que la configuración espacial se produce de forma aleatoria.

Paso 3: Determinación de la zona de rechazo y no rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ )

Cuando...

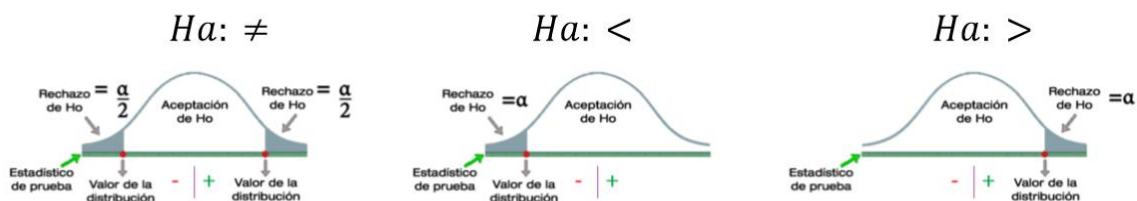


Figura 6: Tipos de pruebas de hipótesis I: De dos colas o bilateral, II: Izquierda y III: Derecha.

A partir del estadístico de prueba calcular los valores críticos y de prueba, definiendo las zonas de aceptación y rechazo, rechace  $H_0$  si el estadístico de prueba está en la región crítica, de otra manera no rechace  $H_0$

En el caso del índice de Moran:

- Para un valor de positivo: Los datos están espacialmente agrupados en algún modo.
- Para un valor de negativo: Los datos están agrupados en un modo competitivo, por ejemplo, los valores altos pueden repeler a otros valores altos y los valores negativos repelen a otros valores negativos.

Paso 4: Obtenga la inferencia y conclusiones científicas.

### **5.1.12 GeoDa.**

Es una herramienta de software gratuita y de código abierto que sirve como introducción al análisis de datos espaciales. Está diseñado para facilitar nuevos conocimientos del análisis de datos mediante la exploración y el modelado de patrones espaciales. GeoDa fue desarrollado por el Dr. Luc Anselin y su equipo. El programa proporciona una interfaz gráfica y fácil de usar para los métodos de análisis exploratorio de datos espaciales (ESDA), como estadísticas de autocorrelación espacial para datos agregados (varios miles de registros) y análisis de regresión espacial básica para datos de puntos y polígonos (decenas de miles de registros), fue lanzado en el 2003, (Anselin, 2003)

## **5.2 ANTECEDENTES**

La relación entre minería y malaria, a simple vista parece poco notable e inusual pero hechos e investigaciones apuntan a que existe una tendencia de correlación entre ambos factores. Para contextualizar acerca de la explotación minera en Colombia se toma la información de la investigación: “Explotación de oro de aluvión evidencias a partir de percepción remota” (Rivera et al., 2016) Para el ministerio de justicia colombiano. Cuyo propósito es el diseño y construcción de una línea base de evidencias de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en tierra en el territorio colombiano. El Proyecto se desarrolla en dos fases. La primera fase, objeto de este informe, tiene un énfasis



principalmente geográfico y desarrolla una metodología basada en sensores remotos orientados a la detección nacional de las evidencias de explotación de oro de aluvión (EVOA), integración de información y construcción del marco geográfico para la caracterización del fenómeno.

Los resultados señalan que para el año 2014 Colombia tenía 78.939 hectáreas con EVOA, distribuidas en 17 de los 32 departamentos del país. El 79% se encuentra en dos departamentos: Antioquia y Chocó. Nechí (Antioquia) es el municipio que presenta la mayor área afectada (6.232 ha) que representa el 8% de la afectación nacional. Al igual que los cultivos de coca, el pacífico es la región más afectada con EVOA.

Ubicados en los distritos mineros nacionales más importantes, están ubicados en el sector oriental del país. Es la zona donde debe centrarse la atención para la identificación de casos de malaria endémicos y no endémicos. En la investigación "DISTRIBUCIÓN DE LOS CASOS DE MALARIA IMPORTADA EN UN MUNICIPIO NO ENDÉMICO DEL NORDESTE ANTIOQUEÑO (COLOMBIA), 2008-2013" (Arias, Osorio y Gonzáles, L A, 2015) , con el objetivo de Caracterizar la distribución de los casos de malaria importada en un municipio no endémico del Nordeste antioqueño, 2008-2013.

La malaria importada constituye un grave problema de salud pública e individual, debido a su alta mortalidad y a la presentación de signos y síntomas inespecíficos que dificultan el diagnóstico precoz y el tratamiento oportuno. Para el desarrollo de la investigación se hizo Estudio transversal en pacientes con diagnóstico confirmado de malaria importada. La descripción de la población se realizó con medidas de resumen y frecuencias, la distribución porcentual de las especies de Plasmodium se compararon con las características de base del grupo a través de la prueba chi cuadrado.

Como resultado final se obtuvo Se incluyeron 73 pacientes con edad promedio de 30 años; las principales ocupaciones fueron la minería (47,9%) y la agricultura (38,4%).

82,2% correspondió a infección por Plasmodium vivax y el 17,8% a Plasmodium falciparum. La distribución de las especies parasitarias no presentó diferencias estadísticas con las características del grupo. Para concluir que La distribución porcentual de las especies de P. vivax y P. falciparum coinciden con el perfil

epidemiológico de la región; se confirma que la ocupación, el sexo y la edad son factores de gran interés en el estudio de malaria importada en la región.

Por último y el verdadero norte de esta investigación es el cruzar datos geoestadísticos de los brotes de malaria y la minería en el departamento del Choco (Colombia) para corroborar si existe o no relación, con bases de investigaciones como “Minería de oro y aumento de la malaria: ¿qué ocurre en Chocó?” realizada por Chocontá L., Díaz D. para el observatorio nacional de salud donde sus investigadores plantean El departamento del Chocó, uno de los más importantes productores de oro del país, ha venido siendo afectado por un aumento en el número de casos y muertes por Malaria.

Con el fin de poner a prueba si estos dos eventos se encuentran relacionados el ONS llevó a cabo un estudio para evaluar la asociación entre los niveles de producción de oro en los municipios del Choco y los casos de malaria. El estudio encontró que los municipios con mayor producción de oro también presentan en promedio el mayor número de casos de malaria anualmente.

En el análisis se encontró que, a mayor cuartil de producción de oro los municipios tienen mayor riesgo de presentar casos de malaria. Alto Baudó, Atrato, El Cantón del San Pablo, Cértegui, Condoto, Istmina, Medio Baudó, Nóvita, Quibdó, Sipí, Tadó y Unión Panamericana fueron los municipios más afectados por malaria asociada a la alta producción de oro.

Dentro de los resultados del estudio también se encontró que los hombres tienen un riesgo mayor de presentar malaria, lo que se ha descrito anteriormente en otros estudios y esta probablemente relacionado con factores que afectan la exposición al mosquito, como el trabajo al aire libre; tal sería el caso de la minería de oro a cielo abierto.

Además, se encontró que los municipios con mayores niveles de necesidades básicas insatisfechas (entre los cuartiles 2 y 3) también tuvieron mayor riesgo de malaria.

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1 TIPO DE TRABAJO**

La presente investigación es aplicada ya que se trabaja con información departamental dinámica que generan patrones relacionables en el espacio y tiempo, agregando información de valor a el sistema de vigilancia de salud pública departamental.

Tiene un enfoque cuantitativo, porque se trabaja con datos de enfermedades reportadas ante el instituto nacional de salud (INS), proyecciones de la población de los municipios del Chocó y la base de producción de oro por municipios se sustrajo del Sistemas de Información Minero Colombiano (SIMCO), en el periodo de 2017- 2019, por lo cual se pretende describir los patrones de las relaciones espaciales de estas variables en el departamento del Chocó, además se emplea métodos de análisis espacial como lo es el índice de Moran Bivariado en el Software Geodas.

La metodología empleada se divide en tres fases que contribuyen a los resultados esperados y son los siguientes:

### **6.2 FASE I**

En esta primera fase se llevó a cabo toda la revisión bibliográfica necesaria para desarrollar las siguientes fases del proyecto, además de la solicitud de la información referente a los casos de malaria conservando los criterios de protección de datos en seguridad, privacidad y acceso a la información.

### **6.3 FASE II**

Se llevo a cabo todo el proceso de recolección de los datos en las siguientes fuentes de información y llegar a los objetivos propuestos.

Para obtener la base de datos de casos de malaria, se realizó la respectiva solicitud de información a la secretaría de Salud Departamental del Chocó, la cual suministraron los datos referentes a los eventos reportados de las enfermedades del vector Malaria para los años de 2017 al 2019.

ID	Municipios	Ca_2017	Ca_2017_%	Ca_2018	Ca_2018_%	Ca_2019	Ca_2019_%
27006	ACANDÍ	17	0,10	206	1,20	59	0,24
27025	ALTO BAUDÓ	1394	8,37	2306	13,43	2842	11,44
27050	ATRATO	475	2,85	381	2,22	598	2,41
27073	BAGADÓ	490	2,94	837	4,88	2092	8,42
27075	BAHÍA SOLANO	176	1,06	97	0,57	216	0,87
27077	BAJO BAUDÓ	809	4,86	1891	11,02	2753	11,09
27099	BOJAYÁ	216	1,30	348	2,03	358	1,44
27150	CARMEN DEL DARIÉN	56	0,34	79	0,46	333	1,34
27160	CÉRTEGUI	230	1,38	175	1,02	350	1,41
27205	CONDOTO	77	0,46	55	0,32	97	0,39
27135	EL CANTÓN DEL SAN PABLO	320	1,92	259	1,51	474	1,91
27245	EL CARMEN	2	0,01	3	0,02	2	0,01
27250	EL LITORAL DEL SAN JUÁN	158	0,95	129	0,75	206	0,83
27361	ISTMINA	384	2,31	306	1,78	401	1,61
27372	JURADÓ	7	0,04	8	0,05	26	0,10
27413	LLORÓ	1377	8,27	1363	7,94	838	3,37
27425	MEDIO ATRATO	945	5,68	475	2,77	546	2,20
27430	MEDIO BAUDÓ	269	1,62	592	3,45	843	3,39
27450	MEDIO SAN JUAN	850	5,11	832	4,85	878	3,54
27491	NÓVITA	348	2,09	100	0,58	253	1,02
27495	NUQUÍ	412	2,48	129	0,75	387	1,56
27001	QUIBDÓ	5564	33,43	4173	24,31	6681	26,90
27580	RIO IRÓ	98	0,59	34	0,20	71	0,29
27600	RIO QUITO	559	3,36	672	3,91	884	3,56
27615	RIOSUCIO	29	0,17	19	0,11	172	0,69
27660	SAN JOSÉ DEL PALMAR	188	1,13	383	2,23	221	0,89
27745	SIPÍ	23	0,14	73	0,43	51	0,21
27787	TADÓ	1079	6,48	1064	6,20	1875	7,55
27800	UNGUÍA	6	0,04	47	0,27	65	0,26
27810	UNIÓN PANAMERICANA	88	0,53	131	0,76	260	1,05

Tabla 2: Casos de Malaria y porcentaje de los años 2017-2019- Elaboración propia; Fuente: (secretaría de Salud Departamental del Chocó, 2020)

Fue necesario recolectar información del DANE de las estimaciones de población a nivel municipal periodo 2005 – 2017, teniendo en consideración solo el 2017; para el 2018 y 2019 se consideraron las proyecciones de población 2018-2020, total municipal por área (DANE, 2018).

ID	Municipios	P_2017	P_2018	P_2019	ID2	Municipios2	P_20172	P_20182	P_20192
27006	ACANDÍ	13913	13999	14085	27413	LLORÓ	9722	9786	9850
27025	ALTO BAUDÓ	27186	27584	27982	27425	MEDIO ATRATO	10527	10672	10817
27050	ATRATO	5981	6063	6145	27430	MEDIO BAUDÓ	14813	15109	15405
27073	BAGADÓ	10873	11011	11149	27450	MEDIO SAN JUAN	10440	10579	10718
27075	BAHÍA SOLANO	10039	10123	10207	27491	NÓVITA	9079	9116	9153
27077	BAJO BAUDÓ	29651	29957	30263	27495	NUQUÍ	15987	16223	16459
27099	BOJAYÁ	11934	12073	12212	27001	QUIBDÓ	128432	129237	130042
27150	CARMEN DEL DARIÉN	17936	18433	18930	27580	RIO IRÓ	5397	5467	5537
27160	CÉRTEGUI	5565	5635	5705	27600	RIO QUITO	8117	8236	8355
27205	CONDOTO	12265	12464	12663	27615	RIOSUCIO	52440	53449	54458
27135	EL CANTÓN DEL SAN PABLO	6022	6116	6210	27660	SAN JOSÉ DEL PALMAR	4916	5015	5114
27245	EL CARMEN	8189	8193	8197	27745	SIPÍ	3146	3174	3202
27250	EL LITORAL DEL SAN JUÁN	21096	21669	22242	27787	TADÓ	17839	17925	18011
27361	ISTMINA	30736	30739	30742	27800	UNGUÍA	12788	12821	12854
27372	JURADÓ	6596	6685	6774	27810	UNIÓN PANAMERICANA	6723	6816	6909

Tabla 3: Proyecciones poblacional del departamento del Chocó, Fuente: (DANE, 2018)

Para calcular el IPA- Índice Parasitario Anual, es necesario utilizar la Tabla1 y Tabla 2 donde se indica los casos de malaria y los datos poblacional del departamento del Chocó por municipios, aplicando la siguiente formula:

$$IPA = \frac{\text{Nuevos Casos reportados}}{\text{Población bajo vigilancia}} * 1000$$

ID	Municipios	Ca_2017	Ca_2018	Ca_2019	P_2017	P_2018	P_2019	IPA_2017	IPA_2018	IPA_2019
27006	ACANDÍ	17	206	59	13913	13999	14085	1,22	14,72	4,19
27025	ALTO BAUDÓ	1394	2306	2842	27186	27584	27982	51,28	83,60	101,57
27050	ATRATO	475	381	598	5981	6063	6145	79,42	62,84	97,31
27073	BAGADÓ	490	837	2092	10873	11011	11149	45,07	76,01	187,64
27075	BAHÍA SOLANO	176	97	216	10039	10123	10207	17,53	9,58	21,16
27077	BAJO BAUDÓ	809	1891	2753	29651	29957	30263	27,28	63,12	90,97
27099	BOJAYÁ	216	348	358	11934	12073	12212	18,10	28,82	29,32
27150	CARMEN DEL DARIÉN	56	79	333	17936	18433	18930	3,12	4,29	17,59
27160	CÉRTEGUI	230	175	350	5565	5635	5705	41,33	31,06	61,35
27205	CONDOTO	77	55	97	12265	12464	12663	6,28	4,41	7,66
27135	EL CANTÓN DEL SAN PABLO	320	259	474	6022	6116	6210	53,14	42,35	76,33
27245	EL CARMEN	2	3	2	8189	8193	8197	0,24	0,37	0,24
27250	EL LITORAL DEL SAN JUÁN	158	129	206	21096	21669	22242	7,49	5,95	9,26
27361	ISTMINA	384	306	401	30736	30739	30742	12,49	9,95	13,04
27372	JURADÓ	7	8	26	6596	6685	6774	1,06	1,20	3,84
27413	LLORÓ	1377	1363	838	9722	9786	9850	141,64	139,28	85,08
27425	MEDIO ATRATO	945	475	546	10527	10672	10817	89,77	44,51	50,48
27430	MEDIO BAUDÓ	269	592	843	14813	15109	15405	18,16	39,18	54,72
27450	MEDIO SAN JUAN	850	832	878	10440	10579	10718	81,42	78,65	81,92
27491	NÓVITA	348	100	253	9079	9116	9153	38,33	10,97	27,64
27495	NUQUÍ	412	129	387	15987	16223	16459	25,77	7,95	23,51
27001	QUIBDÓ	5564	4173	6681	128432	129237	130042	43,32	32,29	51,38
27580	RIO IRÓ	98	34	71	5397	5467	5537	18,16	6,22	12,82
27600	RIO QUITO	559	672	884	8117	8236	8355	68,87	81,59	105,80
27615	RIOSUCIO	29	19	172	52440	53449	54458	0,55	0,36	3,16
27660	SAN JOSÉ DEL PALMAR	188	383	221	4916	5015	5114	38,24	76,37	43,21
27745	SIPÍ	23	73	51	3146	3174	3202	7,31	23,00	15,93
27787	TADÓ	1079	1064	1875	17839	17925	18011	60,49	59,36	104,10
27800	UNGUÍA	6	47	65	12788	12821	12854	0,47	3,67	5,06
27810	UNIÓN PANAMERICANA	88	131	260	6723	6816	6909	13,09	19,22	37,63

Tabla 4: Índice parasitario Anual IPA por municipios en el departamento del Chocó-  
Elaboración propia.

Se recolecto también todas las áreas con títulos mineros para la explotación de oro del Chocó, dicha base se sustrajo de (Tierras Minadas, 2018), catastro minero colombiano.

Las capas geográficas fueron obtenidas del IGAC

La base de producción de oro por municipios se sustrajo del Sistemas de Información Minero Colombiano (SIMCO), en el área de Producción, regalías y comercio exterior, teniendo producciones de oro en gramos para los años 2017- 2019 (UPME, 2020)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> UPME: Unidad de Planeación Minero Energética

ID	Municipios	Pr_2017_gr	Pr_2017_%	Pr_2018_gr	Pr_2018_%	Pr_2019_gr	Pr_2019_%	Total	Total_%
27361	ISTMINA	1800555	22,45	1220944	28,54	513992	10,64	3535491	20,64%
27205	CONDOTO	1261479	15,73	686553	16,05	762236	15,78	2710268	15,82%
27073	BAGADÓ	1491570	18,60	308866	7,22	534132	11,06	2334568	13,63%
27001	QUIBDÓ	914342	11,40	420342	9,83	582113	12,05	1916797	11,19%
27810	UNIÓN PANAMERICANA	53430	0,67	203739	4,76	876443	18,14	1133612	6,62%
27135	EL CANTÓN DEL SAN PABLO	15996	0,20	186783	4,37	628748	13,01	831527	4,85%
27413	LLORÓ	230091	2,87	219549	5,13	214769	4,45	664409	3,88%
27050	ATRATO	213796	2,67	215366	5,03	179847	3,72	609009	3,56%
27787	TADÓ	438758	5,47	84422	1,97	79340	1,64	602520	3,52%
27491	NÓVITA	302128	3,77	84532	1,98	130060	2,69	516720	3,02%
27425	MEDIO ATRATO	165005	2,06	207256	4,85	117626	2,43	489887	2,86%
27150	CARMEN DEL DARIÉN	392357	4,89	0	0,00	0	0,00	392357	2,29%
27600	RIO QUITO	148710	1,85	137082	3,20	103260	2,14	389052	2,27%
27006	ACANDÍ	273757	3,41	0	0,00	0	0,00	273757	1,60%
27245	EL CARMEN	102861	1,28	165295	3,86	0	0,00	268156	1,57%
27160	CÉRTEGUI	116002	1,45	29835	0,70	44573	0,92	190410	1,11%
27450	MEDIO SAN JUAN	25403	0,32	69289	1,62	39320	0,81	134012	0,78%
27745	SIPÍ	45723	0,57	21636	0,51	7740	0,16	75099	0,44%
27580	RIO IRÓ	13434	0,17	16007	0,37	16954	0,35	46395	0,27%
27615	RIOSUCIO	14422	0,18	0	0,00	0	0,00	14422	0,08%
27660	SAN JOSÉ DEL PALMAR	68	0,00	0	0,00	0	0,00	68	0,00%
27430	MEDIO BAUDÓ	13	0,00	0	0,00	0	0,00	13	0,00%
27025	ALTO BAUDÓ	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00%
27075	BAHÍA SOLANO	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00%
27077	BAJO BAUDÓ	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00%
27099	BOJAYÁ	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00%
27250	EL LITORAL DEL SAN JUÁN	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00%
27372	JURADÓ	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00%
27495	NUQUÍ	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00%
27800	UNGUÍA	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00%

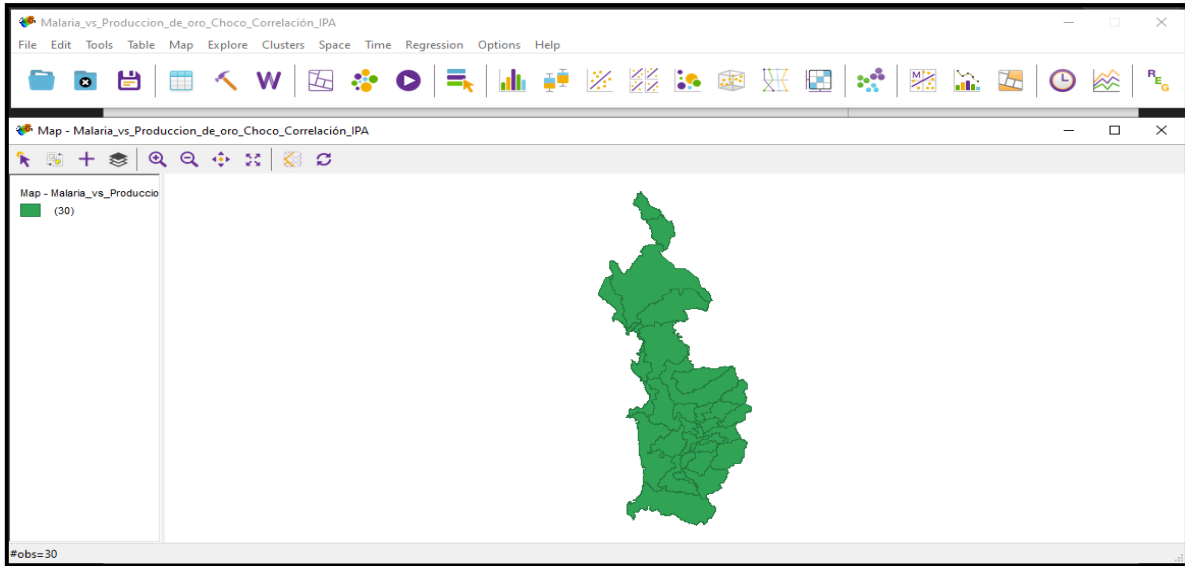
*Tabla 5: Producción de Oro y Porcentaje anual por Municipios del Departamento del Chocó- (UPME, 2020)*

### 6.4 FASE III.

Para esta fase cada base obtenida (base de producción de oro, base de casos malaria y proyección poblacional para calcular el IPA) se consolidó en un solo archivo de Excel de forma tabular con sus respectivos datos y porcentajes divididos por municipios, con el fin de espacializar la información en el ambiente geográfico trabajado bajo las potencialidades del software QGIS, el cual facilita este proceso realizando un Join o unión con el "ID" que contiene la capa geográfica de municipios obtenidas del el IGAC, para trabajar con estas mismas bases pero desde un punto geográfico, en formato Shapefile almacenando las geometrías de la capa y los datos alfanuméricos ya espacializados.

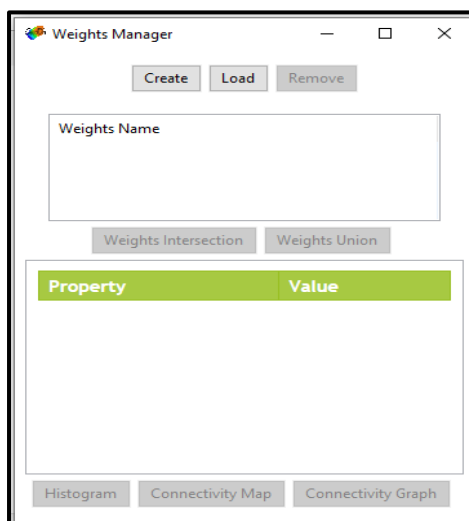
Estructurada cada una de las bases para aplicar las técnicas de análisis espacial en el Software libre SIG GEODA, que permite interpretar las relaciones espaciales que tengan en común un lugar en el espacio; se abre la capa Shapefile en GEODA que, además

permite otras entradas como: GeoJSON, GeoPackage, Geodatabase, archivos de Excel, etc.



*Figura 7: Interfaz del GEODA una vez abierto el archivo espacializados a nivel de municipios, Departamento del Chocó*

Antes de realizar el proceso del I de Moran Bivariado, se debe establecer la matriz de pesos espaciales, para esta investigación se trabajó con el tipo reina, porque tiene en consideración todas las direcciones (de un punto o polígono), es decir los vecinos de cada municipio en comparación con las variables trabajadas, también se establece un identificador único (Id), para este caso se tomó el mismo Id de la capa geográfica del IGAC.



*Figura 8: Panel que se despliega en el apartado de herramientas, para crear la matriz de pesos espaciales, Elaborado en el Software GeoDa.*

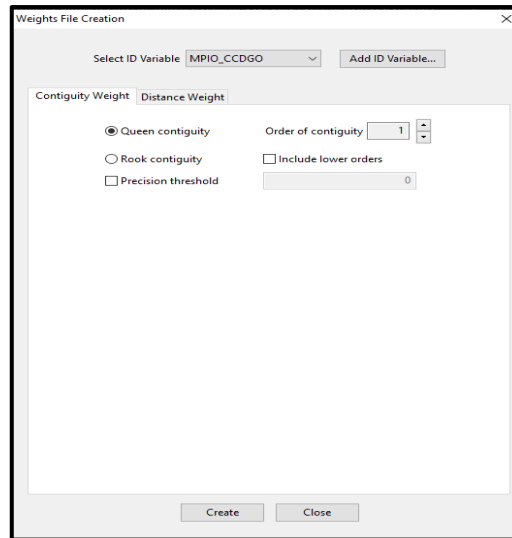


Figura 9: Creando la Matriz de pesos espaciales de Tipo Reina y orden 1, Elaborado en el Software GeoDa.

Se escoge de tipo reina para considerar todas las direcciones y orden 1 para que considere los vecinos más cercanos, en este caso de cada municipio.

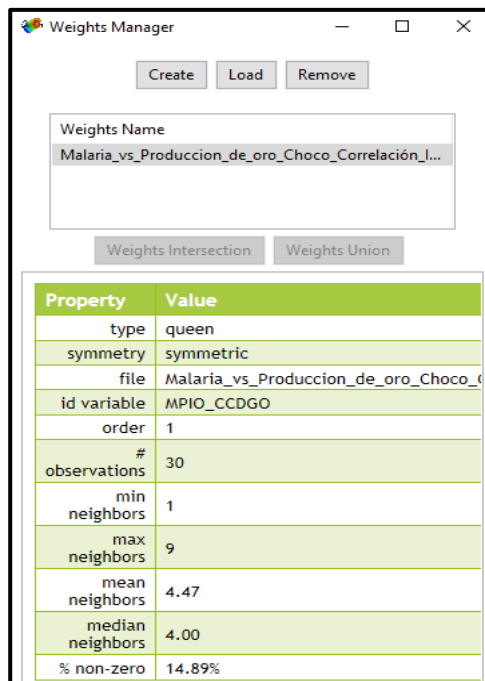


Figura 10: Propiedades de la matriz de pesos espaciales. Software GeoDa.

Dentro de las propiedades de la matriz de pesos espaciales se encuentra que es de tipo reina, simétrica, nombre de la matriz guardada, el orden de vecinos, total de filas o datos



en estudio, Unidad espacial de menos vecinos, Unidad espacial que tiene más vecinos, media, mediana y el porcentaje de no cero.

Una vez creada la matriz, se escoge el proceso del I de Moran Bivariado y se establecen las variables para analizar, en este caso se consideró el porcentaje de producción de oro anual y el IPA (índice parasitario anual), lo que se busca es estandarizar las variables, analizarlas y detectar posibles patrones.

En este caso se analizaron los siguientes años 2017, 2018 y 2019.

#### 6.4.1 Año 2017.

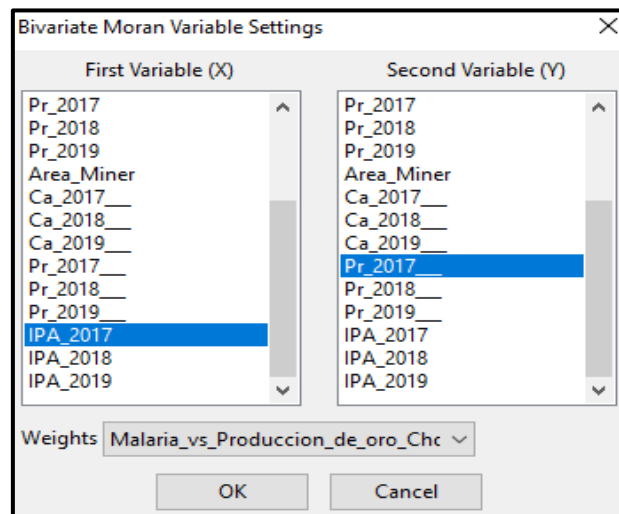


Figura 11: Ajustes para el I de Moran Bivariado, la variable en el eje (X) indica el IPA y en el eje (Y) es el porcentaje de producción de Oro para el año 2017, Elaborado en el Software GeoDa.

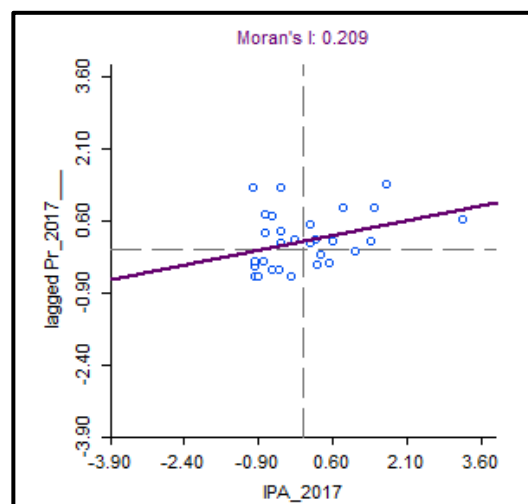


Figura 12: Agrupaciones de valores por cuadrantes 1.Alto- Alto, 2.Bajo-Alto, 3.Bajo-Bajo y 4.Alto-Bajo (Figura. 4), y la pendiente de la recta indica el I de Moran Bivariado para el año 2017. Elaborado en el Software GeoDa.

En la (Figura 12) podemos observar los datos empíricos graficados, en este caso porcentajes de producción de oro vs IPA para el año 2017, el valor de la pendiente del índice de Moran “I:0,209”, indica una tendencia positiva y además hace referencia que los datos están espacialmente agrupados.

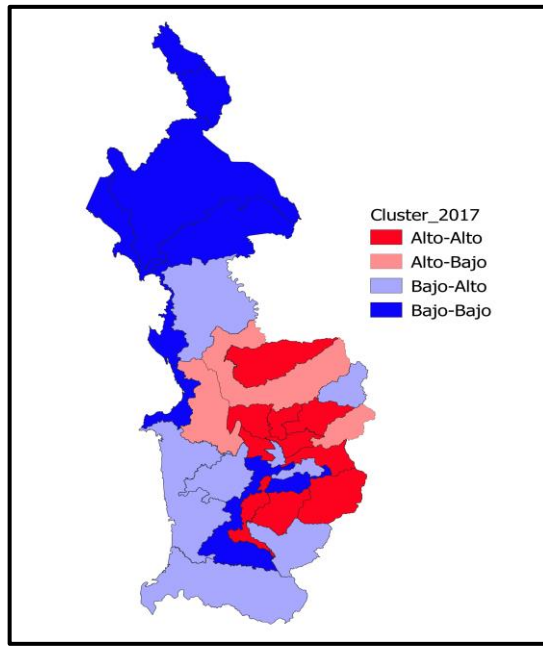


Figura 13: Mapa de Cluster, Indicando los cuadrantes del gráfico del I de Moran para el año 2017, Elaboración propia.

En la

(Figura 13), se puede observar patrones de asociación espacial en los municipios que tienen producción de oro con respecto al índice parasitario anual IPA; para evaluarlos estadísticamente es necesario realizar una prueba de hipótesis con una confianza del 90% y una significancia del 10%, siguiendo los pasos anteriormente descritos.

Paso 1: Determinar hipótesis nula y alternativa.

Ho= No Autocorrelación; es decir hipótesis nula =0

Ha= Autocorrelación Espacial; es decir hipótesis alternativa  $\neq 0$

Paso 2: Determinar el nivel de significancia.

Nivel de significancia del 10%

$\alpha = 0,1$

Nivel de Confianza del 90%

Para hallar el valor de Z o valor crítico es necesario utilizar la significancia en la siguiente ecuación y buscar el valor en la tabla de probabilidades acumuladas en la distribución normal estándar.

$$Probabilidad\ Acum = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$Probabilidad\ Acum = 1 - \frac{0,1}{2}$$

$$Probabilidad\ Acum = 0,95$$

Para una significancia del 10% el valor de Z es:  $Z = 1,645$

Paso 3: Para determinación de la zona de rechazo y no rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ), se elige una prueba de dos colas a partir de los criterios de la  $H_a$  que es diferente de 0 y la  $H_0$  supone que la no autocorrelación espacial es igual a cero.

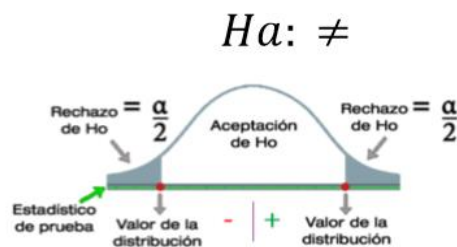


Figura 14: Prueba de hipótesis bilateral o de dos colas, escogida por  $H_a \neq 0$ .

Basados en los datos obtenidos, la gráfica queda de la siguiente manera (Figura 15), indicando el nivel de significancia dividido entre las dos colas, además el nivel de confianza y los valores críticos.

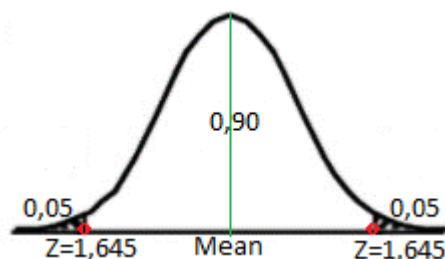


Figura 15: Prueba de hipótesis bilateral o de dos colas con una significancia del 10% y una confianza del 90%, Elaboración propia.

Es necesario realizar 999 permutaciones que es una de las ventajas que ofrece el Software GeoDa, que además representan una distribución de referencia o aleatoria de

todos los datos (Figura 16), muestra el Índice de Moran calculado o estimado ( $I:0,2089$ ), Índice de moran simulado ( $E\{I\}: -0,0345$ ), la media (mean:  $-0,0011$ ), desviación estándar (Sd: $0,0920$ ), valor de Z de prueba (Z-value: $2,2838$ ) y un P-valor (P-value:  $0,018000$ ).

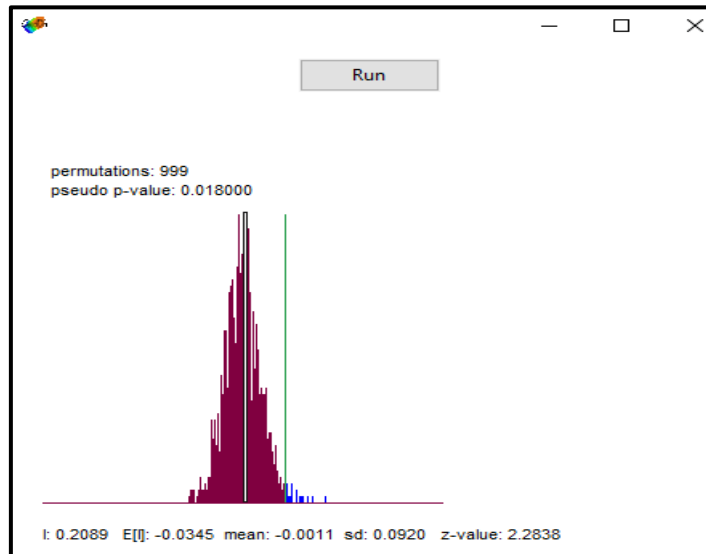


Figura 16: Permutaciones realizadas 999 a partir de los datos de referencias trabajados año 2017. Elaborado en el Software GeoDa.

La anterior figura para ser válida es necesario que el índice de moran calculado y el índice estimado se encuentren separados, en los datos se puede observar y gráficamente también ya que se pueden identificar a partir de las líneas verticales de color verde; el valor de Z de prueba que genera se encuentra en la zona de rechazo y el P valor indica que se pueden tener hasta una significancia del 3% (0,03) teniendo en consideración el valor de prueba para Z, (Ver Figura 17).

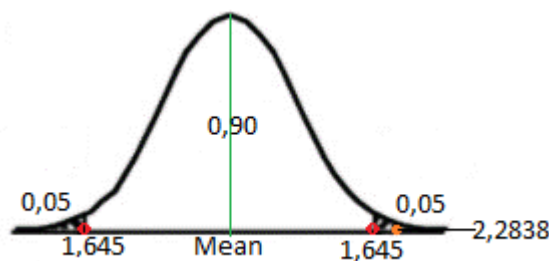
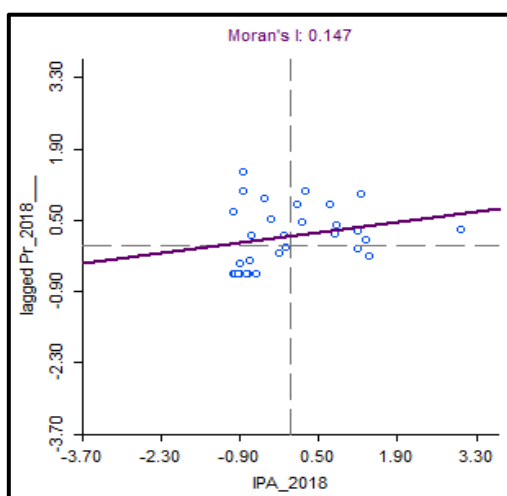


Figura 17: Prueba de hipótesis de dos colas con el valor de Z de prueba ( $Z=2,2838$ ) que arroja las permutaciones, Elaboración propia.

Los patrones de asociación espacial entre la producción de oro y el IPA son estadísticamente significativos y tienden a estar agrupados en el espacio, de acuerdo con la evidencia estadística se puede rechazar la  $H_0$  de no autocorrelación y aceptar la  $H_a$  de autocorrelación espacial para el año 2017.

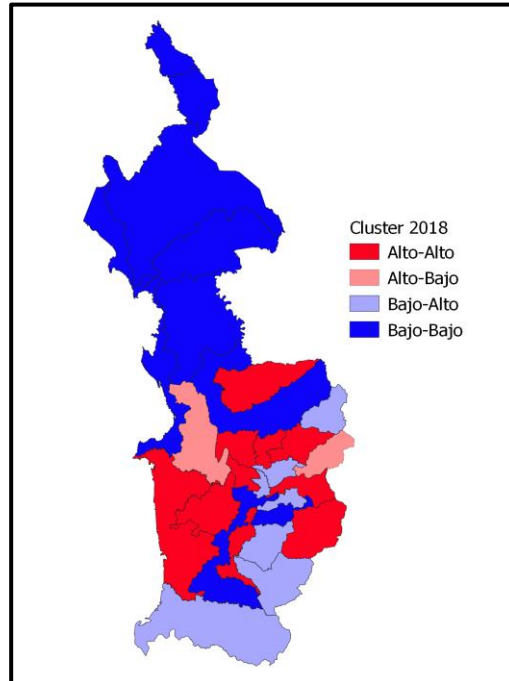
#### 6.4.2 Año 2018.

Para el 2018 se obtuvo los siguientes datos.



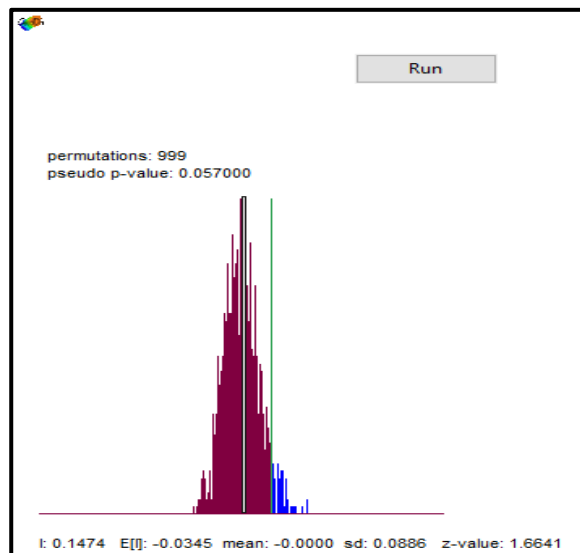
*Figura 18: Agrupaciones de valores por cuadrantes y pendiente de la recta indica el I de Moran Bivariado para el año 2018, Elaborado en el Software GeoDa.*

En la (Figura 18) se puede observar la pendiente ascendente del I de Moran Bivariado en este caso con un valor de  $I:0,147$ , y a su vez indica que los datos están espacialmente agrupados.



*Figura 19: Mapa de Cluster, Indicando los cuadrantes del gráfico del I de Moran para el año 2018, Elaboración propia.*

En la (Figura 19) se evidencia el cambio de valores agrupados con valores altos y tendencia hacia el sur y occidente del departamento del Chocó, en estos cambios se evidencia el aumento de casos de malaria en los municipios medio baudó y bajo baudó, en cambio en los municipios de nóvita y nértegui hubo una disminución en los casos de malaria.



*Figura 20: Permutaciones realizadas 999 a partir de los datos de referencias trabajados año 2018. Elaborado en el Software GeoDa.*

En la Figura 20, se puede observar las permutaciones realizadas para los datos del año 2018, indicando los valores del I de Moran estimado y simulado que se encuentran separados y un valor de Z que se ubica en la zona de rechazo.

Para evaluar la información anterior se realiza la prueba de hipótesis con un porcentaje de confianza del 90% (0,90) y una significancia del 10% (0,1).

Paso 1:

$H_0$ = No Autocorrelación;  $=0$

$H_a$ = Autocorrelación Espacial;  $\neq 0$

Paso 2:

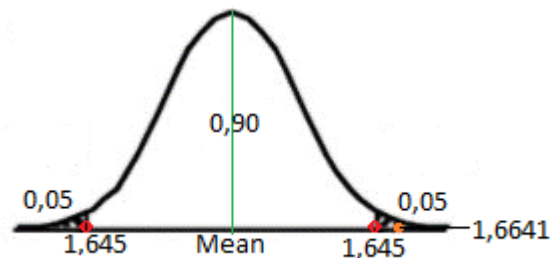
Nivel de significancia del 10%

$\alpha = 0,1$

Nivel de Confianza del 90%

Valor Z: 1,645

Paso3:



*Figura 21: Prueba de hipótesis de dos colas con el valor de Z de prueba ( $Z=1,6641$ ) que arroja las permutaciones, año 2018. Elaboración propia.*

Para este año los datos se encuentran agrupados en el espacio teniendo en cuenta que hubo varios cambios de aumentos y disminución de casos de malaria y producción de oro en algunos municipios, pero estadísticamente son significativos, y de acuerdo con esta evidencia se puede rechazar la hipótesis nula  $H_0$  y aceptar la hipótesis alternativa  $H_a$  para el año 2018

### 6.4.3 Año 2019.

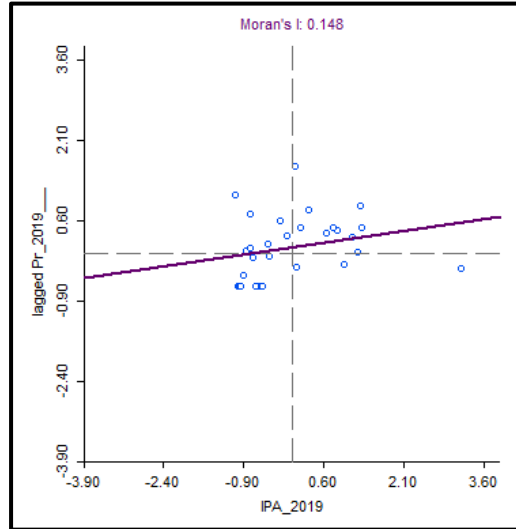


Figura 22: Agrupaciones de valores por cuadrantes y pendiente de la recta indica el I de Moran Bivariado para el año 2019. Elaborado en el Software GeoDa.

En la (Figura 22) se puede observar la pendiente ascendente del I de Moran Bivariado en este caso con un valor de  $I:0,148$ , no tiene mucha diferencia con respecto al año 2018, y a su vez indica que los datos están espacialmente agrupados.

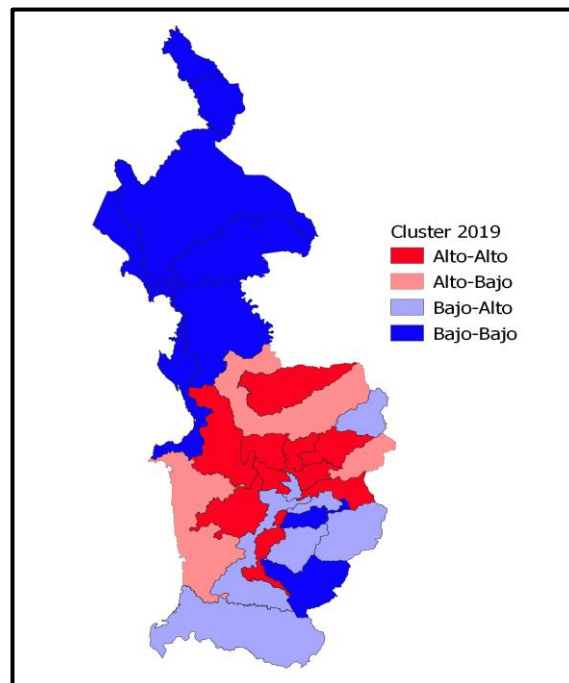
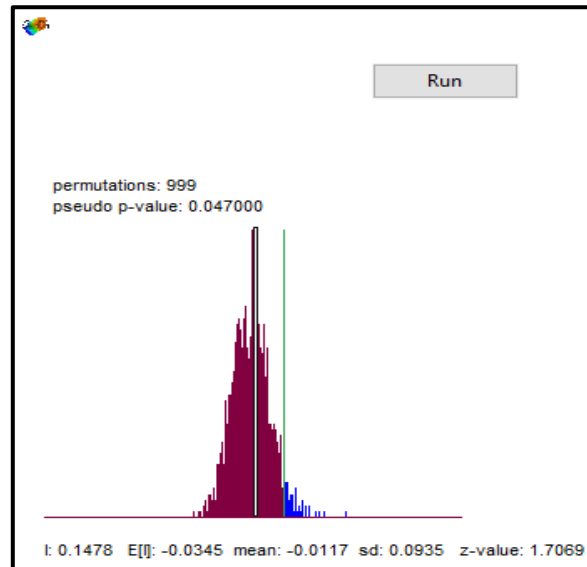


Figura 23: Mapa de Cluster, Indicando los cuadrantes del grafico del I de Moran para el año 2019, Elaboración propia.



En la (Figura 23) se evidencia concentración de valores altos- altos en el centro del departamento del Chocó, con esta misma similitud en los tres años de estudio.



*Figura 24::Permutaciones realizadas 999 a partir de los datos de referencias En la trabajados año 2019. Elaborado en el Software GeoDa.*

Figura 24, se puede observar las permutaciones realizadas para los datos del año 2019, indicando los valores del I de Moran estimado y simulado que se encuentran separados y un valor de Z que se ubica en la zona de rechazo.

Es necesario evaluar la información anterior, por lo cual se realiza la prueba de hipótesis con un porcentaje de confianza del 90% (0,90) y una significancia del 10% (0,1).

Paso 1:

$H_0 =$  No Autocorrelación;  $=0$

$H_a =$  Autocorrelación Espacial;  $\neq 0$

Paso 2:

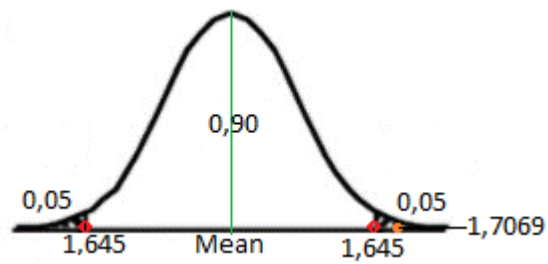
Nivel de significancia del 10%

$\alpha = 0,1$

Nivel de Confianza del 90%

Valor Z: 1,645

Paso3:



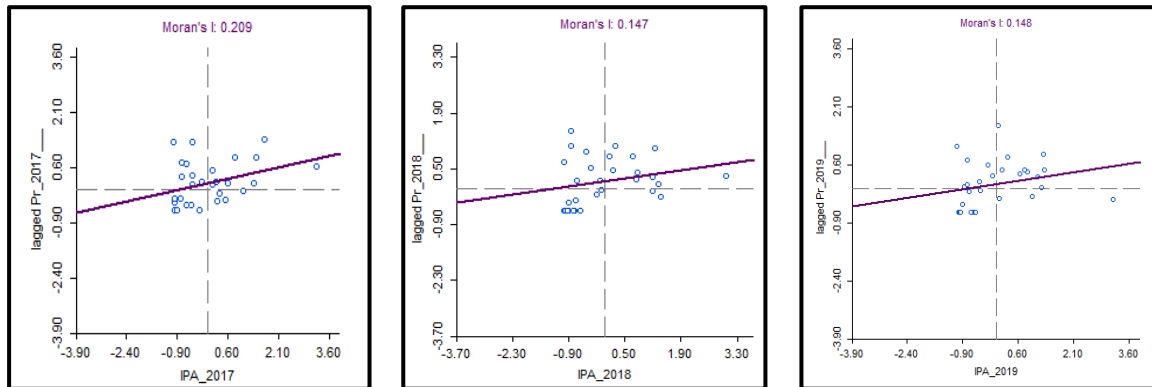
*Figura 25: Prueba de hipótesis de dos colas con el valor de Z de prueba ( $Z=1,7069$ ) que arroja las permutaciones, año 2019. Elaboración propia.*

Para este año los datos se encuentran agrupados en el espacio teniendo en cuenta que hubo varios cambios de aumentos y disminución de casos de malaria y producción de oro en algunos municipios, estadísticamente los datos son significativos, y de acuerdo con esta evidencia se puede rechazar la hipótesis nula  $H_0$  y aceptar la hipótesis alternativa  $H_a$  para el año 2019.

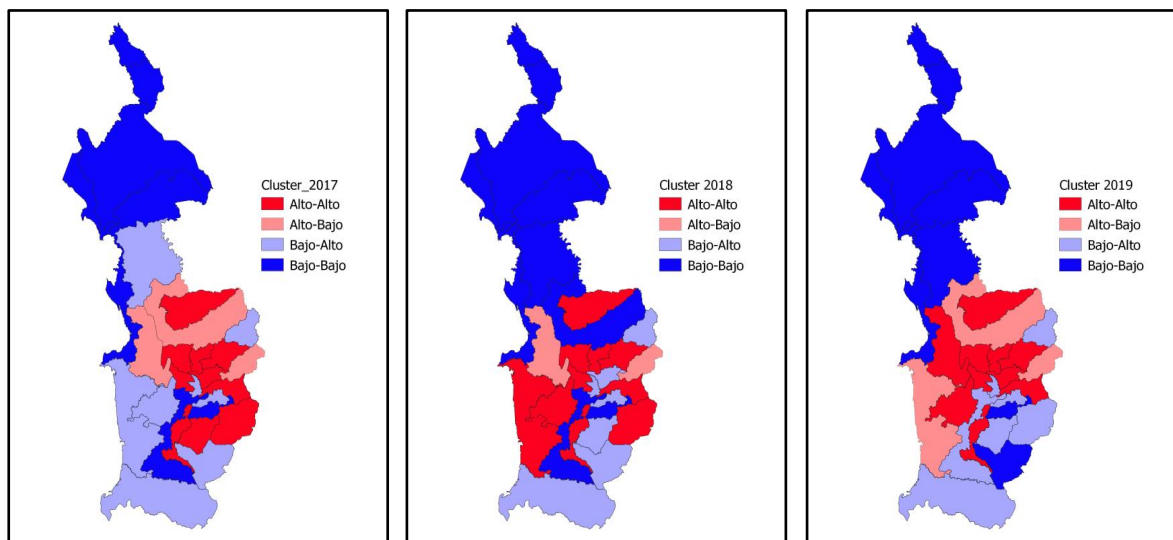
## 7. RESULTADOS

En el presente trabajo se llevó a cabo una serie de análisis que permitieron conocer la relación entre los porcentajes de producción de oro vs el índice parasitario anual (IPA) en departamento del Chocó.

Con el índice de moran bivariado para tres años consecutivos (2017,2018 y 2019), se obtuvo pendientes positivas mayor a cero para cada año, lo que indica una agrupación de los datos en el espacio y una relación directa entre los datos de porcentajes de producción de oro y el IPA; esto permite al sistema de vigilancia de salud pública localizar las zonas más afectadas o vulnerables, poder inclinar sus recursos y consecuentemente mejorar los tiempos de respuesta a la emergencia.



A continuación, se muestran los cluster de los años 2017, 2018 y 2019, los cuales indican los cuadrantes del gráfico del índice de Moran y los patrones de asociación espacial en los municipios que tienen producción de oro con respecto al índice parasitario anual IPA.



*Figura 26: Comparación de los Cluster para cada año en estudio, I: Cluster año 2017, II: Cluster año 2018, III: Cluster año 2019. Elaboración Propia.*

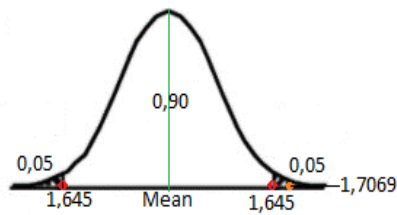
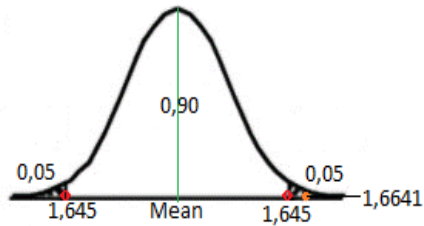
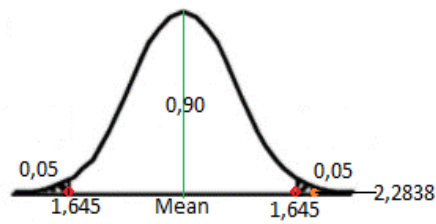
En este análisis se obtuvo cuatro cuadrantes, a partir del índice de moran bivariado, los cuales son alto- alto, bajo- bajo, que indican una relación de las variables, y los otros dos cuadrantes alto- bajo, bajo- alto, son considerados transitorios es decir pueden cambiar con respecto al tiempo y el lugar.

- El cuadrante Alto-Alto (color rojo), representa los municipios con Alto índice parasitario anual IPA y porcentaje de producción de oro alto, estos corresponden a una relación directa entre estas variables, lo que indica que la minería influye en gran medida en la reproducción del insecto transmisor de la malaria y por lo tanto ha desencadenado un elevado número en los casos de malaria. En este cuadrante se encontraron 7 municipios (Medio Atrato, Rio Quito, Atrato, Lloró, El Canto del San Pablo, Tadó, Medio San Juan), que permanecen constantes los tres años consecutivos, estos municipios se ubican en la zona centro del departamento, y presentan una extensión territorial reducida, lo que indica que por corresponder a municipios de poca extensión y presentar gran número de pobladores se facilita la transmisión de esta mortal enfermedad.
- El cuadrante Alto-Bajo (color rosa), representa los municipios con alto IPA y bajo porcentaje de producción de oro. En este análisis solo se tuvo en cuenta

información oficial para la variable de la producción de oro, lo que permitió determinar la existencia de minería ilegal en estos municipios, debido a que dicha producción de oro obtenida mediante minería ilegal no es debidamente registrada y documentada, lo que genera un déficit de información y por lo tanto no se consideró en este análisis.

- El cuadrante Bajo-Alto (color azul claro), representa los municipios con bajo IPA y alto porcentaje de producción de oro, a este cuadrante pertenecen pocos municipios, correspondiendo al cuadrante de menor incidencia en el presente análisis; esto hace referencia a que la minería que se lleva a cabo en estos municipios cumple las normativas ambientales establecidas, lo cual impiden generar ambientes propicios de criaderos de mosquitos y se evidencia por el bajo índice parasitario anual IPA.
- El cuadrante Bajo-Bajo (color azul oscuro), representado por 7 municipios (Acandí, Unguía, Riosucio, Juradó, Carmen del Darién, Bahía Solano y Condoto) con Bajo porcentaje de producción de oro y un IPA Bajo, estos corresponden a una relación directa entre estas variables, lo que indica que la minería influye en gran medida en la reproducción del insecto transmisor de la malaria y por lo tanto ha desencadenado un elevado número en los casos de malaria. A menor porcentaje de producción de oro se presentan menos casos de malaria.

En el presente análisis se encontró que, a mayor porcentaje de producción de oro en un municipio, tiene mayor riesgo de presentar casos de malaria en su población, los municipios con mayor afectación por malaria asociada a la producción de oro son: Medio Atrato, Rio Quito, Atrato, Lloró, El Canto del San Pablo, Tadó, Medio San Juan, estos municipios se encuentran en la zona céntrica del departamento, los cuales presentan reducida extensión territorial ( $Km^2$ ) y alto número de habitantes, lo que indica un mayor riesgo de malaria para los municipios con densidad de población alta.



Los patrones de asociación espacial entre la producción de oro y el IPA son estadísticamente significativos y tienden a estar agrupados en el espacio, de acuerdo con la evidencia estadística se puede rechazar la  $H_0$  de no autocorrelación y aceptar la  $H_a$  de autocorrelación espacial para los años 2017, 2018 y 2019.

## 8. CONCLUSIONES

Trabajar con información georreferenciada y que compartan un lugar en el espacio, permite relacionar la información, facilitando la interpretación de los análisis que a la vez genera mejoras en los procesos de toma de decisiones, disminuyendo los tiempos de respuesta.

En el análisis del índice de Moran bivariado se ubica con una tendencia positiva para los tres años en estudio (2017, 2018 y 2019), que indica una existencia de patrones de asociación espacial de las variables y relación directa del IPA con respecto a la producción de oro en unidades vecinas.

Con esta investigación se evidenció que, a mayor porcentaje de producción de oro en un municipio, tiene mayor riesgo de presentar índice parasitario anual con valores altos y consecuentemente mayores casos de malaria, considerando el componente geográfico; un estudio realizado en Colombia exactamente en la región pacífica lo evidencia a partir de análisis descriptivos, por el cual afirman que “por cada 100,000 gramos de oro producido, el IPA aumenta 0,54 casos por cada 1000 habitantes” (Castellanos et al., 2016); Lo anterior se traduce en afectaciones de salud pública.

Los municipios con mayor riesgo son: Medio Atrato, Río Quito, Atrato, Lloró, El Canto del San Pablo, Tadó, Medio San Juan, la mayoría de estos municipios tienen una particularidad en la extensión reducida del territorio y altos asentamientos de la población, lo que eleva el riesgo de contagio por malaria a partir de picaduras de mosquitos.

## **9. RECOMENDACIONES**

Realizar un control efectivo de las actividades mineras en el departamento de acuerdo con la legislación vigente, con el fin de mitigar y erradicar la minería ilegal en esta zona del país y ejercer un seguimiento a la minería legalmente establecida para hacer cumplir las normas de protección de los recursos naturales.

Elaborar estudios basados en análisis de imágenes satelitales con el fin de identificar zonas propensas a la actividad minera ilegal de oro y así facilitar la identificación de posibles patrones espaciales.

Realizar estudios que permitan identificar los vectores de la malaria dentro de la minería de oro y de esta forma controlar los criaderos de mosquitos transmisores de dicha enfermedad.

Unos de los puntos críticos es el acceso a la información, y es una de las fuentes principales por la cuales genera una alta tasa de mortalidad al desconocerla, por lo cual es necesario elaborar un geoportal que permita conocer en tiempo real los casos de malaria actuales con su ubicación exacta y poder almacenar toda esta información en bases de datos para ser analizadas posteriormente con el fin de optimizar los procesos en la toma de decisiones.

Las pruebas de hipótesis se determinan a consideración propia para esta investigación, pero también se puede trabajar con un 5% o 1% de significancia si se requiere, lo que corresponde a un 95% y 99% de confianza respectivamente.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

- ANSELIN. (1993). The Moran Scatterplot as an ESDA tool to asses instability in local association". . *GISDATA. Specialist Meeting on Gis and Spatial Analysis.*, 23.
- ANSELIN. (1995). Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*, Vol. 27, 93-115.
- Anselin. (2003). *GeoDa*. Obtenido de <http://geodacenter.github.io/>
- Anselin. (2003). *Spatial Autocorrelation Refresher*. Champaign-EEUU: Dept. Agricultural and Consumer Economics University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Arias, Osorio y Gonzáles, L A. (2015). *Distribución de los casos de malaria importada en un municipio no endémico del nordeste antioqueño (colombia), 2008-2013*.
- Asivamosensalud. (2020). *Asivamosensalud*. Obtenido de Asivamosensalud: [https://www.asivamosensalud.org/indicadores/enfermedades-transmisibles/indice-parasitario-anual-de-malaria-georeferenciado#:~:text=El%20%C3%8Dndice%20Parasitario%20Anual%20de%20Malaria%20\(IPA\)%20expresa%20la%20relaci%C3%B3n,entre%20la%20poblaci%C3%B3n%20e](https://www.asivamosensalud.org/indicadores/enfermedades-transmisibles/indice-parasitario-anual-de-malaria-georeferenciado#:~:text=El%20%C3%8Dndice%20Parasitario%20Anual%20de%20Malaria%20(IPA)%20expresa%20la%20relaci%C3%B3n,entre%20la%20poblaci%C3%B3n%20e)
- Barrios et, al. (2016). Tablas de Probabilidades. En E. B. Zamudio, J. A. Perez, & J. M. Villazon. Mexico.
- Buzai & Baxendale. (2006). *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires.
- BUZAI. (2005). Los Sistemas de Información Geográfica y sus métodos de análisis en el continuo resolución- integración. *En Memorias X Xonferencias iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*, (pág. 17). San Juan- Puerto Rico.
- Castellanos et al. (January de 2016). Malaria in gold-mining areas in Colombia. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 111, 59-66.
- Celemín. (2019). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial, Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía Vol.18*, 11-31.
- Consoli e De Olivella. (1994). Principais mosquitos de importancia sanitaria no Brasil. En C. R. R.L, *Principais mosquitos de importancia sanitaria no Brasil*. (pág. 228). Brasil: Editora Fiocruz.
- DANE. (2018). *proyecciones anuales de población por sexo y edad para el período 2018-2020*. Chocó.
- DANE. (2018). *Resultado del Censo Nacional de Población y Vivienda*. Chocó.
- Dinero. (31 de Agosto de 2017). *La riqueza minera de Colombia en otros materiales- Minería*. Obtenido de <https://www.dinero.com/edicion-impresa/informe-especial/articulo/riqueza-minera-de-colombia/249256>
- INS. (2019). *INSTITUTO NACIONAL DE SALUD* . Obtenido de ENFERMEDADES TRANSMISIBLES: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/Vigilancia/Paginas/Transmisibles.aspx>
- MedlinePlus*. (07 de Septiembre de 2020). Obtenido de MedlinePlus: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000621.htm>
- MinSalud. (2013). *Malaria- Social, Ministerio de Salud y Protección*.
- Minsalud. (2018). *MINISTERIO DE SALUD*. Obtenido de Malaria: <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PET/Paginas/malaria.aspx>

- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- OMS. (2015). *Informe mundial sobre Paludismo- Organización Mundial de la Salud*.
- Ramirez, M. L. (2004). LA MODERNA GEOGRAFÍA DE LA SALUD Y LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. *Investigaciones y Ensayos Geográficos de la Carrera de geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Formosa*.
- Rivera et al. (2016). *Explotación de oro de aluvión evidencias a partir de percepción remota*.
- Siabato, W & Manrique, J. (2018). La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. *Cuadernos de Geografía*, 10.
- Sorre & Maximilian. (1955). *Epidemiología e geografía*.
- Tierras Minadas. (2018). <https://sites.google.com/site/tierraminada/>. Obtenido de <https://sites.google.com/site/tierraminada/>: <https://sites.google.com/site/tierraminada/>
- Tobler. (1970). *A computer model simulation of urban growth in the Detroit region. Economic Geography*.
- Tomlin, C. Dana. (1990). Tomlin, C. Dana Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. *Cahiers de géographie du Québec*.
- UNODC. (2014). *Explotación de oro de aluvión, Evidencias a partir de percepción remota*. COLOMBIA.
- UPME. (2020). <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/Informacion-estadistica-minera.aspx>. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/Informacion-estadistica-minera.aspx>: <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/Informacion-estadistica-minera.aspx>
- UPME, U. e. (2017). *Marco Nacional de Cualificaciones*. 9.
- Valcárcel & José Ortega. (2000). *Los horizontes de la geografía*.