

**ANALISIS ESPACIAL DE LA DISTRIBUCION DEL VECTOR AEDES AEGYPTI Y CULEX  
QUINQUEFASCIATUS EN LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS EN EL AREA URBANA  
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI DURANTE EL AÑO 2009**

**DAVIS ALEXANDER ALOMIA CAMACHO**

**ANDRES AUGUSTO ARROYO PEREZ**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA  
INGENIERIA TOPOGRAFICA  
SANTIAGO DE CALI, AGOSTO DE 2011**

**ANALISIS ESPACIAL DE LA DISTRIBUCION DEL VECTOR AEDES AEGYPTI Y CULEX  
QUINQUEFASCIATUS EN LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS EN EL AREA URBANA  
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI DURANTE EL AÑO 2009**

**DAVIS ALEXANDER ALOMIA CAMACHO**

**ANDRES AUGUSTO ARROYO PEREZ**

**Documento Presentado como requisito para optar el título de  
INGENIERO TOPOGRAFICO**

**DIRECTOR**

**MONICA PRECIADO VARGAS**  
Docente Universidad del Valle



**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA  
INGENIERIA TOPOGRAFICA  
SANTIAGO DE CALI, AGOSTO DE 2011**

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

---

**MONICA PRECIADO VARGAS**  
DIRECTORA

---

**FRANCISCO LUIS HERNANDEZ**  
JURADO

---

**JIBER ANTONIO QUINTERO**  
JURADO

Santiago de Cali, Agosto de 2011

## DEDICATORIA

*Este trabajo que se resume en el mayor logro de nuestras vidas está dedicado a todas aquellas personas que de alguna u otra manera fueron partícipes en nuestra formación profesional y personal.*

*Especialmente a nuestros padres: Norelia Pérez Herrera, Abel Augusto Arroyo Torres; Carolina Camacho Lis.*

*Y a la profesora: Mónica Preciado Vargas, quien nos brindó su confianza y nos alentó para seguir adelante con este proyecto.*



## **AGRADECIMIENTOS**

*A lo largo del proyecto fueron muchas las personas que contribuyeron directa o indirectamente a su culminación, brindándonos su apoyo y confianza de la manera más desinteresada.*

*En primer lugar, debemos agradecer a Dios por permitirnos culminar con éxito esta importante etapa de nuestras vidas y darnos la sabiduría para llevarla a cabo.*

*A nuestros padres, por todo ese apoyo, entrega y amor incondicional que día tras día nos conduce por la senda del bien.*

*A nuestros queridos profesores, quienes con sus enseñanzas, experiencias y conocimientos contribuyeron en nuestro proceso de formación personal y profesional.*

*A nuestros compañeros de estudio, que siempre estuvieron ahí con nosotros para apoyarnos y brindarnos su ayuda en todo momento ante cualquier circunstancia adversa que se haya presentado en este camino de nuestras vidas.*

*A la profesora Mónica Preciado Vargas, quien nos brindó toda su confianza y apoyo desde el inicio del proyecto y nos alentó para no desfallecer en el intento.*

*Al biólogo entomólogo Dr. Carlos Morales, por la colaboración en la consecución de los datos y registros requeridos para este proyecto (base de datos) y por su asesoría desde el campo de la salud.*

## TABLA DE CONTENIDO

|          |                                                     |          |
|----------|-----------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUCCION</b>                                 | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>JUSTIFICACION</b>                                | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>                   | <b>5</b> |
| 3.1      | Definición del Problema                             | 5        |
| 3.2      | Caracterización del Problema                        | 5        |
| <b>4</b> | <b>OBJETIVOS</b>                                    | <b>7</b> |
| 4.1      | Objetivo General                                    | 7        |
| 4.2      | Objetivos Específicos                               | 7        |
| <b>5</b> | <b>MARCO TEORICO</b>                                | <b>8</b> |
| 5.1      | MARCO REFERENCIAL                                   | 8        |
| 5.2      | GENERALIDADES DEL VECTOR AEDES AEGYPTI              | 15       |
| 5.2.1    | Características                                     | 15       |
| 5.2.2    | Morfología                                          | 15       |
| 5.3      | GENERALIDADES DEL VECTOR CULEX QUINQUEFASCIATUS     | 17       |
| 5.3.1    | Características                                     | 17       |
| 5.4      | DEFINICIONES DE UN SUMIDERO                         | 18       |
| 5.5      | CONCEPTOS TÉCNICOS                                  | 19       |
| 5.5.1    | Estadística Espacial                                | 19       |
| 5.5.2    | Datos espacialmente continuos (geoestadísticos)     | 20       |
| 5.5.3    | Procesos Puntuales                                  | 21       |
| 5.5.4    | Análisis Espacial por Comunas (Regiones o Lattices) | 21       |
| 5.5.5    | Autocorrelación Espacial                            | 25       |

|           |                                                                            |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.5.6     | Regresión Lineal Simple .....                                              | 31        |
| 5.5.7     | Epidemiología Espacial .....                                               | 33        |
| <b>6</b>  | <b>METODOLOGIA Y RESULTADOS .....</b>                                      | <b>34</b> |
| 6.1       | Análisis Descriptivo de los Datos por Comunas y por Mes .....              | 35        |
| <b>7</b>  | <b>ANALISIS ESPACIAL POR COMUNAS (REGIONES O LATTICES) .....</b>           | <b>37</b> |
| 7.1       | Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) .....                     | 39        |
| 7.1.1     | Métodos Gráficos del AEDE .....                                            | 39        |
| 7.2       | Autocorrelación Espacial .....                                             | 53        |
| 7.2.1     | Matrices de Contigüidad .....                                              | 53        |
| 7.2.2     | Medidas de Autocorrelación Global: Índice de Moran .....                   | 56        |
| 7.2.3     | Medidas de Autocorrelación Local: Índice de Moran Local y Mapas LISA ..... | 60        |
| <b>8</b>  | <b>REGRESION LINEAL POR METODOS ESTADISTICOS CONVENCIONALES.....</b>       | <b>66</b> |
| 8.1       | Regresiones Lineales Simples. Análisis Univariable .....                   | 66        |
| 8.2       | Análisis Multivariable .....                                               | 69        |
| 8.3       | Modelos Lineales con Ponderador Geográfico .....                           | 70        |
| 8.3.1     | Regresión Univariable (Modelo Ponderado Geográfico) .....                  | 71        |
| 8.3.2     | Regresión Multivariable (Modelo Ponderado Geográfico) .....                | 72        |
| <b>9</b>  | <b>ANALISIS ESPACIAL POR SECTORES (BARRIOS) .....</b>                      | <b>74</b> |
| 9.1       | Diagramas de Cajas por Sectores .....                                      | 74        |
| 9.2       | Mapas de Cuantiles por Sectores .....                                      | 80        |
| 9.3       | Medidas de Autocorrelación Global por Sectores .....                       | 85        |
| 9.4       | Medidas de Autocorrelación Local por Sectores .....                        | 88        |
| <b>10</b> | <b>REGRESIONES LINEALES PONDERADAS GEOGRAFICAMENTE POR SECTORES..</b>      | <b>96</b> |
| 10.1      | Larvas Aedes. Regresiones Univariables Ponderadas Geográficamente .....    | 96        |
| 10.2      | Larvas Culex. Regresiones Univariables Ponderadas Geográficamente .....    | 97        |

|           |                                                                           |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10.3      | Pupas Aedes. Regresiones Univariantes Ponderadas Geográficamente .....    | 97         |
| 10.4      | Larvas Aedes. Regresiones Multivariantes Ponderadas Geográficamente ..... | 98         |
| 10.5      | Larvas Culex. Regresiones Multivariantes Ponderadas Geográficamente ..... | 99         |
| 10.6      | Pupas Aedes. Regresiones Multivariantes Ponderadas Geográficamente .....  | 99         |
| <b>11</b> | <b>DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO .....</b>                 | <b>101</b> |
| 11.1      | Captura de Datos Espaciales .....                                         | 102        |
| 11.2      | Diseño de la Base de Datos .....                                          | 103        |
| 11.3      | Análisis de los Datos y Representación de los Resultados .....            | 104        |
| 11.3.1    | Inicio del sistema .....                                                  | 105        |
| 11.3.2    | Visualización Geográfica .....                                            | 106        |
| 11.3.3    | Información Técnica .....                                                 | 108        |
| 11.3.4    | Actualización del sistema.....                                            | 109        |
| <b>12</b> | <b>CONCLUSIONES .....</b>                                                 | <b>110</b> |
| <b>13</b> | <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                               | <b>112</b> |
| <b>14</b> | <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                                                  | <b>113</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figura 1. a) Larva de mosquito Aedes aegypti y detalles de la escama del peine, b) pupa de mosquito Aedes aegypti.....</i>                    | <i>16</i> |
| <i>Figura 2. Mosquito Aedes Aegypti .....</i>                                                                                                    | <i>16</i> |
| <i>Figura 3. Mosquito Culex Quinquefasciatus.....</i>                                                                                            | <i>17</i> |
| <i>Figura 4. Esquema de uno de los principales modelos de sumideros construidos en la Ciudad de Cali .....</i>                                   | <i>18</i> |
| <i>Figura 5. Diseño Metodológico .....</i>                                                                                                       | <i>34</i> |
| <i>Figura 6. Porcentaje de Índices de Larvacidad por comunas.....</i>                                                                            | <i>36</i> |
| <i>Figura 7 Zonas Atípicas Mensuales para la variable larvas aedes en el año 2009 (Box Plot y Box Map) .....</i>                                 | <i>40</i> |
| <i>Figura 8 Zonas Atípicas Mensuales para la variable larvas culex en el año 2009 (Box Plot y Box Map) .....</i>                                 | <i>42</i> |
| <i>Figura 9 Zonas Atípicas Mensuales para la variable pupas en el año 2009 (Box Map y Box Plot) .....</i>                                        | <i>44</i> |
| <i>Figura 10 Clasificación Temática Cuantiles Mensuales (Año 2009) .....</i>                                                                     | <i>46</i> |
| <i>Figura 11 Ejemplo de Cuantiles Mensuales Aedes, Culex y Pupas para el mes de Diciembre del 2009 .....</i>                                     | <i>47</i> |
| <i>Figura 12 Índices Moran Global por la Matriz de Contiguidad (W1) para la variable Aedes en los meses de Abril y Mayo de 2009.....</i>         | <i>56</i> |
| <i>Figura 13 Índices Moran Global por la Matriz de Contiguidad (W1) para la variable Culex en los meses de Abril y Mayo de 2009.....</i>         | <i>57</i> |
| <i>Figura 14 Índices Moran Global por la Matriz de Distancias (W2) para la variable Pupas en los meses de Septiembre y Octubre de 2009. ....</i> | <i>57</i> |
| <i>Figura 15 Mapas de Clúster Espacial para la variable Aedes en los meses de Abril y Mayo de 2009 .....</i>                                     | <i>60</i> |
| <i>Figura 16 Mapas de Clúster Espacial para la variable Culex en los meses de Agosto y Septiembre de 2009 .....</i>                              | <i>61</i> |

|                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figura 17 Mapas de Clúster Espacial para la variable Pupas en los meses de Abril y Mayo de 2009 .....</i>                       | <i>61</i> |
| <i>Figura 18 Box Plot Índices Locales para la variable Aedes en los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio de 2009 .....</i>          | <i>62</i> |
| <i>Figura 19 Box Plot Índices Locales para la variable Culex en los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2009. ....</i> | <i>62</i> |
| <i>Figura 20 Box Plot Índices Locales para la variable Pupas en los meses de Abril, Mayo, Junio y Julio de 2009 .....</i>          | <i>62</i> |
| <i>Figura 21 Porcentaje de Cobertura de Servicios Públicos .....</i>                                                               | <i>65</i> |
| <i>Figura 22 Regresión Lineal Simple para la variable Acueducto .....</i>                                                          | <i>66</i> |
| <i>Figura 23 Regresión Lineal Simple para la variable Alcantarillado .....</i>                                                     | <i>67</i> |
| <i>Figura 24 Regresión Lineal Simple para la variable Aseo .....</i>                                                               | <i>67</i> |
| <i>Figura 25 Regresión Lineal para la variable Densidad Bruta.....</i>                                                             | <i>68</i> |
| <i>Figura 26 Regresión Lineal Simple para la variable Estrato .....</i>                                                            | <i>68</i> |
| <i>Figura 27 Zonas Atípicas Mensuales y Box Plot por Sectores para la variable Aedes .....</i>                                     | <i>75</i> |
| <i>Figura 28 Zonas Atípicas Mensuales por Sectores para la variable Culex. ....</i>                                                | <i>77</i> |
| <i>Figura 29 Zonas Atípicas Mensuales por Sectores para la variable Pupas.....</i>                                                 | <i>79</i> |
| <i>Figura 30 Clasificación Temática para los Mapas de Cuantiles por Sectores.....</i>                                              | <i>80</i> |
| <i>Figura 31 Ejemplo de Cuantiles Mensuales por Sectores para Aedes, Culex y Pupas en el mes de Abril de 2009.....</i>             | <i>81</i> |
| <i>Figura 32 Índices Moran Global Aedes para los meses de Mayo y Junio de 2009.....</i>                                            | <i>85</i> |
| <i>Figura 33 Índices Moran Global Culex para los meses de Julio y Agosto de 2009.....</i>                                          | <i>85</i> |
| <i>Figura 34 Índices Moran Global Pupas para los meses de Julio y Agosto de 2009.....</i>                                          | <i>86</i> |
| <i>Figura 35 Mapas de Clúster Espacial Aedes en los meses de Marzo y Abril de 2009.....</i>                                        | <i>88</i> |
| <i>Figura 36 Mapas de Clúster Espacial Culex en los meses de Julio y Agosto de 2009 .....</i>                                      | <i>88</i> |
| <i>Figura 37 Mapas de Clúster Espacial Pupas para los meses de Noviembre y Diciembre de 2009 .....</i>                             | <i>89</i> |
| <i>Figura 38 Box Plot Índices Locales Aedes para los meses de Abril, Mayo y Junio de 2009.....</i>                                 | <i>91</i> |
| <i>Figura 39 Box Plot Índices Locales Culex para los meses de Julio, Agosto y Septiembre de 2009 .....</i>                         | <i>92</i> |

|                  |                                                                                                        |            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Figura 40</i> | <i>Box Plot Indices Locales Pupas para los meses de Septiembre, Noviembre y Diciembre de 2009.....</i> | <i>93</i>  |
| <i>Figura 41</i> | <i>Elementos que intervienen en el desarrollo del Sistema de Información Geográfico. Fuente .....</i>  | <i>101</i> |
| <i>Figura 42</i> | <i>Sistema de Proyección Cartográfica del SIG .....</i>                                                | <i>102</i> |
| <i>Figura 43</i> | <i>Modelo Entidad-Relación del SIG. ....</i>                                                           | <i>103</i> |
| <i>Figura 44</i> | <i>Esquema de la Fase Operativa del Sistema .....</i>                                                  | <i>104</i> |
| <i>Figura 45</i> | <i>Diagrama de secuencia macro del acceso y funcionalidad del sistema .....</i>                        | <i>105</i> |
| <i>Figura 46</i> | <i>Página inicial del sistema para ingresar el login y password .....</i>                              | <i>105</i> |
| <i>Figura 47</i> | <i>Representación Temática de Consultas por Fecha de Muestreo .....</i>                                | <i>106</i> |
| <i>Figura 48</i> | <i>Herramientas Panel de Control .....</i>                                                             | <i>107</i> |
| <i>Figura 49</i> | <i>Información Alfanumérica de Cuantiles y Promedio de Indices de Larvacidad.....</i>                  | <i>107</i> |
| <i>Figura 50</i> | <i>Representación Alfanumérica por Sectores .....</i>                                                  | <i>108</i> |
| <i>Figura 51</i> | <i>Actualización del Sistema por Muestreo Entomológico .....</i>                                       | <i>109</i> |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 1 Ejemplos de Clasificación de Cantidad de Sumideros con larvas aedes, culex y pupas, con sus índices de larvacidad calculados. ....</i> | <i>35</i> |
| <i>Tabla 2. Índices de Larvacidad para las Comunas 4, 5.....</i>                                                                                  | <i>38</i> |
| <i>Tabla 3 Resumen Datos Estadísticos Básicos para cada variable de estudio.....</i>                                                              | <i>45</i> |
| <i>Tabla 4. Comportamiento Mensual de la Variable Aedes por Comunas de acuerdo al cálculo de Cuantiles. Año 2009.....</i>                         | <i>49</i> |
| <i>Tabla 5. Comportamiento Mensual de la Variable Culex por Comunas de acuerdo al cálculo de Cuantiles. Año 2009.....</i>                         | <i>50</i> |
| <i>Tabla 6. Comportamiento Mensual de la Variable Pupas por Comunas de acuerdo al cálculo de Cuantiles. Año 2009 .....</i>                        | <i>51</i> |
| <i>Tabla 7. Matriz Simétrica de Contigüidad de Reina (W1).....</i>                                                                                | <i>53</i> |
| <i>Tabla 8. Matriz Simétrica de Distancias entre Centroides (W2) .....</i>                                                                        | <i>54</i> |
| <i>Tabla 9. Matriz Simétrica de Distancias y Contigüidad de Reina (W3).....</i>                                                                   | <i>55</i> |
| <i>Tabla 10 Resumen de Índices de Moran Global para W1, W2 y W3.....</i>                                                                          | <i>58</i> |
| <i>Tabla 11 Variables Socioeconómicas año 2009 a nivel de Comunas .....</i>                                                                       | <i>65</i> |
| <i>Tabla 12 Modelos de Regresión Lineal.....</i>                                                                                                  | <i>69</i> |
| <i>Tabla 13 Regresión Lineal Multivariable .....</i>                                                                                              | <i>69</i> |
| <i>Tabla 14 Resultados Regresión Univariable Larvas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo .....</i>                                  | <i>71</i> |
| <i>Tabla 15 Resultados Regresión Univariable Larvas Culex con Cobert. Alcantarillado y Aseo..</i>                                                 | <i>71</i> |



|                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 16 Resultados Regresión Univariable Pupas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo. ....</i>                    | <i>72</i> |
| <i>Tabla 17 Resultados Regresión Multivariable Larvas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo .....</i>                 | <i>72</i> |
| <i>Tabla 18 Resultados Regresión Multivariable Larvas Culex con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo .....</i>                 | <i>73</i> |
| <i>Tabla 19 Resultados Regresión Multivariable Pupas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo. ....</i>                  | <i>73</i> |
| <i>Tabla 20 Resumen de Indices de Moran Global para la matriz W1.....</i>                                                          | <i>86</i> |
| <i>Tabla 21 Variables Socioeconómicas año 2009 a nivel de Sectores (Barrios) .....</i>                                             | <i>95</i> |
| <i>Tabla 22 Resultados Regresiones Univariables Larvas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta.....</i> | <i>96</i> |
| <i>Tabla 23 Resultados Regresiones Univariables Larvas Culex con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta.....</i> | <i>97</i> |
| <i>Tabla 24 Resultados Regresiones Univariables Pupas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta.....</i>  | <i>98</i> |
| <i>Tabla 25 Resultados Regresión Multivariable Larvas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta.....</i>  | <i>98</i> |
| <i>Tabla 26 Resultados Regresión Multivariable Larvas Culex con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta.....</i>  | <i>99</i> |
| <i>Tabla 27 Resultados Regresión Multivariable Pupas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta.....</i>   | <i>99</i> |

## 1 INTRODUCCION

El dengue clásico y sus manifestaciones clínicas más graves, hemorrágico (DH) y síndrome del choque (SCD) son patologías que originan amplia morbilidad y mortalidad en salud pública (Gonzalez R., et al, quien cita a OPS, 1995). Estas enfermedades son endémicas y, en ocasiones han alcanzado características epidémicas en más de 100 países de zonas tropicales de América, África y Asia, donde la prevalencia está asociada a su principal vector, *Aedes aegypti*. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (Min. Protección Social, 2000, quien cita a Gubler D., et al, 1995), alrededor de 2.500 millones de personas viven en éstas áreas en riesgo de infección y se calcula que un 40% de la población mundial habita en dichas zonas. Por otra parte, se estima en 12 mil el número de muertes que este agente ocasiona cada año (Min. Protección Social, 2000, quien cita a OMS, 2002). Por su frecuencia e impacto en salud pública, el dengue requiere ser incluido en los sistemas de vigilancia de los países en la mira de su prevención y control (Min. Protección Social, 2000).

En Colombia, el dengue es una enfermedad endémica con brotes epidémicos cíclicos en casi todos los asentamientos humanos ubicados por debajo de los 1.800 metros sobre el nivel del mar. A partir de 1980, se han presentado epidemias en varias regiones del país. En el año 2003 fueron registrados 58.335 casos, de los cuales 5.026 fueron atribuidos a DH (Gonzalez R., et al, 2007, quien cita a Sivigila, 2004) y se estima que aproximadamente 18 millones de personas se encuentran en áreas de riesgo de contraer la enfermedad. (Gonzalez R., et al, 2007, quien cita Camacho, 1991).

En el municipio de Santiago de Cali (situado aproximadamente a 1000 m.s.n.m), el dengue es tratado como una enfermedad arboviral endémica cuya manera de prevenir su ocurrencia es el combate al vector *Aedes aegypti* de una manera continua, con el fin de lograr bajas densidades de las poblaciones del mismo y así poder prevenir la transmisión de la enfermedad. No obstante, se han venido generando esfuerzos en torno al fortalecimiento de la promoción de estilos de vida saludable para la prevención y control del dengue. Desde este punto de vista, se reconoce la importancia de trabajar con estrategias prioritarias para este propósito, tal es el

caso del diseño de un Sistema de Vigilancia articulado a las necesidades y recursos disponibles de la Secretaría de Salud Pública Municipal (SSPM, Foro Municipal sobre Factores de Riesgo del Comportamiento asociados a las Enfermedades Crónicas no Transmisibles, 2006).

La detección temprana de casos unida al monitoreo entomológico representan indiscutiblemente, la forma más eficaz de evitar brotes epidémicos. Sin embargo, la vigilancia serológica y viral están fuera del alcance de los recursos de la gran mayoría de países afectados. Además, por lo general, la transmisión de los diferentes serotipos está altamente correlacionada con el crecimiento desordenado de las ciudades, indebido manejo doméstico del agua, limitada cobertura de los servicios de acueducto y/o deposición de materiales “inservibles” o “desechos” (Gonzalez R., et al, 2007, quien cita a Nelson, 1986).

En este contexto, el presente estudio pretende aplicar una metodología que mediante un estudio de distribución espacial de datos, describa y analice el comportamiento (presencia-ausencia) del vector *Aedes aegypti* (vector transmisor del Dengue) junto al *Culex Quinquefasciatus* (vector del virus del Oeste del Nilo, no transmisor del dengue) en los sumideros de aguas lluvias de la ciudad de Santiago de Cali, abarcando variables de interés (variables socioeconómicas) que de una u otra forma resultan de gran ayuda para interpretar patrones de difusión del comportamiento de estos dos vectores.

Inicialmente se pretende llevar a cabo un análisis descriptivo de la variabilidad de los datos de sumideros que contienen larvas y pupas del vector con los índices de larvacidad calculados. Posteriormente, se asocian estos índices a cada comuna, sector (barrios) y zona de estudio (Norte, Sur, Suroriente, Ladera y Centro) para identificar las zonas más vulnerables a la presencia y ausencia de dicho vector.

Teniendo lo anterior, se determina la influencia directa de las variables socioeconómicas (estrato, densidad de población, acueducto, alcantarillado, aseo) con respecto a la incidencia (presencia-ausencia) del vector, con el fin de generar las condiciones necesarias en términos naturales para el desarrollo de éste.

## 2 JUSTIFICACION

Los sumideros son construcciones muy comunes en las áreas urbanas para el desagüe de las vías públicas. Son considerados muy prolíficos en la producción de especies de *Culex quinquefasciatus* (Vector No transmisor de Dengue), debido a que retienen agua y materia orgánica por largos períodos. Observaciones preliminares realizadas en la ciudad de Cali indicaron que estos sitios han sido paulatinamente colonizados también por *Aedes aegypti* (Vector transmisor del Dengue), y según estudios llevados a cabo determinaron que al “evaluar la importancia relativa de los sumideros en la producción de *A. Aegypti*, se observó que estos criaderos son tan o más importantes que los encontrados en áreas intra y peridomiciliares de los barrios y unidades residenciales (Gonzalez R., et al, 2007, quien cita a Geery y Holub, 1989) Lo anterior conlleva a afirmar que la propagación del dengue ha venido acrecentándose considerablemente y se ha convertido en una problemática a grandes rasgos en la ciudad.

Por tal motivo, el enfoque aplicado para controlar esta proliferación desencadenada de los vectores *Culex* y *Aedes* se enmarca dentro de una estrategia de control integrado y selectivo, la cual se centra en la fumigación de los distintos criaderos donde residen estos vectores, empleando sustancias químicas de alto potencial conocidas como larvicidas (vectolex, abate, entre otras. (SSPM, Diario el Espacio, 2010). No obstante, estas estrategias clásicas de control que se han venido implementando no han podido disminuir en su totalidad la incidencia de estos vectores y la propagación del dengue, por lo que se requiere nuevas herramientas para predecir y controlar esta problemática de salud pública.

Debido al pensamiento holístico que predomina en la ciencia actual, y que busca la transdisciplinariedad del conocimiento sumado a las características variables de estos factores, un problema que en principio era netamente de salud pública, ahora puede ser abordado desde el punto de vista de la Geomática y en particular empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten el análisis e identificación de áreas geográficas y grupos de población que presentan mayor riesgo de enfermar o de morir prematuramente y que por tanto requieren de mayor atención ya sea preventiva, curativa o de promoción de la salud (Londoño J., 2008, quien cita a Castillo, 1996).

La representación de fenómenos espaciales mediante herramienta SIG debe ir ligada a la Estadística Espacial, como complemento fundamental para la exploración y análisis de datos considerando sus características de distribución en el espacio. Todo lo anterior, con el objetivo de crear una configuración espacial más elocuente mediante el uso de una imagen (cartografía), que la simple observación de datos organizados en tablas.

Las acciones geomáticas encaminadas al desarrollo y monitoreo entomológico en los sumideros de aguas lluvias incluyen técnicas de análisis espacial (análisis de superficies, análisis de distancias y de proximidad, diagramas de cajas, mapas de cuantiles, reclasificación de mapas, álgebra de mapas, modelo gráficos de lattices) por medio de las cuales es posible estudiar patrones poblacionales de *Aedes Aegypti* y *Culex Quinquefasciatus* para condiciones determinísticas en algunos de los factores críticos de propagación y contribuir con medidas de control que pueden resultar relevantes en la eliminación o tratamiento de los hábitats (sumideros) de las formas inmaduras (huevos, larvas y pupas).

Por esta razón, la necesidad del uso de información geográfica en Salud Pública es obvia, tanto en la planificación como en la evaluación de actos, sobre todo en áreas tan estratégicas como la salud ambiental y la epidemiología. En el primer caso, los riesgos ambientales para la salud se verifican siempre a través del territorio, es decir que para su conocimiento y gestión hay que considerar las variables geográficas y su interconexión espacial. En el caso de la epidemiología, la sospecha de asociación espacial de casos queda apuntada o descartada, con la simple mirada a la imagen sintética que es en definitiva un mapa. Aún más evidente es el uso de la cartografía en epidemiología ambiental con la superposición de capas de información de factores de riesgo y de efectos y la búsqueda de posibles relaciones de asociación y causalidad a partir de la superposición de áreas de influencia.

### **3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1 Definición del Problema**

La Secretaria de Salud Pública de Cali como autoridad sanitaria encargada de garantizar la salud poblacional del municipio mediante políticas de salud, control, coordinación y vigilancia del sector salud, hasta la fecha carece de una metodología que permita analizar espacialmente la distribución de incidencia (presencia-ausencia) del vector *Aedes Aegypti* (*Dengue*) junto al *Culex Quinquemaculatus* (*Mosquito común*) en los sumideros de aguas lluvias en la ciudad de Cali. Concerniente a esto, muchos de los estudios, registros e información que se posee solamente están plasmados en papel y en bases de datos, ante la ausencia de un desarrollo cartográfico y análisis espacial.

#### **3.2 Caracterización del Problema**

La incidencia y desarrollo de vectores transmisores de enfermedades epidémicas como es el caso del vector *Aedes aegypti*, ha sido una problemática que cada vez acapara una mayor importancia a nivel mundial. La falta de control ante la propagación de espacios y ambientes idóneos para la proliferación de estos vectores genera una problemática ambiental y social de grandes proporciones, por tal motivo se ha hecho imprescindible intervenir radicalmente para controlar posibles brotes de las enfermedades que transmiten y evitar su expansión.

La modelación de datos espaciales que incorporan variables de salud pública no es una labor sencilla. Es necesario caracterizar el tipo de vector (agente transmisor de la enfermedad), puesto que cada vector tiene una particularidad única de comportarse y propagarse en el medio donde se desarrolla y esto es lo que lo hace interesante a la hora de abordar el estudio (Lopez-Abente, 2006).

Para la ciudad de Cali no se conocen estudios donde la variable espacial sea un patrón decisivo para abordar nuestra temática planteada, es decir, los esfuerzos son enfocados a contrarrestar los índices de prevalencia de incidencia del vector y no en abordar la problemática desde el

punto de vista dinámico espacial para conocer el comportamiento que pueda tener a lo largo del tiempo. La falta de un sistema de información que integre la variable espacial con el área epidemiológica puede ocasionar que la ciudad se vea muy limitada en la destinación de recursos de forma confiable a diferentes zonas de la ciudad para corregir esta problemática social. Entre tanto, la Secretaría de Salud Pública Municipal (SSPM) como entidad competente encargada de velar por la salud poblacional del municipio, se ha puesto a la tarea de realizar trabajos de campo en todos los sumideros de aguas lluvias en la zona urbana de la ciudad desde el año 2005 aproximadamente hasta el presente año. Estos estudios consisten en la toma de muestreos en los sumideros acerca de la presencia de *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus*, con el fin de alertar a la comunidad caleña sobre los posibles focos de propagación más determinantes de estos vectores. Cabe aclarar que el vector transmisor del Dengue es el *Aedes aegypti*, mientras que el *Culex* es el “vector falso”, por llamarlo de alguna manera, aquel que no es transmisor del dengue.

El problema que enfrenta la Secretaría de Salud Pública Municipal radica en que la mayoría de la información levantada en campo la tienen en papel (información análoga) mas no digital, y pues por obvias razones dificulta la elaboración de proyectos que integren la variable espacial. Solamente a partir del año 2009, comenzaron a digitar los registros de campo que hicieron para ese año, creando una base de datos donde almacenan toda la información pertinente. El objetivo principal de estos estudios de campo es el de identificar las zonas más propensas a la presencia y/o ausencia de estos dos vectores, para ello calculan un índice de larvacidad establecido para cada comuna y para cada sector donde les permite inferir qué porcentaje de sumideros están infestados de larvas aedes, culex y pupas. Desafortunadamente el objetivo no lo han cumplido en su totalidad, puesto que la variable espacial no la han tenido en cuenta.

Por esta razón, la iniciativa de generar una metodología que permita analizar espacialmente la distribución espacial de incidencia de estos dos vectores en los sumideros de aguas lluvias conllevará a la culminación del objetivo trazado por la SSPM en su totalidad, aprovechando los registros que durante varios años han capturado en campo y que sin duda alguna contribuirán a crear nuevas herramientas para el tratamiento de otras enfermedades y mejorar las condiciones de salud de nuestra ciudad.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

- Analizar espacialmente la distribución del vector *Aedes Aegypti* junto al *Culex Quinquefasciatus* en los sumideros de aguas lluvias en la zona urbana de Santiago de Cali para el año 2009.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis descriptivo de la variabilidad de los datos de sumideros que contienen larvas y pupas con los índices de larvacidad calculados.
- Analizar la estructura espacial de la distribución del vector *Aedes* y *Culex* a nivel geográfico de comunas y sectores (barrios) para el año 2009.
- Identificar y describir zonas más propensas a la presencia ó ausencia del vector *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus*.
- Proponer un modelo multivariado explicativo (regresiones lineales) de la distribución de incidencia de los vectores *Aedes* y *Culex* a partir de variables socioeconómicas (alcantarillado, estrato, acueducto, densidad de población, aseo).
- Desarrollar un Sistema de Información Geográfica piloto que permita visualizar los resultados obtenidos del análisis espacial del vector transmisor del dengue.



## 5 MARCO TEORICO

Con el fin de contextualizar el tema de la distribución de incidencia de los vectores *Aedes* y *Culex* y de la metodología que se empleará para el análisis espacial de esta problemática, se cita algunos trabajos internacionales y nacionales sobre salud pública donde incorpora la dimensión espacial en sus análisis.

### 5.1 MARCO REFERENCIAL

Desde un principio, las investigaciones que se han venido llevando a cabo acerca de las enfermedades endémicas han sido enfocadas desde el punto de vista médico, sin establecer una estrecha relación directa entre la enfermedad y el entorno socio-ambiental. A partir de la aparición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la Percepción Remota, la Geoestadística y los Sistemas de Posicionamiento Global, esta tendencia ha evolucionado paulatinamente y ha venido tomando un mayor auge, ya que hoy en día las investigaciones científicas no solo se conforman con tener evidencias de campo e hipótesis matemáticas, sino que van más allá, buscan modelar el comportamiento espacial de dichas evidencias y datos suministrados, basándose en aspectos como el clima, el ambiente, variables sociales y la influencia del hombre, entre otros. De esta manera, se describen a continuación algunos estudios de este tipo de enfermedades, donde las herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) juegan un papel relevante en el análisis espacial de sus componentes<sup>1</sup>.

Según (Gonzalez R., et al, 2007) mediante muestreos larvales evaluaron la positividad y asociación poblacional del vector del dengue *Aedes aegypti* con *Culex quinquefasciatus*, vector del virus del Nilo, en 537 sumideros ubicados en 19 comunas de seis SILOS (Sistemas Locales de Salud) de la Ciudad de Cali, Colombia. Desarrollaron un análisis numérico estadístico que consistía en:

---

<sup>1</sup>Tomado del Proyecto de Grado: "Zonificación del Riesgo de Malaria con base en la influencia de Variables Socio-ambientales: Caso de Estudio Municipio de Buenaventura (Valle del Cauca-Colombia), realizado por Julián Esteban Londoño Vélez, Ing. Topográfico - Universidad del Valle, Enero de 2008.

- El conteo y mapeo de los sumideros en las 19 comunas, formulados con datos de localidad, fecha y características físicas del sumidero.
- Determinan el índice de positividad, densidad relativa por caso y/o sumidero analizados por comunas.
- Realizan un análisis de correlación lineal (correlación de Pearson) de asociación y de similitud para las especies de Culicidae dominantes, mediante los programas Statistical Ecology (Ludwig, et al, 1988) y Statistix para Windows 98, versión 2.0, con el fin de medir la independencia de la distribución de las dos especies.
- Evalúan la producción de pupas de *A. aegypti*, mediante análisis estadístico descriptivo y las tasas de densidad encontradas entre los sumideros y los criaderos para cada manzana, de acuerdo con (Gonzalez R., et al, 2007, quien cita a Focks, 1981).

$$\frac{(\text{numerodepupas}) \times (0.5)}{\text{dosdías}}, \text{ donde } 0.5 \text{ representa el número de hembras}$$

Para el promedio de todas las manzanas el divisor de la fórmula anterior fue multiplicado por el número de manzanas:

$$\frac{(\text{numerodepupas}) \times (0.5)}{(\text{Número de manzanas}) \text{ dos días}}$$

- Se estima la población absoluta de la hembra de *A. aegypti* por manzana, a partir de sumideros y otros criaderos mediante la fórmula de (Gonzalez R., et al, 2007, quien cita a Focks, 1981).

$$\int_0^{\infty} S a^t dt S a = 0.8, \text{ Constante de la tasa de supervivencia diaria de adultos hembras}$$

$t$  = La edad.

Este estudio confirma la importancia de evaluar el riesgo entomológico para el dengue a partir de un índice de pupas, ya que permite valorar la importancia del criadero en términos de su capacidad de producir adultos, lo cual combinado con la información demográfica provee un estimado del número de pupas por persona de una comunidad.

Según (Niño, 2008) analiza y representa gráficamente el patrón de variación espacial del *indicador aélico*<sup>2</sup> correspondiente al índice de recipientes, definido como el porcentaje de depósitos con larvas de *A. aegypti*. La metodología empleada por el autor es la siguiente: realiza un trabajo estadístico espacial a partir de encuestas sobre larvas en la totalidad de las viviendas del barrio La independencia (Municipio de Acacias, Departamento del Meta) en mayo de 2007, con los cuales calcularon los índices de recipiente de cada manzana. Los métodos estadísticos en el análisis de este indicador corresponden concretamente a la función semivariograma junto con estimaciones *kriging*.

El análisis espacial se llevó a cabo en tres etapas:

- En la primera, se realizó un análisis exploratorio, en el que se examinaron los datos sin tener en cuenta su distribución geográfica, se eliminaron los datos erróneos y se identificó la distribución que seguían con el cálculo de algunos parámetros de estadística descriptiva.
- En la segunda etapa se estudió la continuidad o dependencia espacial de la variable con el cálculo del semivariograma isotrópico experimental y su posterior ajuste a uno teórico, lo cual permitió cuantificar el grado y la escala de la variación espacial.

$$\gamma_{(h)} = 1/2 N_{(h)} \sum [z_x - z_{(x+h)}]^2$$

- $\gamma_{(h)}$  es la semivarianza del índice de recipientes para todas las manzanas localizadas en el espacio separado por los intervalos de las distancias h.

---

<sup>2</sup> El indicador aélico es determinado también como un indicador de infestación domiciliaria

- $N_{(h)}$  corresponde al número total de pares de manzanas separadas por un intervalo de distancia  $h$ .
  - $z_x$  es el valor del índice en una localización  $x$ .
  - $z_{(x+h)}$  es el valor del índice a la distancia del intervalo  $h$  desde  $x$ .
- Finalmente, se realizó una estimación **kriging**, la cual se basa en la idea fundamental de la dependencia espacial, en donde los estimadores del tipo **kriging** no son sino variantes del estimador lineal.

$$Z_{(x)}^* - m_{(x)} = \sum w_{(i)} [z_{(xi)} - m_{(xi)}]$$

- $w_{(i)}$  son los pesos asignados a los datos  $z_{(xi)}$  los cuales se relacionan con la magnitud y proximidad de las muestras y cuyos atributos son estimados en el semivariograma.
- Los valores esperados de las variables aleatorias  $z_{(x)}$  y  $z_{(xi)}$  son  $m_{(x)}$  y  $m_{(xi)}$  respectivamente.

Los resultados obtenidos en el semivariograma experimental se ajustó al modelo matemático de Gauss, cuya meseta<sup>3</sup> se calculó en 5, 1 el rango en 57,1 m y la pepita<sup>4</sup> en 0,09. Además se construyó una gráfica bidimensional de la estimación kriging que permitió identificar las manzanas con mayor índice de recipiente.

De acuerdo a (De la Mora Covarrubias, 2007) atribuye el uso de las herramientas SIG como una forma de vigilancia y monitoreo de enfermedades transmitidas por vectores en cuanto al área de epidemiología, determinando así que el análisis espacial se ha convertido en una herramienta útil para el desarrollo de estrategias de intervención apropiada. La metodología propuesta fue la siguiente:

---

<sup>3</sup> La meseta es el valor límite superior cuando la distancia de la variable ( $h$ ) tiende al infinito.

<sup>4</sup> Es una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen.

- Se obtuvo una base de datos por entidades municipales de planeación y estadística de la zona urbana de la ciudad de Juárez, Chihuahua, México, determinando variables predictoras para la densidad de la población de *Culex Quinquefasciatus*, seleccionando aquellas que estén relacionada a la biología del mosquito, tales como: densidad, construcción (techos, paredes), escolaridad, ingresos económicos, servicios públicos (drenajes, energía), ocupación de viviendas, tipo de bienes.
- Con los datos de las variables obtenidas se procedió al análisis mediante Sistemas de Información Geográfica utilizando el paquete aplicativo **ArcView 3.0** desarrollado por ESRI.
- Con la Extensión **Spatial Analysis** para cartografía digital se elaboró un Mapa Temático de eventos usando la transformación  $\ln(X+1)$  del número de mosquitos hembra capturados por trampa.
- Se interpola la superficie con la técnica de **Kriging** Universal, diseñada para estimar densidad de sitios no muestreados; de tal forma, que permitiera obtener una estimación visual de las “Zonas de riesgo” asociadas a la abundancia del vector.
- Utilizaron métodos estadísticos para estimar la autocorrelación de la población de mosquitos para los diferentes sitios de colecta, y como resultado principal, establecer el tipo de distribución. Los métodos globales utilizados fueron el **Índice de Moran** y de **Geary** y como índice local fue el de **Getis**.
- Finalmente determinan la correlación entre la variable dependiente (abundancia de mosquitos hembra adultos) y las variables independientes (factores socioeconómicos) utilizando la técnica de análisis de regresión múltiple mediante el paquete estadístico SPSS 10.0.

En relación a la población se consideró la densidad, escolaridad e ingresos económicos. Para el caso de la vivienda fue la densidad, calidad de construcción, servicios y bienes. Como objetivo

principal de este desarrollo metodológico fue el de estimar los factores socioeconómicos que condicionan la distribución de *Culex quinquefasciatus* en ciudad de Juárez, Chihuahua, México.

Según (Londoño, 2008) busca adaptar e implementar un modelo de distribución espacial de malaria basado en la influencia que tiene el clima (precipitación y temperatura) sobre el comportamiento biológico del parásito y el mosquito transmisor de la enfermedad en el municipio de Buenaventura, con el fin de generar mapas de conveniencia climática para el desarrollo de malaria, orientados a facilitar la definición de políticas para el control de la enfermedad y el mosquito transmisor en Buenaventura.

Se recopilaron datos de variables meteorológicas (precipitación y temperatura) y mediante un análisis exploratorio de datos se verificó la calidad de los mismos. Posteriormente se generaron mapas superficiales de cada variable.

La metodología propuesta por el autor se desarrolló en tres fases. La primera fase considera la revisión del modelo de entrada, donde se evaluaron las características y requerimientos del modelo de distribución basado en el clima (Londoño, 2008, quien cita a Craig, 1999) para la adaptación al contexto colombiano, se preparó la información necesaria requerida en la fase de implementación, donde se realizó el Análisis Exploratorio de Datos (AED), con el fin de revisar la calidad de los datos meteorológicos.

En la segunda fase se realizó la adaptación e implementación del modelo africano, donde se construyeron los modelos superficiales de precipitación y temperatura; como parte de la adaptación se definieron los umbrales de conveniencia en términos de clima para el desarrollo de la malaria en Buenaventura, y se propuso la inclusión de otras variables naturales de tipo socio-ambiental, posteriormente se crearon los mapas de conveniencia climática. Con los resultados anteriores se construye el primer gran producto de este proyecto: 12 mapas a nivel mensual multianual denominados **Conveniencia Natural para el Desarrollo de Malaria**.

Para finalizar se adaptó la inclusión de las variables sociales (vías de transporte, escuelas, hospitales y centros poblados) para generar un mapa de **Riesgo de Transmisión de Malaria** a

nivel multianual, constituyéndose en el segundo gran producto del proyecto. En la tercera y última fase se realizaron actividades de análisis de resultados y generación de información final del proyecto.

De acuerdo con (Aguirre Burgos, 2004) se obtuvo mediante la aplicación de métodos geoestadísticos (Kriging) los mapas de incidencia de la distribución del dengue y malaria para el año 2002 y 2003 respectivamente en el puerto de Guayaquil, analizando la evolución de ambas enfermedades a lo largo de estos dos años en dicha zona de estudio. Partieron de los datos suministrados por la Subdirección de Salud Litoral del Guayas, consistentes en el número de casos que se presentaron de dengue y malaria, se estudiaron los patrones de variación espacial de las densidades de distribución mediante el uso de variogramas y, con posterioridad, con los métodos de estimación Geoestadística, denominados krigeado, se consiguió una cantidad de información suficiente para representar las distribuciones espaciales de las enfermedades.

A partir de las distribuciones espaciales de los vectores de dichas enfermedades, se elaboraron los mapas de intensidad del dengue y malaria para los años 2002 y 2003. Esta información es fundamental para la propuesta de unas técnicas eficaces de lucha contra mayor desarrollo del dengue y malaria en la ciudad de Guayaquil.

En el **mapa de intensidad de los casos del dengue**, se puede observar cómo se distribuye el dengue en las diferentes zonas de la ciudad de Guayaquil. Una vez se obtuvo el mapa de intensidad, se procedió a realizar el **mapa de variograma**, el cual permitió estimar el mejor modelo omnidireccional.

Una vez obtenidos los mapas de intensidad y los mapas de variogramas, se procedió a estimar los **mapas de varianza**, los cuales permitieron observar que en general la variabilidad es mediana, siendo alta en las zonas periféricas sureste y noroeste, y baja en ciertas zonas de estudio. En la zona periférica la alta variabilidad es aceptable, ya que muy pocas personas viven en esos lugares. Los resultados del análisis espacial para el dengue en el año 2003 y para la malaria en los años 2002 y 2003 se obtuvieron siguiendo la misma metodología anteriormente descrita por los autores en mención.

## 5.2 GENERALIDADES DEL VECTOR AEDES AEGYPTI

### 5.2.1 Características

El dengue es una enfermedad febril aguda causada por el virus del dengue (perteneciente a la familia Flaviviridae) en cualesquiera de sus cuatro serotipos. Este virus agente causal de la enfermedad persiste en la naturaleza mediante un ciclo de transmisión hombre-vector-hombre. El vector responsable de la transmisión se conoce como *Aedes aegypti*.

Las características físicas de este mosquito son muy peculiares, es de color café oscuro o negro, con manchas blancas en el tórax y en las patas y su período de incubación es de 3 a 14 días. Esta enfermedad se transmite por medio del mosquito hembra que se alimenta preferiblemente de sangre humana para desarrollar sus huevos. Puede picar a cualquier hora del día y de la noche, pero generalmente lo hace en la mañana y en horas de la tarde. Cuando el mosquito se alimenta con sangre de una persona enferma de dengue y luego pica a otras personas les transmite esta enfermedad<sup>5</sup>.

### 5.2.2 Morfología

- **Larva:** Es semejante a los otros mosquitos (Figura 1-a) por tener cabeza y tórax ovoide, el abdomen consta de nueve segmentos (Thirion, 2003). Requiere completar cuatro fases de desarrollo bajo condiciones óptimas de alimento y temperatura (de 25 a 29°C). Todas las fases se completan de 5 a 7 días.
- **Pupa:** En la base del tórax tiene un par de estructuras respiratorias (trompetas), que hacen contacto con la superficie del agua permitiéndole tomar oxígeno atmosférico contenido en el aire (Figura 1-b) (Thirion, 2003). Esta etapa se completa de 1 a 3 días a temperaturas entre 27,8 a 32,2 Centígrados.

---

<sup>5</sup>.Tomado del proyecto de grado: "Análisis Espacial de la Intensidad de las Enfermedades Infectocontagiosas en Guayaquil, Ecuador (2004)", realizado por Joffre Patricio Aguirre Burgos. Escuela Superior Politécnica del Litoral.



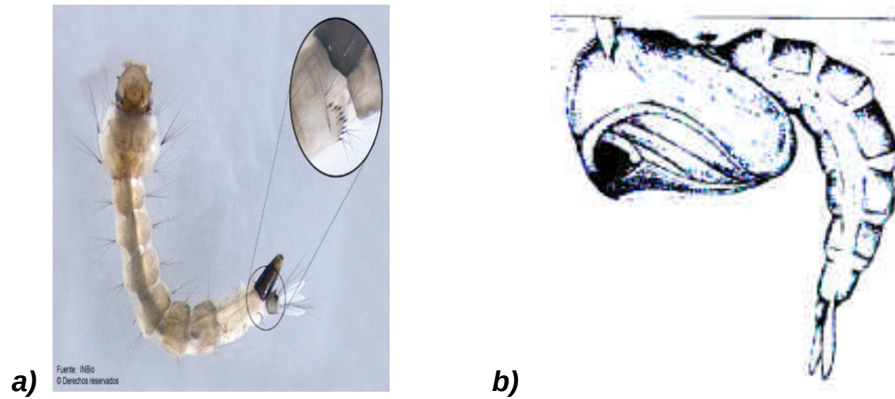


Figura 1. a) Larva de mosquito *Aedes aegypti* y detalles de la escama del peine, b) pupa de mosquito *Aedes aegypti*. Fuente: CDC Control and Prevention.

- **Adulto:** Los adultos del género *Aedes* y de otros culicinos se distinguen de los anofelinos por tener palpos más cortos y por adoptar una posición más horizontal sobre la superficie donde reposan. Se diferencian de la mayoría de los otros culicinos por la terminación aguda de su abdomen y por la ausencia de sedas espiraculares (Thirion, 2003) (Figura 2).



Figura 2. Mosquito *Aedes Aegypti*. Fuente: [www.visitacasas.com/images/mosquito.jpg](http://www.visitacasas.com/images/mosquito.jpg)

### 5.3 GENERALIDADES DEL VECTOR CULEX QUINQUEFASCIATUS

#### 5.3.1 Características

*Culex quinquefasciatus* es considerado en la mayoría de los casos como un simple mosquito molesto. Sin embargo, es considerada una especie acentuadamente antropofílica perteneciente al género *Culex* que se encuentra asociado con mayor frecuencia al hábitat humano tanto urbano como rural en Colombia. Esta especie se ha relacionado con la transmisión de *filarias* como *Wuchereria bancrofti* y *Dirofilaria immitis* del virus del Nilo occidental y de los virus causantes de la encefalitis de San Luis y la encefalitis equina venezolana, entre otros (Rivas F., et al, 1997).

En áreas donde no existe riesgo de transmisión de agentes patógenos por parte de esta especie, constituye un problema de salud pública debido a la alergia ocasionada por su picadura y a las molestias causadas por las altas densidades de población que alcanzan, como ocurre en el municipio de Sibaté en la sabana de Bogotá (Sarmiento M., et al, 1999).

Los estadios inmaduros se desarrollan preferiblemente en depósitos de agua y los criaderos son variados, constituidos por aguas con un alto grado de contaminación, abundante contenido de materia orgánica, con detritos en proceso de fermentación, en ambientes sombreados, lénticos o semilóticos, cercanos al ambiente domiciliario (Brewer M, et al, 1986).



Figura 3. Mosquito *Culex Quinquefasciatus*. Fuente: [http://www.cifr.it/culex\\_quinquefasciatus.jpg](http://www.cifr.it/culex_quinquefasciatus.jpg)

## 5.4 DEFINICIONES DE UN SUMIDERO

Algunas definiciones más comunes del término “Sumidero” son:

- Receptáculo situado en una cubierta que recoge el agua de la misma y la canaliza hasta un bajante de aguas pluviales.
- Tanque de desagüe de aguas residuales que se vacía por medios mecánicos.
- Ligera depresión formada entre dos terrenos que permite conducir las aguas superficiales<sup>6</sup>. Por lo general, los sumideros proporcionan un ambiente adecuado para la cría, establecimientos y diseminación de poblaciones de *A. Aegypti*.

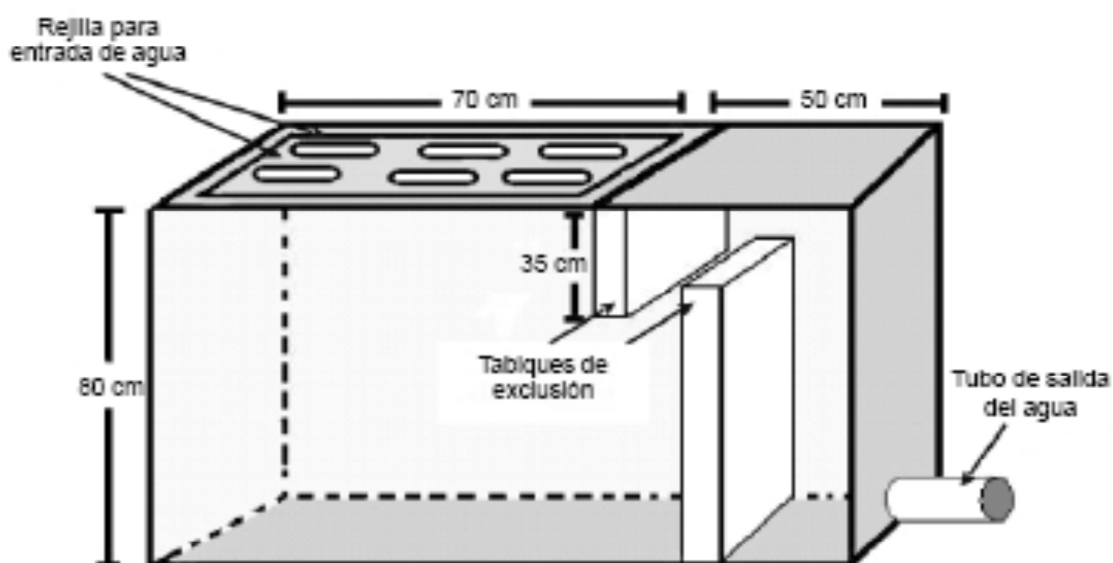


Figura 4. Esquema de uno de los principales modelos de sumideros construidos en la Ciudad de Cali  
Fuente: Diseño esquematizado por R. González y N. Carrejo, 2007

<sup>6</sup> Diccionario de Arquitectura y Construcción url: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-sumidero>

## 5.5 CONCEPTOS TÉCNICOS

### 5.5.1 Estadística Espacial

La estadística espacial tiene como objeto la exploración, la descripción, la visualización y el análisis de los datos considerando sus características de distribución en el espacio. Aquello que distingue la estadística espacial de otras ramas de la estadística es el uso de las localizaciones geográficas en las especificaciones del modelo estadístico (Saurina, 2006).

Como se sabe, las hipótesis subyacentes en el análisis estadístico clásico, son que las variables aleatorias siguen una misma distribución de probabilidad y que son independientes entre sí. Esta hipótesis permite modelizar la distribución conjunta del modelo como el producto de las distribuciones individuales y permite asumir, como en el análisis de regresión, que los errores sean independientes entre sí.

En contraposición con la estadística clásica o convencional, en la estadística espacial las observaciones no se consideran independientes, por el contrario se supone de manera implícita que están correlacionados unas con otras, es decir que existe una dependencia espacial. La característica de dependencia significa una diferencia substancial respecto al análisis estadístico efectuado con datos independientes y va a suponer tanto ventajas (como una predicción más precisa) como también inconvenientes (como una estimación menos precisa) (Saurina, 2006).

El *análisis espacial* consta de tres elementos principales: el *modelo cartográfico*, donde cada base de datos está representada como un mapa; los *modelos matemáticos*, donde los resultados dependen de la forma de interacción espacial entre los objetos en el modelo, o de relaciones espaciales, o bien de la posición geográfica de los objetos dentro del modelo; y el *desarrollo y la aplicación de técnicas estadísticas* para el adecuado análisis de los datos espaciales y el cual, como consecuencia, hace uso de la referencia espacial de los datos (Haining, 2001).

Los *datos espaciales* consisten en mediciones u observaciones realizadas en localizaciones o en áreas específicas. Además del valor de la medición u observación, los datos espaciales incluyen la localización/posición de los valores observados. Las localizaciones pueden ser referidas a **puntos o áreas**. Por ejemplo, datos referidos a un punto es una medición de un contaminante en suelo en un lugar con determinada latitud y longitud. Otro ejemplo serían las coordenadas (x, y) en metros del domicilio de un sujeto afectado de una neumonía por legionella. Los datos referidos a un área son los que utilizamos con más frecuencia en epidemiología, pues se tratan de observaciones realizadas en una región (municipio, sección censal, provincia). En ambas situaciones, la localización espacial puede ser regular o irregular, aunque lo habitual en epidemiología ambiental es que sea irregular ya que raramente se trabaja con rejillas de áreas regulares o mediciones ambientales adquiridas uniformemente de forma equidistante unas de otras.

Estos ejemplos conforman los tipos de datos espaciales más habituales en epidemiología ambiental y que requieren un abordaje analítico diferente:

- 1) Los datos espacialmente continuos (geoestadísticos).
- 2) Los procesos puntuales.
- 3) Los datos referidos a áreas (área data o lattice data).

### **5.5.2 Datos espacialmente continuos (geoestadísticos)**

Los datos espacialmente continuos, denominados también datos de campo aleatorio, son mediciones tomadas en puntos fijos con localizaciones continuas en el espacio. Las mediciones clásicas en salud ambiental, tales como contaminación de suelos y de aire o la radiación natural, suelen pertenecer a esta categoría. La variable medida, sin embargo, puede ser tanto continua como discreta.

El objetivo es el de, dados los valores tomados en puntos de muestreo fijos, extender la distribución espacial de los valores de un atributo sobre la región total de estudio. Por lo tanto el análisis de los datos geoestadísticos puede contemplar tanto la modelización del patrón de

variabilidad, la determinación de los factores con los que pueda estar relacionado, como la de obtener una buena predicción de la variable en puntos donde no se ha muestreado (Gatrell, 1998). Estos métodos son muy utilizados en estudios del área de geociencias (suelo, clima, hidrología, geología minera, etc.) por lo que también suelen ser denominados datos geoestadísticos. En epidemiología pueden encontrarse ejemplos de aplicación de estas técnicas en estudios de incidencia de enfermedades (Oliver, 1994) y en aplicaciones en vigilancia epidemiológica.

### **5.5.3 Procesos Puntuales**

Los procesos puntuales se refieren a la localización de eventos. Un sencillo ejemplo de proceso puntual serían las coordenadas de los domicilios de los casos de una enfermedad. En este tipo de datos se trataría de valorar si existe una tendencia de los eventos a exhibir un patrón sistemático, especialmente alguna forma de regularidad o de agregación. Se trataría de conocer si la intensidad de los eventos varía sobre la región de estudio y posiblemente buscar modelos que nos ayuden a explicar o comprender el fenómeno (Gatrell, 1998).

### **5.5.4 Análisis Espacial por Comunas (Regiones o Lattices)**

Los datos referidos a áreas son los que habitualmente se utilizan en epidemiología. Se conoce el número de casos de enfermedad/muerte por provincias, municipios o áreas de salud. Los eventos se refieren a una serie de polígonos y esos polígonos presentan una distribución espacial conocida. El objetivo en el análisis de este tipo de datos es modelizar el patrón espacial en los valores sobre estas áreas y descubrir los determinantes de ese patrón. Las técnicas de representación geográfica de datos en epidemiología suelen englobarse en este apartado (Abellán, 2000). Actualmente se está produciendo un gran desarrollo de los métodos de representación de mapas de patologías en áreas pequeñas en los que la utilización de modelos mixtos espaciales (con términos de efectos fijos y efectos aleatorios) es imprescindible. Hasta ahora los procedimientos disponibles para su ajuste eran muy limitados y hacían prácticamente intratable el problema.

Aunque en la actualidad se tiene gran cantidad de información georeferenciada, estos datos suelen ser tratados con herramientas del análisis de series temporales (o de corte transversal, no espacial), sin usar técnicas adecuadas para el análisis estadístico espacial. Los métodos que permiten extraer dichas características de los datos georeferenciados se conocen con el nombre de análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) y se conciben como una disciplina dentro del análisis estadístico más general, diseñada para el tratamiento específico de los datos geográficos. El AEDE se utiliza para identificar relaciones sistemáticas entre variables, o dentro de una misma variable, cuando no existe un conocimiento claro sobre su distribución en el espacio geográfico (Chasco, 2003). El objetivo principal del análisis exploratorio de datos espaciales está relacionado con la identificación de excepciones locales o tendencias generales, ya sea en los datos o en las relaciones.

Asimismo, se determina el patrón de distribución espacial a partir del uso de técnicas estadísticas, las cuales brindaran un primer acercamiento sobre la incidencia (presencia/ausencia) mensual de los vectores en las diferentes comunas, haciendo uso de diagramas de caja (box map), mapas de cuantiles, matrices de contigüidad, indicadores de asociación espacial (Moran global y local), histogramas de frecuencias, entre otras.

De las tres categorías de datos espaciales, la más conveniente para nuestro estudio resulta ser *el análisis de áreas (lattices)*, puesto que la información que se tiene es acerca de la presencia-ausencia del vector *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* en los sumideros de aguas lluvias, información correspondiente a un “evento” o “caso” determinado previamente, y dicho “evento” está referido a una serie de polígonos (sectores georeferenciados) que presentan una distribución espacial conocida.

Ya entrando un poco más en materia, a continuación se resume una serie de posibles métodos empleados en el análisis de retículas, los cuales brindaran distintos enfoques a la distribución espacial de los vectores *Aedes* y *Culex*:

- **Visualización de Distribuciones Espaciales (AEDE):** Box map, Mapa de Cuantiles.
- **Visualización de Asociación Espacial Global:** Matrices de Contigüidad, Indicador de Moran Global, Scatter plot de Moran.
- **Visualización de Asociación Espacial Local:** Indicador de Moran Local, Mapas Lisas (Desviación Estándar, Clúster Espacial).
- **Regresiones Lineales:** Simples, Ponderadas Geográficamente.

#### 5.5.4.1 Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)

El AEDE, en palabras de (Anselin L. , 1999), puede definirse como el conjunto de técnicas que describen y visualizan las distribuciones espaciales, identifican localizaciones atípicas o “atípicos espaciales” (“spatial outliers”), descubren esquemas de asociación espacial, agrupamientos (“clusters”) o puntos calientes (“hot spots”) y sugieren estructuras espaciales u otras formas de heterogeneidad espacial. Por tanto, estos métodos tienen un carácter descriptivo (estadístico) más que confirmatorio (econométrico), aunque la detección de estructuras espaciales en las variables geográficas, hace posible la formulación de hipótesis previas para la modelización econométrica y, en su caso, posible predicción espacial de nuevos datos.

Es decir, el AEDE debe constituir la fase previa a toda modelización econométrica espacial, sobre todo cuando no exista un marco formal o teoría previa acerca del fenómeno que se pretende explicar, como es el caso de algunos análisis interdisciplinarios realizados en las ciencias sociales, sobre todo en el campo de la economía regional, así como en los ejercicios de predicción-extrapolación de datos, en los que puede no existir una identificación entre relaciones económicas establecidas en diversos ámbitos o escalas territoriales (Arbia, 1989).



#### **5.5.4.2 Métodos Gráficos del AEDE**

En los últimos años, se han propuesto gran cantidad de métodos gráficos para el AEDE aunque, como ponen de manifiesto (Haining, et al, 2000), existen pocos estudios que valoren la utilidad y efectividad de todos ellos. En línea con (Wise, et al, 1999), tal como propone (Tukey, 1977) para el AED, podría afirmarse que un buen método gráfico de AEDE es aquél capaz de analizar y representar dos características fundamentales en toda distribución espacial: alisado (“smooth”) y asperezas (“rough”).

La anterior propuesta de métodos gráficos del AEDE se inspira en otra similar propuesta por (Anselin, 1998) y recogida por (Moreno R., et al, 2000), en la que se diferencian los métodos de representación de distribuciones espaciales que contemplan los dos elementos fundamentales: alisado (global) y asperezas (local), tales como: box map, cuantiles, indicadores globales y locales, mapas LISA, etc.

##### **5.5.4.2.1 Diagramas/Mapas de Caja (Box Plot)**

Es un método de representación univariante utilizado por la perspectiva reticular o “lattice” que considera que los datos espaciales son realizaciones individuales de un proceso estocástico (como en el análisis de series temporales), haciendo posible la identificación de puntos atípicos o “outliers” espaciales. Esta representación visual asocia las cinco medidas descriptivas que suelen trabajarse de forma individual en distribuciones de datos (mediana, primer cuartil, tercer cuartil, valor máximo y valor mínimo). Presenta al mismo tiempo, información sobre la tendencia central, dispersión y simetría de los datos de estudio. Por su facilidad de construcción e interpretación, permite también comparar a la vez varios grupos de datos sin perder información ni saturarse de ella.

La construcción del diagrama y mapa de caja parte del cálculo de los cuantiles y la media de una variable, así como de la obtención de las llamadas cotas o valores adyacentes superior e inferior, que se obtienen, a su vez, como el producto de los valores del tercer (primer) cuartil por

1,5 veces el recorrido intercuartílico. De esta forma, se consideran como valores atípicos aquellos situados por encima (o por debajo) de dichas cotas.

#### **5.5.4.2.2 Mapas de Cuantiles**

Los mapas de cuantiles son mapas temáticos que representan en forma de colores graduados la tendencia espacial global de una variable. Los datos se dividen y se agrupan en una serie de categorías (cuantiles o rangos iguales) con igual número de observaciones y con igual número de clases o intervalos.

La interpretación de los mapas de cuantiles es similar a la del BoxMap, ya que se puede ver como se agrupan las comunas que pertenecen a cada uno de los cuantiles, dentro de la zona de estudio. Las comunas que pertenecen al mismo cuartil tienen el mismo color.

#### **5.5.5 Autocorrelación Espacial**

La autocorrelación espacial es utilizada en la medición de la asociación lineal entre dos variables aleatorias, y puede definirse como la influencia de la coincidencia de valores similares de una variable en espacios geográficos cercanos, es decir, cuando una variable tiende a asumir valores similares en unidades geográficamente cercanas (Anselin, 2001). Es decir, una vez que se involucra la distancia, queremos saber qué tan semejante o diferente es el valor de la variable “consigo misma”, una vez que se considera la variación de los valores de estos atributos entre los diferentes puntos en el espacio. Definida de manera más simple, la autocorrelación espacial es la concentración o dispersión de los valores de una variable en un mapa. Dicho de otra manera, la autocorrelación espacial refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Goodchild, 1987).

La propiedad básica de los datos espacialmente autocorrelacionados es que los valores no son aleatorios en el espacio, es decir, los valores de los datos están espacialmente relacionados entre sí (Lee, et al, 2001). La autocorrelación espacial puede presentarse con valores positivos

o negativos; existe *autocorrelación positiva* cuando valores similares de una variable aleatoria tienden a aglomerarse en el espacio, habiendo dependencia espacial entre ellos; por otra parte, la *autocorrelación negativa* se presenta cuando las unidades geográficas de observación tienden a estar rodeadas de valores opuestos estadísticamente significativos. Las aglomeraciones resultantes son caracterizadas por la similitud de los valores de las unidades de observación, clasificándose en *altas*, con valores superiores a la media del conjunto de observaciones, y *bajas* con valores inferiores a esa misma media. Para distinguir las aglomeraciones que exhiben valores de los atributos, superiores o inferiores a la media del total de las observaciones, se utilizarán métodos asociados al análisis exploratorio espacial recientemente desarrollados (Anselin, 2001).

Uno de los métodos tradicionales asociado al análisis exploratorio espacial es el **Índice de Moran**, el cual es una medida de asociación lineal para medir grados de semejanza entre las observaciones en función de sus atributos.

Este tipo de análisis de exploración visual (Índice de Moran) distingue dos tipos de autocorrelación: *la autocorrelación global y la local*; el primer tipo considera los valores de todas las observaciones, mientras el segundo considera la autocorrelación de los valores de las unidades de observación y los de sus vecinos.

Para el cálculo de este índice se requiere establecer dos aspectos relevantes a la hora del análisis de autocorrelación espacial: *la superficie y la vecindad*. Para el primero, la superficie de estudio es el municipio de Santiago de Cali (zona urbana, sin tener en cuenta zona rural) compuesto por sus 22 comunas. Cada comuna está espacialmente localizada con coordenadas Norte y Este correspondiente al centroide del polígono, por ser el punto más significativo. Para el segundo aspecto, el término de “vecindades” hace referencia a la proximidad (criterio de frontera común) entre las comunas de acuerdo a un criterio de distancia establecido. Para ello, se utilizan *matrices de contigüidad*, que serán explicadas a continuación:

#### 5.5.5.1 Matrices de Contigüidad

Se define como *matriz de contigüidad* al arreglo  $W$  donde cada una de las filas como las columnas representa una región en el espacio objeto de estudio. Esta matriz representa la relación que tiene cada una de las regiones con las demás regiones del espacio en estudio, tal como se vería en un mapa. Existen una infinidad de formas en que la matriz de contigüidad puede ser construida, la más sencilla es utilizando notación binaria, donde 1 (uno) representa la presencia de contigüidad espacial entre dos unidades y 0 (cero) la ausencia de contigüidad espacial entre dos unidades. Este tipo de matrices son simétricas.

Existe gran variedad de formas para definir la presencia o ausencia de contigüidad, entre ellas tenemos: *contigüidad de torre*, *contigüidad del alfil* y *contigüidad de reina*. Una de las más utilizadas es la matriz por contigüidad de reina, ya que permite conocer unidades que comparten tanto un lado en común como un vértice con la región de interés  $w_{ij} = 1$ .

|          |          |          |
|----------|----------|----------|
| <b>b</b> | <b>b</b> | <b>b</b> |
| <b>b</b> | <b>a</b> | <b>b</b> |
| <b>b</b> | <b>b</b> | <b>b</b> |

Sin embargo, en muchas ocasiones resulta que la notación binaria no suministra una buena especificación de resultados para la problemática de estudio, por lo que resulta fundamental tener en cuenta otras posibles matrices o criterios que soporten con mayor validez lo que se tiene. Algunas metodologías para la construcción de estas matrices de contigüidad se basan en la similitud o disimilitud existente entre los datos y las características inherentes a las variables en estudio. Teniendo en cuenta lo anterior, se fijaran dos razones para determinar las vecindades de cada zona: la frontera común y la distancia entre zonas vecinas. Para lo anterior, se establecen tres criterios que servirán para la evaluación de la autocorrelación espacial local y global.

- **Criterio 1:** La matriz a utilizar es la contigüidad de reina, donde dos provincias son vecinas si tienen frontera en común. La intensidad de esta relación es constante (independiente por ejemplo de la longitud de la frontera) y la misma para todas ellas.

$W1 = 0$ ; si no son vecinas

$W1 = 1$ ; si son vecinas

- **Criterio 2:** Dos provincias mantendrán una relación si la distancia entre sus respectivos centroides es menor a 4000 metros, puesto que a distancias mayores a ésta la relación se torna más débil sobre todo cuando las zonas (comunas) no son necesariamente vecinas.

$W2 = 0$ ; si la distancia es mayor a 4000 m.

$W2=d$ ; si la distancia entre centroides es menor a 4000 m sin importar la existencia de vecindad entre ellas.

- **Criterio 3:** Dos provincias mantendrán una relación si son vecinas y además la intensidad de su relación estará siendo influenciada por la distancia entre los centroides expresada en metros, por consiguiente se estaría cruzando las dos matrices anteriores.

$W3 = 0$ ; si no son vecinas

$W3=d$ ; si son vecinas

#### 5.5.5.2 Medidas de Autocorrelación Global: Índice de Moran

Indiscutiblemente, una de las herramientas más utilizadas para determinar autocorrelación espacial entre dos o más variables es el *índice I de Moran*, el cual expresa de manera formal el grado de asociación lineal entre dos variables aleatorias independientes, representadas funcionalmente por el vector  $Z$  de los valores observados y el vector  $W$  de las medias ponderadas espacialmente de los valores de las unidades de observación vecinas, llamado el vector (*lag*) espacial. Este coeficiente está fundamentado en un modelo de auto covarianza. La

proximidad entre “i” y “j” (filas y columnas) se denota como  $d_{ij}$ , y son elementos de la matriz de distancia o contigüidad ( $W_{ij}$ ). El índice de Moran se expresa formalmente mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{n}{s} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^n Z_i^2}$$

Donde  $n$  es el número de unidades geográficas de observación,  $w_{ij}$  son los elementos de una matriz binaria de contigüidad,  $s$  es la suma de todos los elementos de la matriz  $W$  y  $z_i$  y  $z_j$  son los valores estandarizados de la variable a analizar de la unidad geográfica de observación  $i$  y  $j$ . La doble sumatoria de  $i$  y  $j$  está comparando a los valores con la media de toda la región estudiada.

Los valores del índice de Moran oscilan entre +1 y -1, donde el primer valor significa una autocorrelación positiva perfecta (perfecta concentración), y el segundo una autocorrelación negativa perfecta (perfecta dispersión); el cero significa un patrón espacial completamente aleatorio. En el índice de Moran, la asociación de valores en el conjunto de datos está determinada por una matriz de distancias o contigüidad, la cual predefine los valores vecinos para el cálculo del coeficiente de autocorrelación. Esta matriz, también llamada de pesos espaciales, está basada en los vecinos *k-más cercanos* calculados desde la distancia radial entre los centroides regionales, entendidos como los centros geométricos de los polígonos irregulares (en nuestro caso Comunas) asociados con cada unidad de observación en el plano real sobre el terreno físico (LeGallo, 2003).

#### **5.5.5.3 Medidas de Autocorrelación Local: Índice de Moran Local**

El cálculo del Índice de Moran a nivel global está basado en que el grado de autocorrelación espacial de un atributo entre unidades espaciales es igual para todos los polígonos o puntos analizados, es decir, existe un supuesto implícito de estacionalidad (homogeneidad) espacial. Este supuesto puede desviarse de lo que pasa en la asociación espacial a nivel local, ya que

posiblemente la estadística global del Moran pueda estar distorsionando lo que ocurre a niveles locales. Por tal razón, la expresión del indicador local de Moran queda de la siguiente forma:

$$I = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Donde  $n$  es el número de unidades geográficas de observación,  $w_{ij}$  son los elementos de una matriz binaria de contigüidad,  $x$  es el atributo de la variable y  $\bar{x}$  es la media del producto cruzado. El análisis espacial a nivel local implica la comparación de la diferencia de la media de cada observación con la media de todo el conjunto de observaciones, así como de la diferencia de la media de las observaciones vecinas.

Para el análisis de autocorrelación espacial local, se utilizarán los Indicadores Locales de Autocorrelación Espacial LISA y el diagrama de dispersión de morán. Este indicador satisface la condición de que la LISA de cada observación indica aglomeración espacial estadísticamente significativa de valores similares alrededor de esa observación.

En cuanto a los **mapas LISA** ("Local Indicator of Spatial Association"), se trata de mapas en los que se representan aquellas localizaciones con valores significativos en indicadores estadísticos de asociación espacial local (Anselin, et al, 1995), poniendo así de manifiesto la presencia de puntos calientes ("hot spots") o atípicos espaciales, cuya mayor o menor intensidad dependerá de la significatividad asociada de los citados estadísticos.

El análisis de las LISA permite explorar visualmente los patrones de aglomeración formados en función a los valores de una variable que presentan las unidades de observación analizadas y las unidades vecinas. De esta forma, puede apreciarse en que unidades geográficas existe homogeneidad en los patrones de aglomeración, es decir, cuando existe una autocorrelación espacial positiva; y heterogeneidad cuando existe autocorrelación espacial negativa.

Cuando se presenta la autocorrelación espacial negativa, se cumplen las condiciones elementales de heterogeneidad espacial, la cual se presenta cuando en una unidad de

observación, el valor de una variable que esté por arriba del promedio de todas las observaciones, está rodeada por vecinos que presentan valores por debajo de ese mismo promedio y viceversa (Anselin L., 1992).

### 5.5.6 Regresión Lineal Simple

Una regresión lineal simple tiene como objetivo el estudiar cómo los cambios en una variable no aleatoria afectan a una variable aleatoria, en el caso de existir una relación funcional entre ambas variables que puede ser establecida por una expresión lineal, es decir, su representación gráfica es una **línea recta**.

Con frecuencia, nos encontramos en economía con modelos en los que el comportamiento de una variable,  $Y$ , se puede explicar a través de una variable  $X$ ; lo que representamos mediante

$$Y = f(x)$$

Si consideramos que la relación  $f$ , que liga  $Y$  con  $X$ , es lineal, entonces se puede escribir así:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t$$

Como quiera que las relaciones del tipo anterior raramente son exactas, sino que más bien son aproximaciones en las que se han omitido muchas variables de importancia secundaria, debemos incluir un término de perturbación aleatoria,  $u_t$ , que refleja todos los factores –distintos de  $X$  - que influyen sobre la variable endógena, pero que ninguno de ellos es relevante individualmente. Con ello, la relación quedaría de la siguiente forma:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + \mu_t$$

La expresión anterior refleja una relación lineal, y en ella sólo figura una única variable explicativa, recibiendo el nombre de relación lineal simple. El calificativo de simple se debe a que solamente hay una variable explicativa.



### 5.5.6.1 Modelos Lineales con Ponderador Geográfico

Mediante las regresiones lineales simples se demostró el grado y el sentido en la relación existente entre la tasa de riesgo de incidencia y las variables socioeconómicas, pero resultan en ocasiones poco explicativos, ya que gran parte de sus componentes no son explicados detalladamente por ellos (como lo es la varianza). No obstante, al introducir al modelo un ponderador geográfico (matrices de contigüidad, factor distancia, etc.), si bien no cambia el sentido de las relaciones, el modelo se torna altamente entendible, lo que daría cuenta de la existencia de una estructura espacial en la relación de las variables. Por consiguiente, lo anterior permitiría ver no solo el grado y el sentido de la relación, sino que al vincularlo con el mapa de autocorrelación local de Morán, también permitiría apreciar las áreas en las que esa relación es más fuerte o más débil.

Siguiendo con la metodología planteada, el siguiente objetivo debe ser especificar alguno de los modelos espaciales de regresión que recogen este tipo de estructuras. Las especificaciones más conocidas (Anselin, 1988) son: tipo lag

$$y = \rho W_y + X\beta + \mu$$
$$u \sim N(0, \sigma^2 + I)$$

Donde  $y$  es un vector ( $N \times 1$ ), el retardo espacial de la variable  $y$ ,  $X$  una matriz de  $K$  variables exógenas,  $U$  un término estocástico de error,  $N$  el número de observaciones y el parámetro autor regresivo que recoge la intensidad de las interdependencias entre las observaciones muestrales. Por consiguiente se propondrá un modelo con la siguiente estructura:

$$TASA \ RIESGO \ INCIDENC = \alpha + \beta_1 * ACUEDUCTO + \beta_2 * ALCANTARILLADO + \beta_3 * ASEO + \mu_1$$

### 5.5.7 Epidemiología Espacial

El término *epidemiología espacial* o geográfica se emplea para describir estudios sobre las causas y la prevención de las enfermedades utilizando diferentes perspectivas de análisis en las que la localización de los eventos es un componente fundamental (Thomas, 1990). Uno de sus principales objetivos es el de mostrar que parte de la variación espacial de la distribución de la ocurrencia de una enfermedad no está explicada ni por la distribución espacial de factores explicativos conocidos ni por una variación aleatoria. De hecho, a menudo, interesa encontrar pistas sobre algún factor de riesgo desconocido de esta enfermedad (Saurina, 2006).

Con posterioridad, la epidemiología espacial creció en complejidad, sofisticación y utilidad (Wartenberg, 2004). La epidemiología espacial extiende la amplia tradición de estudios ecológicos que utilizan las explicaciones de la distribución de enfermedades en diferentes localizaciones geográficas para comprender mejor la etiología de la enfermedad (Wartenberg, 2004).

Siguiendo a (Wartenberg, 2004), la epidemiología espacial en áreas pequeñas puede ser abordada desde tres grandes perspectivas:

- Mapas de enfermedades
- Estudios de asociación geográfica
- Aglomeraciones de casos o “clustering”

## 6 METODOLOGIA Y RESULTADOS

Diseño Metodológico para el Análisis Espacial de la Distribución del Vector *Aedes Aegypti* y *Culex Quinquefasciatus* en los sumideros de aguas lluvias en el área urbana del municipio de Santiago de Cali durante el año 2009.

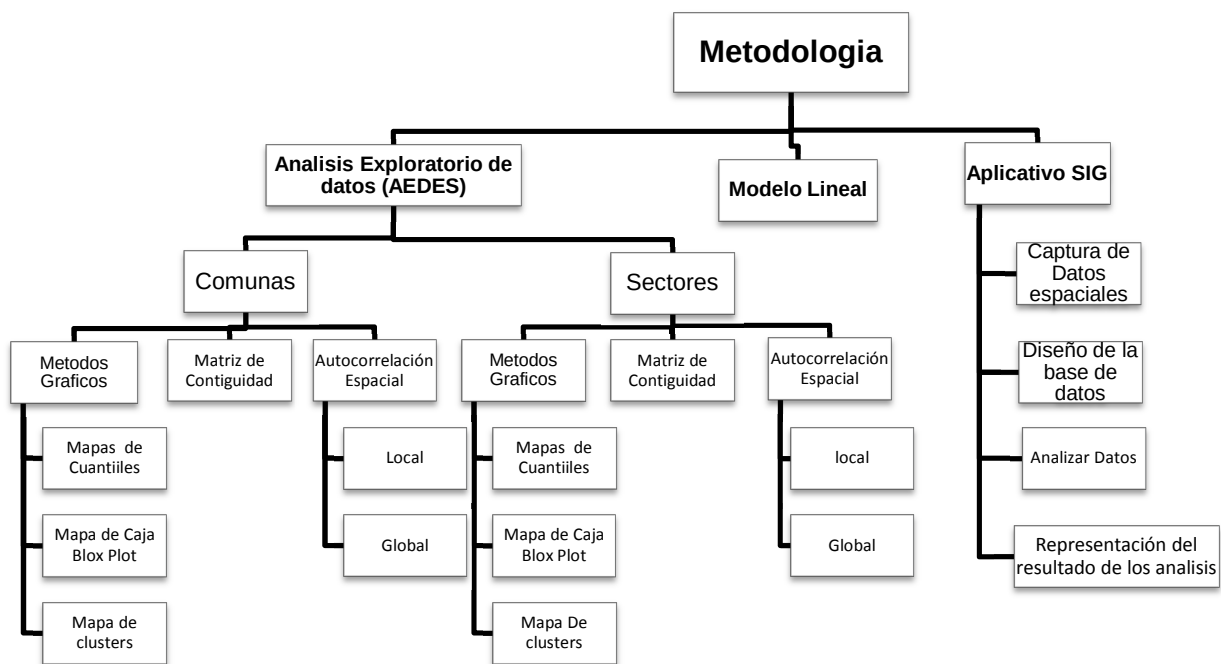


Figura 5. Diseño Metodológico. Elaboración: Fuente propia

## 6.1 Análisis Descriptivo de los Datos por Comunas y por Mes

Para llevar a cabo un análisis descriptivo de la presencia o ausencia de los vectores Aedes Aegypti y Culex Quinquemaculatus en los sumideros de aguas lluvias, se realizó la clasificación de cantidad de sumideros que contienen larvas aedes, larvas culex y pupas por mes, adicionalmente calculando sus respectivos índices de larvacidad, de tal forma que se generaron intersecciones espaciales entre los índices calculados y las comunas del municipio de Santiago de Cali. (NOTA: la variable larvas mixtas no se tiene en cuenta para el análisis descriptivo).

| Comuna | Mes | Total | Inspeccion | LarAed | %<br>Aedes | LarMix | %Mixtas | LarCul | %<br>Culex | Pupas | %Pupas | Tratados |
|--------|-----|-------|------------|--------|------------|--------|---------|--------|------------|-------|--------|----------|
| 3      | 3   | 314   | 208        | 7      | 3,27       | 5      | 2,59    | 15     | 7,40       | 13    | 6,34   | 226      |
| 3      | 4   | 278   | 197        | 11     | 5,60       | 10     | 4,89    | 31     | 15,88      | 26    | 12,98  | 213      |
| 3      | 5   | 309   | 221        | 9      | 3,85       | 7      | 3,22    | 33     | 15,08      | 22    | 9,96   | 237      |
| 3      | 6   | 285   | 211        | 14     | 6,40       | 12     | 5,51    | 47     | 22,03      | 36    | 17,15  | 224      |
| 3      | 7   | 304   | 216        | 3      | 1,39       | 3      | 1,18    | 19     | 9,00       | 12    | 5,60   | 238      |
| 3      | 8   | 291   | 183        | 2      | 1,16       | 2      | 0,89    | 20     | 10,70      | 12    | 6,27   | 201      |
| 3      | 9   | 289   | 180        | 3      | 1,51       | 2      | 1,31    | 30     | 16,89      | 16    | 8,62   | 197      |
| 3      | 10  | 311   | 205        | 5      | 2,21       | 4      | 2,08    | 51     | 24,83      | 34    | 14,80  | 227      |
| 3      | 11  | 280   | 174        | 13     | 7,40       | 12     | 7,03    | 48     | 27,25      | 40    | 23,03  | 198      |
| 3      | 12  | 336   | 241        | 7      | 2,86       | 7      | 2,70    | 52     | 21,65      | 34    | 14,23  | 263      |

| Comuna | Mes | Total | Inspeccion | LarAed | %<br>Aedes | LarMix | %Mixtas | LarCul | %<br>Culex | Pupas | %Pupas | Tratados |
|--------|-----|-------|------------|--------|------------|--------|---------|--------|------------|-------|--------|----------|
| 5      | 3   | 234   | 204        | 0      | 0,00       | 0      | 0,00    | 0      | 0,00       | 0     | 0,00   | 244      |
| 5      | 4   | 223   | 177        | 17     | 9,45       | 13     | 7,57    | 34     | 19,25      | 23    | 13,06  | 491      |
| 5      | 5   | 227   | 178        | 16     | 8,88       | 13     | 7,34    | 39     | 21,81      | 21    | 11,75  | 214      |
| 5      | 6   | 215   | 165        | 14     | 8,30       | 11     | 6,66    | 26     | 15,94      | 25    | 15,38  | 221      |
| 5      | 7   | 210   | 155        | 5      | 3,44       | 3      | 1,84    | 10     | 6,52       | 6     | 4,09   | 165      |
| 5      | 8   | 222   | 162        | 2      | 1,47       | 2      | 1,03    | 26     | 15,74      | 17    | 10,56  | 174      |
| 5      | 9   | 194   | 146        | 2      | 1,42       | 2      | 1,17    | 32     | 21,83      | 20    | 13,44  | 158      |
| 5      | 10  | 216   | 165        | 9      | 5,76       | 7      | 4,32    | 53     | 32,22      | 35    | 21,08  | 175      |
| 5      | 11  | 222   | 165        | 12     | 7,41       | 12     | 7,14    | 58     | 35,07      | 44    | 26,48  | 175      |
| 5      | 12  | 201   | 164        | 4      | 2,66       | 3      | 1,86    | 26     | 15,63      | 14    | 8,80   | 174      |

Tabla 1 Ejemplos de Clasificación de Cantidad de Sumideros con larvas aedes, culex y pupas, con sus índices de larvacidad calculados. Fuente: Elaboración Propia.

Las anteriores tablas corresponden a los porcentajes de índices de larvacidad calculados para las comunas 3 y 5 respectivamente (a manera de ejemplo), de igual manera se tienen también calculados dichos índices para las demás comunas.

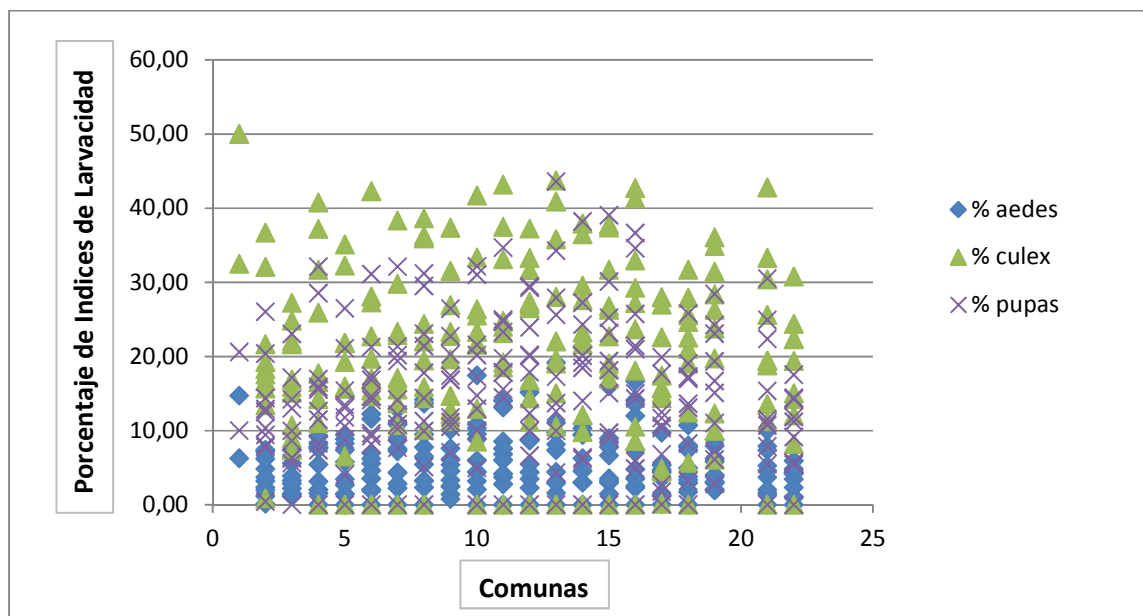


Figura 6. Porcentaje de Índices de Larvacidad por comunas. Fuente: Elaboración propia

Realizado el cruce espacial entre los índices de larvacidad y las comunas, podemos observar en la figura 6 un comportamiento bastante similar de porcentaje de dichos índices (estos índices me determinan la presencia/ausencia de los vectores aedes y culex a manera de porcentajes), lo que conlleva a plantearnos como hipótesis que el comportamiento mensual de estos vectores no se da de forma aleatoria sino que por el contrario puede estar siendo afectado por variables o factores socioeconómicos, con los cuales se evidencia cierta homogeneidad en el valor de los datos. Esa homogeneidad implica que se contemple la posibilidad de una agregación espacial (autocorrelación espacial) de índices calculados.

## 7 ANALISIS ESPACIAL POR COMUNAS (REGIONES O LATTICES)

Se llevará a cabo un estudio a partir de los índices de larvacidad mensual calculados para cada una de las 22 comunas pertenecientes al municipio de Santiago de Cali, donde se analizará el patrón de distribución de incidencia de los vectores *Aedes aegypti* (portador del Dengue) y *Culex quinquefasciatus* (portador del virus del Oeste del Nilo) en los sumideros de aguas lluvias, como también analizar el rol de otras variables que influyan en el comportamiento de dichos vectores en función de espacio y tiempo. Se ha puesto a consideración varias técnicas para abordar este proyecto, como es el caso del reconocimiento de ciertos patrones de comportamiento a partir del empleo de mapas (cartografía), de igual manera estimar diversos indicadores (Índice de Moran a nivel global y local, por citar alguno) que brinden respuestas a muchos interrogantes en cuanto al análisis exploratorio de datos espaciales.

Para llevar a cabo el análisis espacial por retículas (comunas), se dispone de los índices de larvacidad calculados, que permitirán conocer por unidad de área el comportamiento de los vectores y de esta manera poder comparar los resultados obtenidos.

Para el cálculo de estos índices, se utilizaron las siguientes expresiones en función de los sumideros inspeccionados en el trabajo de campo realizado por funcionarios de la SSPM (Secretaria de Salud Pública Municipal):

$$\text{indices de larvacidad Aedes Aegypti} = \frac{N^{\circ} \text{ sumideros con larvas Aedes}}{N^{\circ} \text{ de sumideros Inspeccionados}} \times 100$$

$$\text{indices de larvacidad Culex Quinquefasciatus} = \frac{N^{\circ} \text{ sumideros con larvas Culex}}{N^{\circ} \text{ de sumideros Inspeccionados}} \times 100$$

$$\text{indices de larvacidad Pupas} = \frac{N^{\circ} \text{ sumideros con Pupas}}{N^{\circ} \text{ de sumideros Inspeccionados}} \times 100$$

Las variables larvas mixtas y % mixtas no se tienen en cuenta para el análisis espacial.

A manera de ejemplo, visualicemos los índices calculados para algunas de las comunas:

| Comuna | Mes | Total | Inspeccion | LarAed | %<br>Aedes | LarMix | %Mixtas | LarCul | %<br>Culex | Pupas | %Pupas | Tratados |
|--------|-----|-------|------------|--------|------------|--------|---------|--------|------------|-------|--------|----------|
| 4      | 3   | 317   | 245        | 0      | 0,00       | 0      | 0,00    | 0      | 0,00       | 0     | 0,00   | 245      |
| 4      | 4   | 339   | 257        | 20     | 7,80       | 15     | 5,83    | 42     | 16,50      | 29    | 11,49  | 272      |
| 4      | 5   | 325   | 247        | 19     | 7,55       | 15     | 5,93    | 44     | 17,69      | 31    | 12,62  | 264      |
| 4      | 6   | 318   | 243        | 20     | 8,24       | 17     | 6,85    | 43     | 17,68      | 39    | 15,87  | 256      |
| 4      | 7   | 300   | 231        | 13     | 5,44       | 9      | 3,87    | 26     | 11,03      | 17    | 7,36   | 245      |
| 4      | 8   | 284   | 214        | 7      | 3,17       | 6      | 2,95    | 55     | 25,89      | 36    | 16,94  | 230      |
| 4      | 9   | 329   | 250        | 5      | 2,02       | 5      | 1,82    | 79     | 31,70      | 39    | 15,55  | 269      |
| 4      | 10  | 339   | 256        | 20     | 7,84       | 18     | 7,06    | 95     | 37,19      | 73    | 28,53  | 279      |
| 4      | 11  | 320   | 239        | 22     | 9,22       | 20     | 8,35    | 97     | 40,78      | 77    | 32,09  | 255      |
| 4      | 12  | 326   | 268        | 4      | 1,57       | 4      | 1,42    | 38     | 14,23      | 22    | 8,30   | 283      |

| Comuna | Mes | Total | Inspeccion | LarAed | %<br>Aedes | LarMix | %Mixtas | LarCul | %<br>Culex | Pupas | %Pupas | Tratados |
|--------|-----|-------|------------|--------|------------|--------|---------|--------|------------|-------|--------|----------|
| 5      | 3   | 234   | 204        | 0      | 0,00       | 0      | 0,00    | 0      | 0,00       | 0     | 0,00   | 244      |
| 5      | 4   | 223   | 177        | 17     | 9,45       | 13     | 7,57    | 34     | 19,25      | 23    | 13,06  | 491      |
| 5      | 5   | 227   | 178        | 16     | 8,88       | 13     | 7,34    | 39     | 21,81      | 21    | 11,75  | 214      |
| 5      | 6   | 215   | 165        | 14     | 8,30       | 11     | 6,66    | 26     | 15,94      | 25    | 15,38  | 221      |
| 5      | 7   | 210   | 155        | 5      | 3,44       | 3      | 1,84    | 10     | 6,52       | 6     | 4,09   | 165      |
| 5      | 8   | 222   | 162        | 2      | 1,47       | 2      | 1,03    | 26     | 15,74      | 17    | 10,56  | 174      |
| 5      | 9   | 194   | 146        | 2      | 1,42       | 2      | 1,17    | 32     | 21,83      | 20    | 13,44  | 158      |
| 5      | 10  | 216   | 165        | 9      | 5,76       | 7      | 4,32    | 53     | 32,22      | 35    | 21,08  | 175      |
| 5      | 11  | 222   | 165        | 12     | 7,41       | 12     | 7,14    | 58     | 35,07      | 44    | 26,48  | 175      |
| 5      | 12  | 201   | 164        | 4      | 2,66       | 3      | 1,86    | 26     | 15,63      | 14    | 8,80   | 174      |

Tabla 2. Índices de Larvacidad para las Comunas 4, 5. Fuente: Elaboración Propia

Con la información suministrada por la Secretaría de Salud Pública Municipal, se llevó a cabo un proceso estadístico descriptivo de los datos, calculando el promedio de sumideros que contienen larvas aedes, larvas culex y pupas aedes, respectivamente. Luego de tener ese promedio, utilizando las anteriores expresiones se calcularon los índices de larvacidad para las tres variables de estudio y para cada comuna en sus respectivos meses como se puede observar en la Tabla 2. Una vez calculados dichos índices, se procede a realizar el análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) utilizando el software libre GEODA.

## 7.1 Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)

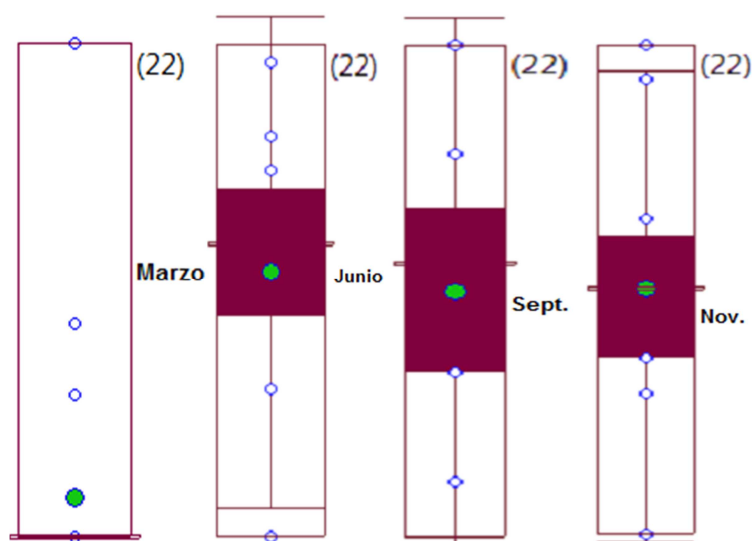
El AEDE permite identificar visualmente las distribuciones espaciales, localizaciones atípicas, agrupamientos (cluster), puntos calientes (hot spots), esquemas de asociación espacial, de cualquier fenómeno que se pretende explicar teniendo en cuenta la componente espacial.

### 7.1.1 Métodos Gráficos del AEDE

Existen muchas propuestas acerca de los métodos gráficos del AEDE, pero sin duda alguna, un buen método gráfico para esta disciplina del Análisis Espacial es aquel capaz de analizar y representar dos características fundamentales en toda distribución espacial: alisado (global) y asperezas (local). Estos métodos son: box plot, mapas de cuantiles, índices de moran, mapas LISA, entre otras.

#### 7.1.1.1 Diagramas/Mapas de Caja (Box Plot)

A continuación, se visualizan algunos ejemplos correspondientes a las zonas atípicas mensuales para cada variable de estudio (aedes, culex y pupas):





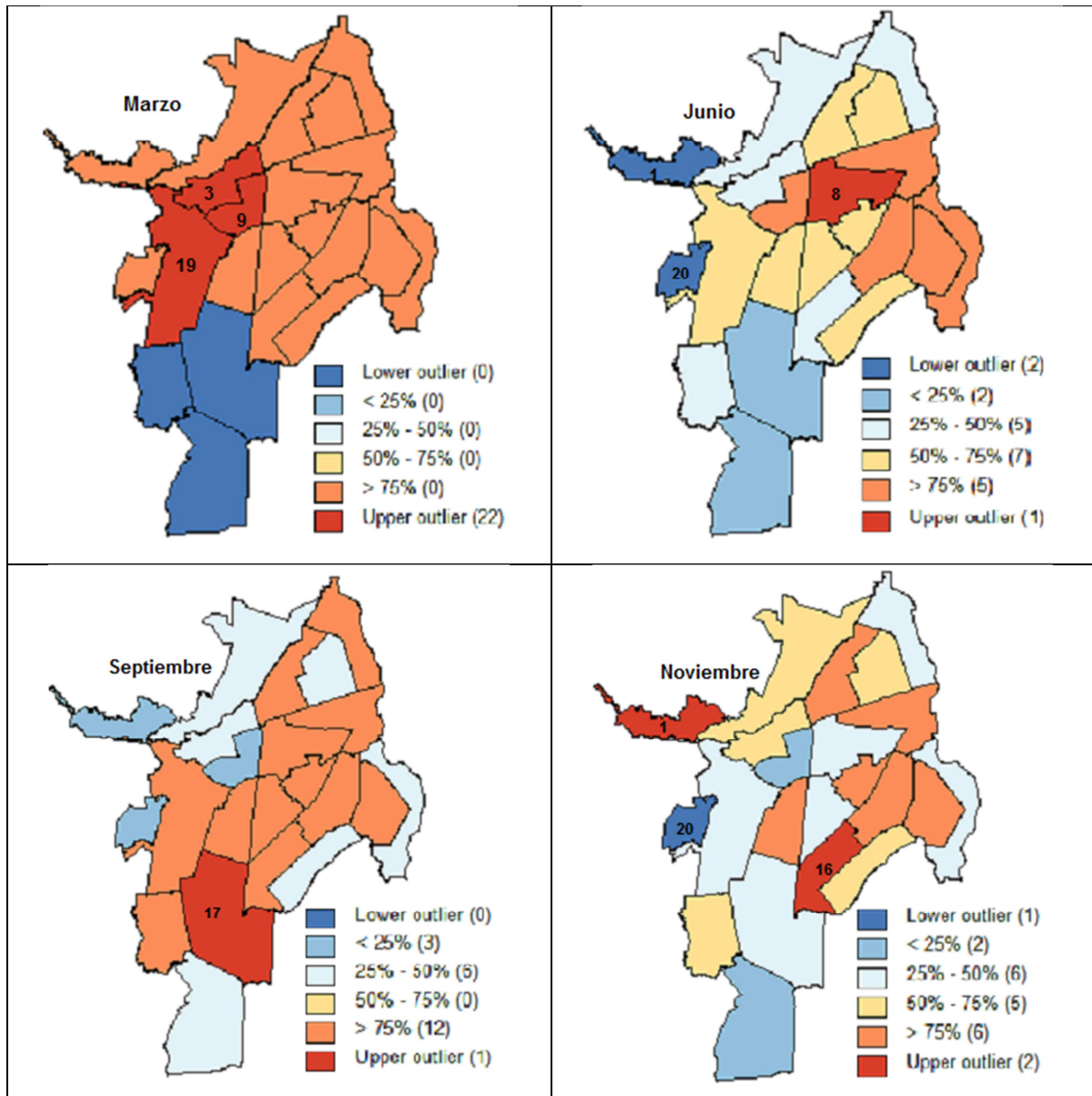


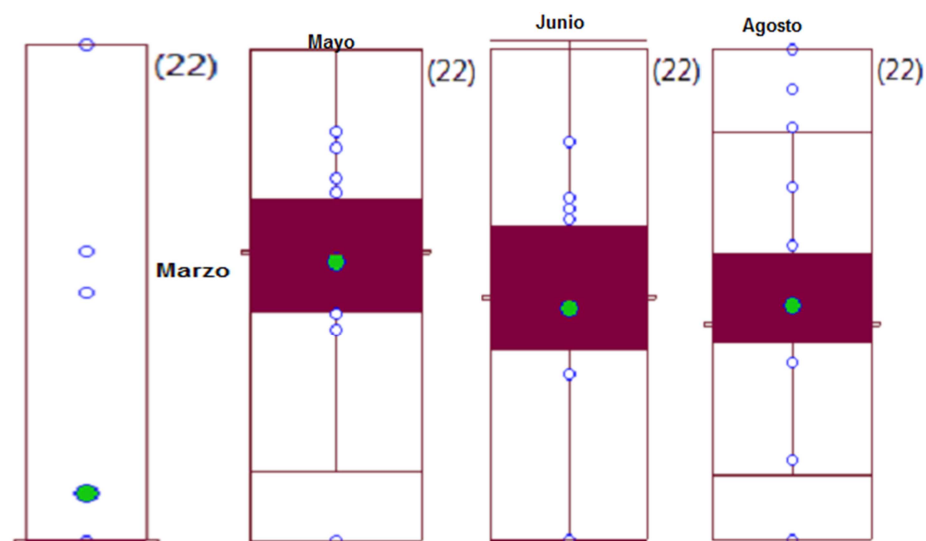
Figura 7 Zonas Atípicas Mensuales para la variable larvas aedes en el año 2009 (Box Plot y Box Map).  
Fuente: Elaboración propia

La dispersión de los datos es medida por la *desviación estándar*, la cual parte de la hipótesis de que los argumentos representan la muestra de una población. La desviación estándar dice cuánto tienden a alejarse los datos del promedio. Si todos los valores están más cerca del

promedio, la desviación también se hace más pequeña e indica una distribución más homogénea. En distribuciones con alta desviación estándar (distribuciones heterogéneas), usualmente el promedio deja de ser representativo.

Para la variable larvas *aedes* (figura 7) se puede observar que existe un comportamiento constante en la dispersión de los datos frente a la media en los meses de junio, septiembre y noviembre presentándose una distribución de datos homogénea, a excepción del mes de marzo que presenta una mayor concentración de los datos para los cuartiles Q1 y Q2, lo que nos indica poca correlación de los datos por comunas para ese mes.

Las zonas atípicas u outliers espaciales están representadas con los colores azul oscuro y rojo oscuro, de esta manera dichas zonas corresponden a las siguientes comunas: para el mes de marzo: 3, 9 y 19; para el mes de junio: 1, 8 y 20; para el mes de septiembre: 17; y para el mes de noviembre: 1, 16 y 20. Como se puede observar, se mantiene una alta autocorrelación espacial en la zona centro y oriente de la ciudad, sin embargo las comunas 1 y 20 también se integran a estas zonas atípicas.



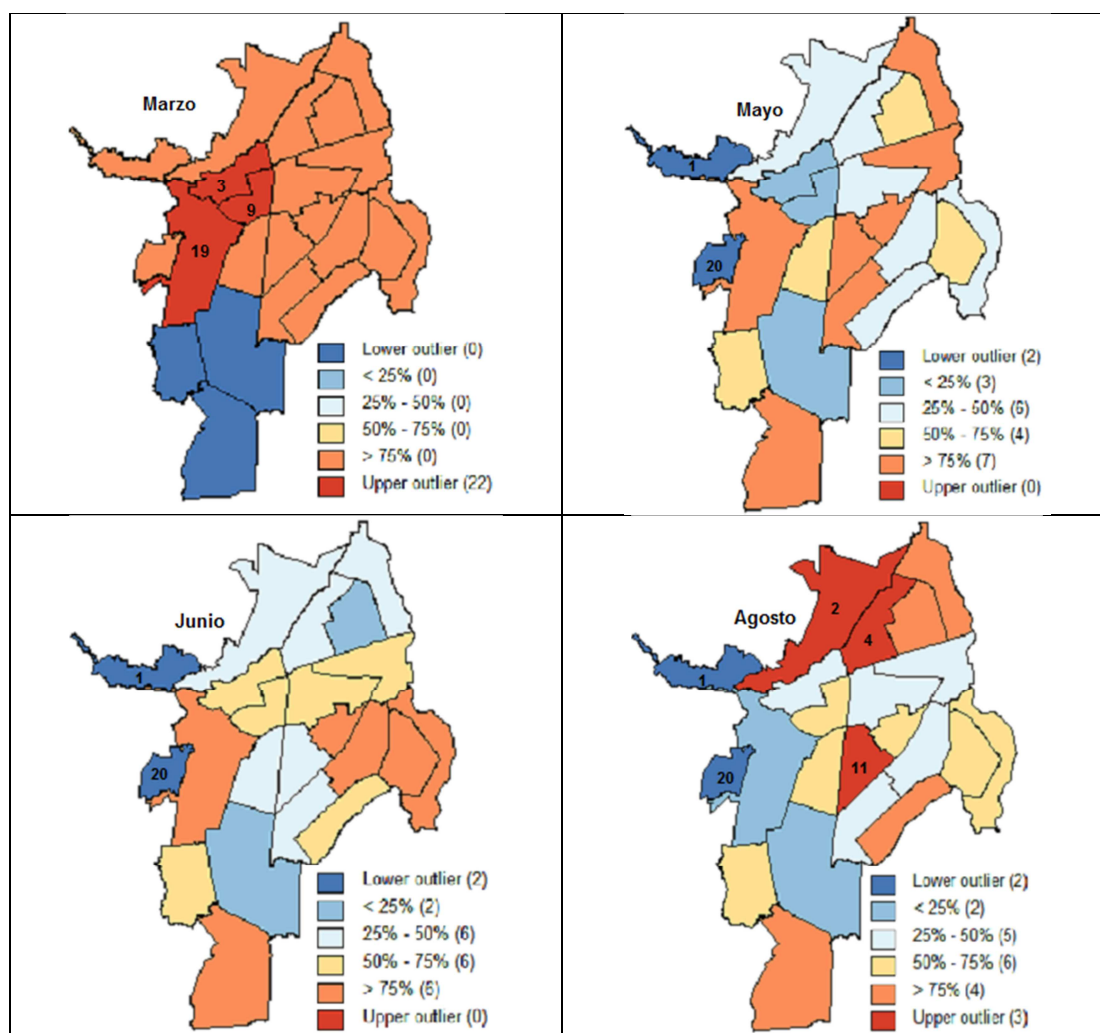
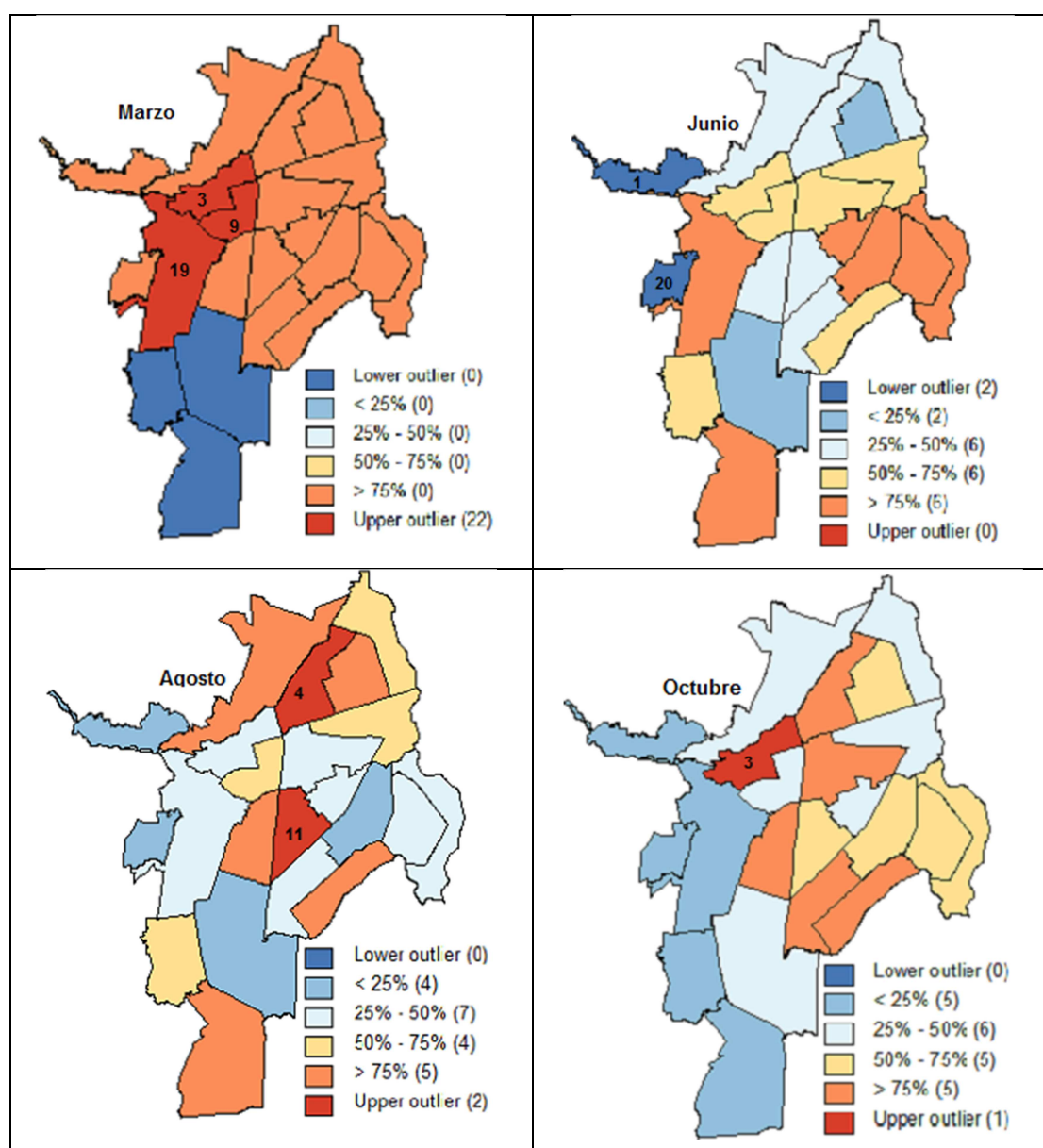
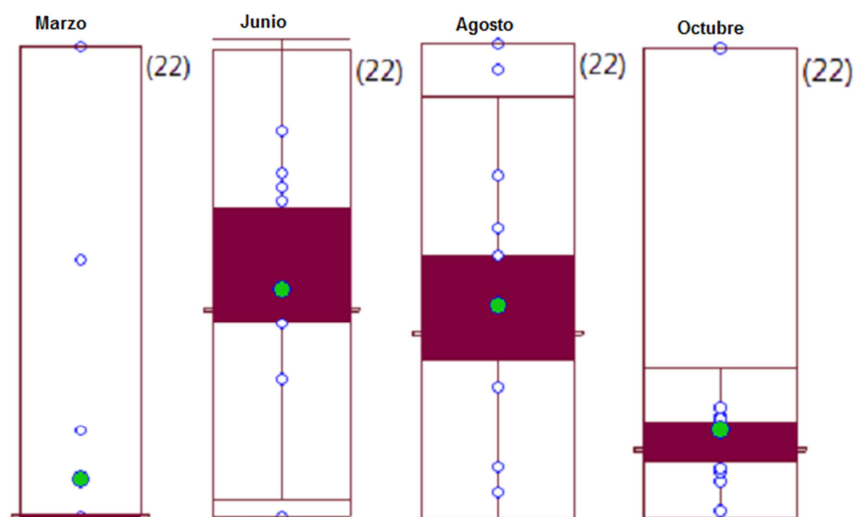


Figura 8 Zonas Atípicas Mensuales para la variable larvas culex en el año 2009 (Box Plot y Box Map)  
Fuente: Elaboración propia

Para la variable larvas *culex* (figura 8) se puede observar que también existe un comportamiento constante en la dispersión de los datos frente a la media en los meses de mayo, junio y agosto, a excepción del mes de marzo que presenta una fuerte concentración de los datos. En cuanto a la simetría de los datos, se puede observar una pequeña asimetría negativa (sesgada a la izquierda, media menor que la mediana) para el mes de mayo y asimetría positiva (sesgada a la derecha, media mayor que la mediana) para el mes de agosto, en junio se presenta una simetría perfecta (cuando la media coincide con la mediana).

Las comunas consideradas como zonas atípicas para la variable Culex son las siguientes: marzo: 3, 9, 19; mayo: 1, 20; junio: 1, 20; agosto: 1, 2, 4, 11, 20; septiembre: 1, 20; octubre: 20; noviembre: 20; diciembre: 1, 20. Se aprecia una fuerte integración de las comunas 1 y 20 como zonas atípicas, ubicadas en la zona oeste de la ciudad; sin embargo en el mes de agosto hay una mayor prevalencia en la zona norte (comunas 2 y 4) y parte de la zona este (comuna 11).





*Figura 9 Zonas Atípicas Mensuales para la variable pupas en el año 2009 (Box Map y Box Plot)*  
*Fuente: Elaboración propia*

Se presenta una distribución constante de los datos para los meses junio y agosto (figura 9), exceptuando los meses de marzo y octubre donde se presenta una fuerte concentración de los datos. Esta particularidad en marzo y en octubre se debe a que posiblemente existan valores atípicos en la distribución, es decir, datos no confiables que puedan representar un error de tabulación manual, medición o registro. Por lo tanto, estos datos atípicos hacen que la distribución se torne más homogénea (valores de la desviación estándar cercanos al promedio) o más heterogénea (valores altos de la desviación estándar, donde el promedio deja de ser representativo en la distribución).

Las comunas consideradas como zonas atípicas para la variable Pupas son las siguientes: marzo: 3, 9, 19; junio: 1 y 20; agosto: 4 y 11; octubre: 3; noviembre: 20. Se observa que se presenta una fuerte autocorrelación espacial en las comunas 3, 9 y 20, pertenecientes a la zona centro y oeste de la ciudad.

| VARIABLES    | MESES      | VALOR MIN | VALOR MAX | MEDIA | DESV. ESTANDAR | CANTIDAD DE DATOS |
|--------------|------------|-----------|-----------|-------|----------------|-------------------|
| <b>AEDES</b> | Marzo      | 0,00      | 7,61      | 0,70  | 1,885          | 20                |
|              | Abril      | 4,31      | 21,36     | 11,72 | 4,897          | 20                |
|              | Mayo       | 3,43      | 13,12     | 7,96  | 3,034          | 20                |
|              | Junio      | 4,33      | 13,68     | 8,51  | 2,229          | 20                |
|              | Julio      | 0,93      | 7,54      | 3,83  | 1,961          | 20                |
|              | Agosto     | 1,16      | 5,97      | 2,65  | 1,213          | 20                |
|              | Septiembre | 0,75      | 4,33      | 2,35  | 0,995          | 20                |
|              | Octubre    | 2,21      | 14,14     | 6,75  | 2,935          | 21                |
|              | Noviembre  | 4,55      | 14,71     | 7,77  | 2,607          | 21                |
|              | Diciembre  | 1,57      | 6,28      | 3,41  | 1,238          | 20                |
| <b>CULEX</b> | Marzo      | 0,00      | 12,78     | 1,36  | 3,394          | 20                |
|              | Abril      | 15,57     | 42,77     | 28,17 | 9,375          | 20                |
|              | Mayo       | 14,65     | 27,28     | 20,84 | 3,866          | 20                |
|              | Junio      | 15,06     | 36,08     | 23,48 | 5,924          | 20                |
|              | Julio      | 4,49      | 19,16     | 11,68 | 4,005          | 20                |
|              | Agosto     | 4,83      | 25,89     | 13,65 | 5,186          | 20                |
|              | Septiembre | 12,02     | 37,47     | 20,09 | 6,810          | 20                |
|              | Octubre    | 19,05     | 42,69     | 31,68 | 5,973          | 21                |
|              | Noviembre  | 17,40     | 50,00     | 33,13 | 8,659          | 21                |
|              | Diciembre  | 14,23     | 32,93     | 21,54 | 5,813          | 20                |
| <b>PUPAS</b> | Marzo      | 0,00      | 11,79     | 1,07  | 2,941          | 20                |
|              | Abril      | 11,49     | 43,60     | 23,61 | 10,141         | 20                |
|              | Mayo       | 9,42      | 23,29     | 15,64 | 4,444          | 20                |
|              | Junio      | 10,63     | 28,39     | 18,65 | 4,760          | 20                |
|              | Julio      | 2,72      | 16,85     | 8,20  | 3,874          | 20                |
|              | Agosto     | 1,75      | 17,81     | 8,27  | 3,949          | 20                |
|              | Septiembre | 5,67      | 24,97     | 13,54 | 5,352          | 20                |
|              | Octubre    | 10,00     | 150,24    | 28,50 | 28,683         | 21                |
|              | Noviembre  | 11,19     | 34,69     | 24,57 | 6,906          | 21                |
|              | Diciembre  | 5,62      | 22,75     | 13,88 | 4,753          | 20                |

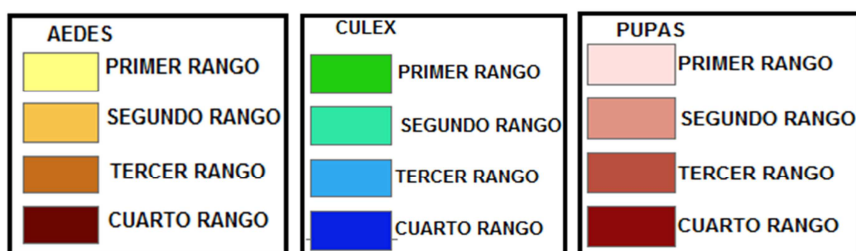
Tabla 3 Resumen Datos Estadísticos Básicos para cada variable de estudio. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 se puede observar los datos estadísticos para cada variable de estudio. Vemos que para Pupas en octubre se presentó un valor de desviación muy alto, esto es debido a que posiblemente en este mes se presentó un valor atípico en la distribución, generando en el box plot una fuerte concentración de los datos y una distribución heterogénea respecto a los demás meses. Para las demás variables, los valores de desviación estándar son relativamente cercanos a la media en algunos meses, denotando así una distribución de los datos más homogénea.

### 7.1.1.2 Mapa de Cuantiles

En los mapas de cuantiles, se podrán observar las comunas consideradas de alto riesgo de distribución de incidencia de los vectores Aedes y Culex, es decir, de acuerdo a la clasificación generada por esta técnica espacial dichas comunas serán aquellas que presenten valores superiores al tercer cuartil.

Para una mejor comprensión de los mapas de cuantiles mensuales para cada variable de estudio (aedes, culex y pupas), se adopta la siguiente clasificación temática:



*Figura 10 Clasificación Temática Cuantiles Mensuales (Año 2009). Fuente: Elaboración propia*

A manera de ejemplo, se visualizarán tres ejemplos de mapas de cuantiles a nivel de comunas para las variables de estudio correspondiente al mes de diciembre de 2009 (los demás mapas se adjuntaran como anexos):

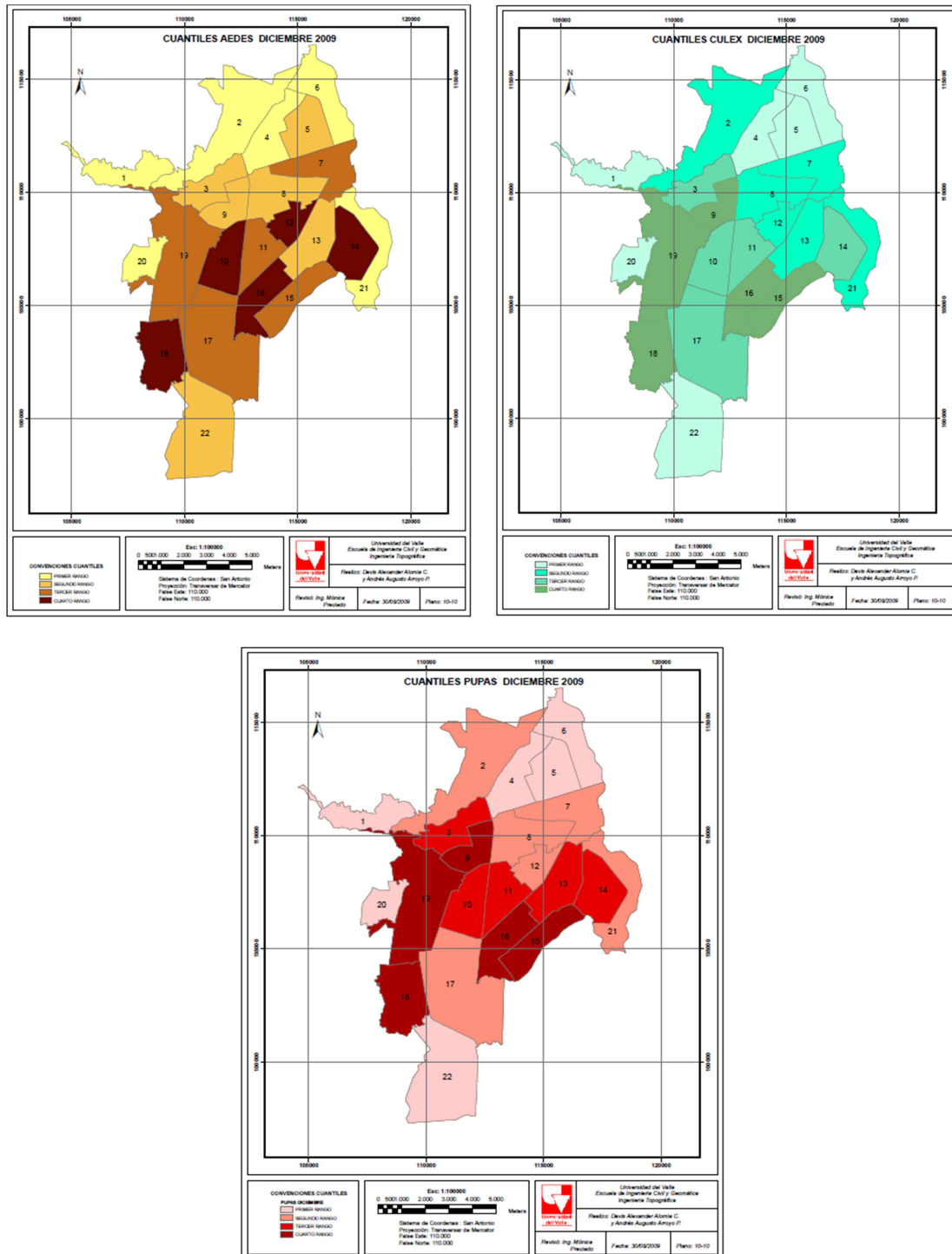


Figura 11 Ejemplo de Cuantiles Mensuales Aedes, Culex y Pupas para el mes de Diciembre del 2009.  
Fuente: Elaboración propia



Para cada variable se ha considerado dividida la distribución en cuatro partes iguales. De esta manera se tiene que:

- **Variable Aedes:** amarillo claro las comunas con valores inferiores al primer cuartil, un amarillo más oscuro las comunas comprendidas entre el primer cuartil y la mediana, un café claro las comunas con valores comprendidos entre la mediana y el tercer cuartil, y de un café oscuro aquellas zonas con valores superiores al tercer cuartil (figura 11).
- **Variable Culex:** color verde corresponde a las comunas con valores inferiores al primer cuartil, un azul aguamarina las comunas comprendidas entre el primer cuartil y la mediana, un azul claro las comunas con valores comprendidos entre la mediana y el tercer cuartil, y de un azul oscuro aquellas zonas con valores superiores al tercer cuartil (figura 11).
- **Variable Pupas:** color rosado claro las comunas con valores inferiores al primer cuartil, un rosado más oscuro las comunas comprendidas entre el primer cuartil y la mediana, un rojo claro las comunas con valores comprendidos entre la mediana y el tercer cuartil, y de un rojo oscuro aquellas zonas con valores superiores al tercer cuartil (figura 11).

Por lo tanto, el resultado que arroja el análisis de mapas de cuantiles consiste en que las zonas (comunas) que poseen un alto riesgo de incidencia de los vectores Aedes y Culex son aquellas que presentan valores superiores al tercer cuartil, es decir, se consideran las zonas más propensas ante cualquier signo de propagación del dengue por el mosquito Aedes u otra enfermedad producida por el mosquito Culex. A continuación, se esquematizan en unas matrices el comportamiento mensual por cuantiles, donde se podrá observar las zonas de alto riesgo de incidencia de los dos vectores en estudio:

| Comunas | Cuartiles Marzo |   |   |   | Cuartiles Abril |   |   |   | Cuartiles Mayo |   |   |   | Cuartiles Junio |   |   |   | Cuartiles Julio |   |   |   | Cuartiles Agosto |   |   |   | Cuartiles Septiembre |   |   |   | Cuartiles Octubre |   |   |   | Cuartiles Noviembre |   |   |   | Cuartiles Diciembre |  |  |  |
|---------|-----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|-------------------|---|---|---|---------------------|---|---|---|---------------------|--|--|--|
|         | 1               | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1              | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1                | 2 | 3 | 4 | 1                    | 2 | 3 | 4 | 1                 | 2 | 3 | 4 | 1                   | 2 | 3 | 4 |                     |  |  |  |
| 1       | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   |                   |   |   | X | X                   |   |   |   |                     |  |  |  |
| 2       |                 | X |   |   | X               |   |   |   |                | X |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   | X |                  |   |   | X |                      |   |   |   |                   |   | X |   | X                   |   |   |   |                     |  |  |  |
| 3       |                 |   | X |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   |                   | X |   |   |                     | X |   |   |                     |  |  |  |
| 4       | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                | X |   |   |                 | X |   |   |                 | X |   |   |                  | X |   |   |                      | X |   |   |                   |   |   | X | X                   |   |   |   |                     |  |  |  |
| 5       | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                |   | X |   |                 | X |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   |                   | X |   |   |                     | X |   |   |                     |  |  |  |
| 6       | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   |   | X |                 | X |   |   |                 |   |   | X |                  |   |   | X |                      |   |   |   | X                 |   |   |   | X                   |   |   |   |                     |  |  |  |
| 7       | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   |   | X |                 |   |   | X |                 |   | X |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   | X                 |   |   |   |                     |   | X |   |                     |  |  |  |
| 8       | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   | X |   |                 |   |   | X |                 | X |   |   |                  |   |   | X |                      |   |   |   | X                 | X |   |   |                     |   | X |   |                     |  |  |  |
| 9       |                 |   |   | X | X               |   |   |   | X              |   |   |   |                 |   |   | X | X               |   |   | X |                  |   |   | X |                      |   |   | X |                   |   | X |   |                     |   | X |   |                     |  |  |  |
| 10      | X               |   |   |   |                 |   |   | X |                |   | X |   |                 |   | X |   |                 |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   | X                 |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 11      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   |   | X |                 |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   | X                 |   |   | X |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 12      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   | X |   |                 |   |   | X |                 |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   | X                 |   |   |   |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 13      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   | X |   |                 |   |   | X |                 |   | X |   |                  |   |   | X |                      |   |   | X |                   |   |   | X |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 14      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   | X |   |                 |   |   | X |                 |   |   | X |                  |   |   | X |                      |   |   | X |                   |   |   | X |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 15      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   |                      |   | X |   |                   |   |   | X |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 16      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   | X |   |                 | X |   |   |                 |   |   | X |                  |   |   | X |                      |   |   | X |                   |   |   | X |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 17      |                 | X |   |   |                 | X |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   | X |   |                   | X |   |   |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 18      | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                | X |   |   |                 | X |   |   | X               |   |   |   |                  |   |   | X |                      |   | X |   |                   |   | X |   |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 19      |                 |   | X |   |                 | X |   |   |                | X |   |   |                 |   | X |   |                 |   | X |   |                  |   | X |   |                      |   |   |   |                   | X |   |   |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 20      | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   |                   |   |   | X |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 21      | X               |   |   |   |                 | X |   |   | X              |   |   |   |                 |   | X |   |                 |   | X |   |                  |   |   | X |                      |   |   | X |                   |   |   | X |                     |   |   |   | X                   |  |  |  |
| 22      | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                  |   |   | X | X                    |   |   |   |                   |   |   | X |                     |   |   |   |                     |  |  |  |

X : zona constante para las 4 variables  
 X : zonas de alto riesgo (entre 4-6 registros): 10-12-14-16  
 X : zonas que presentan una potencial amenaza: 11

Tabla 4. Comportamiento Mensual de la Variable Aedes por Comunas de acuerdo al cálculo de Cuantiles. Año 2009. Fuente: Elaboración propia

| Comunas | Cuartiles Marzo |   |   |   | Cuartiles Abril |   |   |   | Cuartiles Mayo |   |   |   | Cuartiles Junio |   |   |   | Cuartiles Julio |   |   |   | Cuartiles Agosto |   |   |   | Cuartiles Septiembre |   |   |   | Cuartiles Octubre |   |   |   | Cuartiles Noviembre |   |   |   | Cuartiles Diciembre |  |  |  |
|---------|-----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|-------------------|---|---|---|---------------------|---|---|---|---------------------|--|--|--|
|         | 1               | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1              | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1                | 2 | 3 | 4 | 1                    | 2 | 3 | 4 | 1                 | 2 | 3 | 4 | 1                   | 2 | 3 | 4 |                     |  |  |  |
| 1       | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   |                      | X |   |   |                   |   |   |   | X                   | X |   |   |                     |  |  |  |
| 2       |                 | X |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   |                 | X |   |   |                 |   | X |   | X                |   |   |   |                      | X |   |   |                   |   |   | X |                     |   | X |   |                     |  |  |  |
| 3       |                 |   | X |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   |                 | X |   |   |                 | X |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   |                   | X |   |   |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 4       | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                | X |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                  |   | X |   |                      |   |   | X |                   |   |   |   | X                   | X |   |   |                     |  |  |  |
| 5       | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                |   | X |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   | X |   |                      | X |   |   |                   |   |   | X |                     | X |   |   |                     |  |  |  |
| 6       | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                |   |   | X | X               |   |   |   |                 |   |   | X |                  |   | X |   |                      | X |   |   |                   |   |   | X | X                   |   |   |   |                     |  |  |  |
| 7       | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                |   | X |   |                 |   | X |   |                 |   | X |   |                  | X |   |   |                      | X |   |   |                   |   |   | X |                     |   | X |   |                     |  |  |  |
| 8       | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                | X |   |   |                 |   | X |   |                 | X | X |   |                  |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   | X |                     |   | X |   |                     |  |  |  |
| 9       |                 |   |   | X |                 | X |   |   | X              |   |   |   |                 |   | X |   |                 | X |   |   |                  | X |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   | X |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 10      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   | X |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                  | X |   |   |                      | X |   |   |                   | X |   | X |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 11      | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                |   |   | X | X               |   |   |   |                 |   |   | X |                  |   |   | X |                      |   | X |   |                   |   |   |   | X                   |   |   | X |                     |  |  |  |
| 12      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                |   |   | X |                 |   |   |   | X               |   |   |   |                  |   |   | X |                      | X |   |   |                   |   |   | X |                     |   | X |   |                     |  |  |  |
| 13      | X               |   |   |   |                 |   |   | X |                | X |   |   |                 |   | X |   |                 | X |   |   |                  |   | X |   |                      |   | X |   |                   |   |   |   | X                   |   | X |   |                     |  |  |  |
| 14      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                | X |   |   |                 |   | X |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   | X                 | X |   |   |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 15      | X               |   |   |   |                 |   | X |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   |                      | X |   |   | X                 |   | X |   |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 16      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                | X |   |   | X               |   |   | X |                 | X |   |   |                  | X |   |   |                      | X |   |   | X                 |   | X |   |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 17      |                 | X |   |   |                 |   | X |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   | X |   |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 18      | X               |   |   |   |                 |   | X |   |                | X |   |   |                 |   | X |   | X               |   |   |   |                  |   | X |   |                      | X |   |   |                   | X |   |   |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 19      |                 |   | X |   |                 |   | X |   |                |   |   | X |                 |   |   |   | X               |   |   |   |                  |   | X |   |                      | X |   |   |                   |   | X |   |                     |   |   | X |                     |  |  |  |
| 20      | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   | X                 |   |   |   | X                   |   |   |   |                     |  |  |  |
| 21      | X               |   |   |   |                 |   | X |   | X              |   |   |   |                 |   | X |   |                 |   | X |   |                  | X |   |   |                      | X |   |   | X                 |   |   |   | X                   |   |   |   |                     |  |  |  |
| 22      | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                | X |   |   |                 |   | X | X |                 |   |   |   |                  | X |   |   | X                    |   |   | X |                   |   | X |   |                     | X |   |   |                     |  |  |  |

X : zona constante para las 4 variables  
 X : zonas de alto riesgo (entre 4-6 registros): 4-11-14-15-16  
 X : zonas que presentan una potencial amenaza: 6-12-13-19

Tabla 5. Comportamiento Mensual de la Variable Culex por Comunas de acuerdo al cálculo de Cuantiles. Año 2009. Fuente: Elaboración propia

| Comunas | Cuantiles Marzo |   |   |   | Cuantiles Abril |   |   |   | Cuantiles Mayo |   |   |   | Cuantiles Junio |   |   |   | Cuantiles Julio |   |   |   | Cuantiles Agosto |   |   |   | Cuantiles Septiembre |   |   |   | Cuantiles Octubre |   |   |   | Cuantiles Noviembre |   |   |   | Cuantiles Diciembre |   |   |   |
|---------|-----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|-------------------|---|---|---|---------------------|---|---|---|---------------------|---|---|---|
|         | 1               | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1              | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1               | 2 | 3 | 4 | 1                | 2 | 3 | 4 | 1                    | 2 | 3 | 4 | 1                 | 2 | 3 | 4 | 1                   | 2 | 3 | 4 | 1                   | 2 | 3 | 4 |
| 1       | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   | X                 |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |   |   |   |
| 2       |                 | X |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   |                 | X |   |   | X                | X |   |   |                      | X |   |   |                   | X |   |   |                     | X |   |   |                     | X |   |   |
| 3       |                 |   | X |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   |                 | X |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   |   | X                 |   | X |   |                     | X |   |   |                     | X |   |   |
| 4       | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   | X |                      |   | X |   |                   | X |   |   |                     | X |   | X |                     |   |   |   |
| 5       | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   | X |                      |   | X |   |                   | X |   |   |                     | X |   | X |                     |   |   |   |
| 6       | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                |   |   | X |                 |   |   |   |                 |   |   | X |                  |   | X |   |                      | X |   |   | X                 |   |   |   |                     |   | X | X |                     |   |   |   |
| 7       | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   | X |                      |   | X |   |                   | X |   |   |                     |   | X |   | X                   |   |   |   |
| 8       | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   |                 | X |   |   | X               | X |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   |   | X                   |   |   | X |                     |   |   |   |
| 9       |                 |   |   | X | X               |   |   | X |                |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   | X |                      |   | X |   |                   | X |   |   |                     | X |   |   |                     |   |   | X |
| 10      | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                | X |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                  |   | X |   |                      | X |   |   | X                 |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |   |   |   |
| 11      | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                | X |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |   |   |   |
| 12      | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                | X |   |   |                 | X |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |   |   |   |
| 13      | X               |   |   |   |                 | X |   |   | X              |   |   |   |                 | X |   |   | X               |   |   | X |                  |   |   | X |                      |   | X |   |                   |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |   |   |   |
| 14      | X               |   |   |   |                 | X |   |   | X              |   |   |   |                 | X |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |   |   |   |
| 15      | X               |   |   |   |                 | X |   | X |                |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   | X |                     | X |   |   |                     |   | X |   |
| 16      | X               |   |   |   |                 | X |   |   |                | X |   |   | X               | X |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   | X |                     | X |   |   |                     |   |   | X |
| 17      |                 | X |   |   |                 | X |   | X |                |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   | X |                      |   | X |   |                   | X |   |   | X                   |   |   |   |                     | X |   |   |
| 18      | X               |   |   |   |                 | X |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                  | X |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   |   | X                   |   |   |   |                     |   | X |   |
| 19      |                 |   | X |   |                 | X |   |   | X              |   |   |   |                 | X |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   |   | X                   |   |   |   |                     |   |   | X |
| 20      | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   | X                |   |   | X |                      |   | X |   |                   | X |   |   |                     | X |   |   |                     | X |   |   |
| 21      | X               |   |   |   |                 | X |   |   | X              |   |   |   |                 | X |   |   | X               | X |   |   |                  |   |   | X |                      |   |   | X |                   |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |   |   |   |
| 22      | X               |   |   |   |                 | X |   |   | X              |   |   |   | X               |   |   |   | X               |   |   |   |                  | X |   |   | X                    |   |   | X |                   |   |   |   | X                   |   |   |   | X                   |   |   |   |

X : zona constante para las 4 variables  
 X : zonas de alto riesgo (entre 4-6 registros): 8-10-11-15-16  
 X : zonas que presentan una potencial amenaza: 6-9-12-13-14

Tabla 6. Comportamiento Mensual de la Variable Pupas por Comunas de acuerdo al cálculo de Cuantiles. Año 2009. Fuente: Elaboración Propia

Las matrices contenidas en las tablas 4, 5 y 6 se realizaron con el fin de llevar a cabo un registro mensual de la distribución (presencia/ausencia) de los vectores Aedes y Culex en los sumideros de aguas lluvias. Observando los resultados generados de las tres variables de estudio, se encuentra una alta prevalencia en las comunas **8, 10, 11, 14, 15, 16**, consideradas zonas de alto riesgo de incidencia según el análisis exploratorio. Es en estas zonas donde se debe poner la mayor atención y llevar a cabo un control de mayor rigor ante cualquier posible amenaza de brote de dengue. De igual forma, se observa que las comunas **3, 6, 7, 9, 12, 13** representan una potencial amenaza de incidencia de estos dos vectores para la ciudad en un menor rango respecto a las anteriores comunas. No obstante, es en estas zonas donde se deben concentrar los mayores esfuerzos para la prevención de epidemias y plantear medidas sanitarias eficientes que brinden protección a la ciudadanía caleña. Por otro lado, se evidencia un comportamiento satisfactorio de incidencia de los vectores en las comunas **2, 5, 17, 19, 22** (comunas ubicadas al norte y sur de la ciudad), puesto que los datos se encuentran entre el primer cuartil (Q1) y segundo cuartil (Q2) en la mayoría de las variables analizadas, de esta manera se debe llevar este registro para que la incidencia de los vectores se esfume paulatinamente y no llegue a un rango más alto que afecte a la comunidad en general, es decir, que no se conviertan en zonas altamente potenciales para la incidencia del dengue.

De esta forma, se ha esquematizado el comportamiento (distribución de incidencia) espacio-temporal de los vectores Aedes Aegypti y Culex Quinquefasciatus, donde se pudo observar que no existe un comportamiento aleatorio en su distribución sino que por el contrario se presenta una consecuencia temporal (por meses) y una repetitiva prevalencia en ciertas zonas de la ciudad (comunas pertenecientes a la zona centro, norte y oriente), comprobándolo a partir de mapas y gráficos desde un punto de vista geomático y llegando a la conclusión que espacialmente se pueden afrontar cantidad de eventos o fenómenos de todo tipo, proponiendo un concepto acertado de dicha situación con la ayuda de las novedosas técnicas espaciales existentes.

## 7.2 Autocorrelación Espacial

De una manera sencilla, la *autocorrelación espacial* es la concentración o dispersión de los valores de una variable en un mapa. Uno de los métodos tradicionales para analizar la autocorrelación espacial es el *Índice de Moran*, el cual es una medida de asociación lineal para medir grados de semejanza entre las observaciones. Para el cálculo de este índice, es necesario realizar *matrices de contigüidad*, teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales: la superficie y la vecindad.

### 7.2.1 Matrices de Contigüidad

| Wij | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1   | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| 2   | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| 3   | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| 4   | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 5   | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 6   | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7   | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
| 8   | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 9   | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| 10  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| 11  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 12  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 13  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
| 14  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
| 15  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 16  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 17  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  |
| 18  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  |
| 19  | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  |
| 20  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| 21  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 22  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |

Tabla 7. Matriz Simétrica de Contigüidad de Reina (W1). Fuente: Elaboración propia

| Wij | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1   | 0    | 0    | 3801 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3994 | 0    | 0    |
| 2   | 0    | 0    | 2923 | 1875 | 3354 | 0    | 0    | 3814 | 3711 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 3   | 3801 | 2923 | 0    | 3428 | 0    | 0    | 0    | 3010 | 1179 | 3400 | 3551 | 3838 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3448 | 0    | 0    | 0    |
| 4   | 0    | 1875 | 3428 | 0    | 1585 | 2936 | 2738 | 2587 | 3637 | 0    | 0    | 3960 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 5   | 0    | 3354 | 0    | 1585 | 0    | 1699 | 1904 | 3079 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 6   | 0    | 0    | 0    | 2936 | 1699 | 0    | 3270 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 7   | 0    | 0    | 0    | 2738 | 1904 | 3270 | 0    | 2225 | 0    | 0    | 0    | 2814 | 3209 | 3653 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 8   | 0    | 3814 | 3010 | 2587 | 3079 | 0    | 2225 | 0    | 2309 | 3848 | 2747 | 1392 | 2530 | 3946 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 9   | 0    | 3711 | 1179 | 3637 | 0    | 0    | 0    | 2309 | 0    | 2446 | 2378 | 2812 | 3982 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3162 | 0    | 0    | 0    |
| 10  | 0    | 0    | 3400 | 0    | 0    | 0    | 0    | 3848 | 2446 | 0    | 1503 | 3339 | 3958 | 0    | 3401 | 2265 | 3719 | 0    | 2147 | 3620 | 0    | 0    |
| 11  | 0    | 0    | 3551 | 0    | 0    | 0    | 0    | 2747 | 2378 | 1503 | 0    | 1913 | 2459 | 0    | 2570 | 2102 | 0    | 0    | 3574 | 0    | 0    | 0    |
| 12  | 0    | 0    | 3838 | 3960 | 0    | 0    | 2814 | 1392 | 2812 | 3339 | 1913 | 0    | 1238 | 2893 | 3312 | 3621 | 0    | 0    | 0    | 0    | 3631 | 0    |
| 13  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3209 | 2530 | 3982 | 3958 | 2459 | 1238 | 0    | 1751 | 2682 | 3477 | 0    | 0    | 0    | 0    | 2496 | 0    |
| 14  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3653 | 3946 | 0    | 0    | 0    | 2893 | 1751 | 0    | 3444 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 745  | 0    |
| 15  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3401 | 2570 | 3312 | 2682 | 3444 | 0    | 1461 | 3864 | 0    | 0    | 0    | 3939 | 0    |
| 16  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2265 | 2102 | 3621 | 3477 | 0    | 1461 | 0    | 2714 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 17  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3719 | 0    | 0    | 0    | 0    | 3864 | 2714 | 0    | 2563 | 0    | 0    | 0    | 3944 |
| 18  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2563 | 0    | 0    | 0    | 0    | 3880 |
| 19  | 0    | 0    | 3448 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3162 | 2147 | 3574 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1508 | 0    | 0    |
| 20  | 3994 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3620 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1508 | 0    | 0    | 0    |
| 21  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3631 | 2496 | 745  | 3939 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 22  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3944 | 3880 | 0    | 0    | 0    | 0    |

Tabla 8. Matriz Simétrica de Distancias entre Centroides (W2). Fuente: Elaboración propia

| Wij | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1   | 0    | 5081 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 4305 | 0    | 0    | 0    |
| 2   | 5081 | 0    | 2923 | 1875 | 0    | 4275 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 6347 | 0    | 0    | 0    |
| 3   | 0    | 2923 | 0    | 3428 | 0    | 0    | 0    | 3010 | 1179 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3448 | 0    | 0    | 0    |
| 4   | 0    | 1875 | 3428 | 0    | 1585 | 2936 | 2738 | 2587 | 3637 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 5   | 0    | 0    | 0    | 1585 | 0    | 1699 | 1904 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 6   | 0    | 4275 | 0    | 2936 | 1699 | 0    | 3270 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 7   | 0    | 0    | 0    | 2738 | 1904 | 3270 | 0    | 2225 | 0    | 0    | 0    | 2814 | 3209 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 4090 | 0    |
| 8   | 0    | 0    | 3010 | 2587 | 0    | 0    | 2225 | 0    | 2309 | 3848 | 2747 | 1392 | 2530 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 9   | 0    | 0    | 1179 | 3637 | 0    | 0    | 0    | 2309 | 0    | 2446 | 2378 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3162 | 0    | 0    | 0    |
| 10  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3848 | 2446 | 0    | 1503 | 0    | 0    | 0    | 0    | 2265 | 3719 | 0    | 2147 | 0    | 0    | 0    |
| 11  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2747 | 2378 | 1503 | 0    | 1913 | 2459 | 0    | 0    | 2102 | 4475 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 12  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2814 | 1392 | 0    | 0    | 1913 | 0    | 1238 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 13  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3209 | 0    | 0    | 0    | 2459 | 1238 | 0    | 1751 | 2682 | 3477 | 0    | 0    | 0    | 0    | 2496 | 0    |
| 14  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1751 | 0    | 3444 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 745  | 0    |
| 15  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2682 | 3444 | 0    | 1461 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 16  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2265 | 2102 | 0    | 3477 | 0    | 1461 | 0    | 2714 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 17  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3719 | 4475 | 0    | 0    | 0    | 0    | 2714 | 0    | 2563 | 4397 | 0    | 0    | 3944 |
| 18  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2563 | 0    | 4439 | 0    | 0    | 3880 |
| 19  | 4305 | 6347 | 3448 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3162 | 2147 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 4397 | 4439 | 0    | 1508 | 0    | 0    |
| 20  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1508 | 0    | 0    | 0    |
| 21  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 4090 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2496 | 745  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 22  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3944 | 3880 | 0    | 0    | 0    | 0    |

Tabla 9. Matriz Simétrica de Distancias y Contigüidad de Reina (W3). Fuente: Elaboración propia



Una vez calculadas las matrices de contigüidad, se procede a calcular los índices de moran global y local respectivamente. Estas matrices de contigüidad serán determinantes en la evaluación de la aglomeración y/o dispersión de las unidades de observación.

### 7.2.2 Medidas de Autocorrelación Global: Índice de Moran

El Índice de Moran permitirá analizar globalmente el grado de asociación lineal entre las variables a estudiar de la unidad geográfica de observación  $i$  y  $j$ . Se calculará el índice de moran para cada variable de estudio y por mes, utilizando el software libre GEODA.

A continuación, se visualizan algunos ejemplos de índices de moran para las variables de estudio:

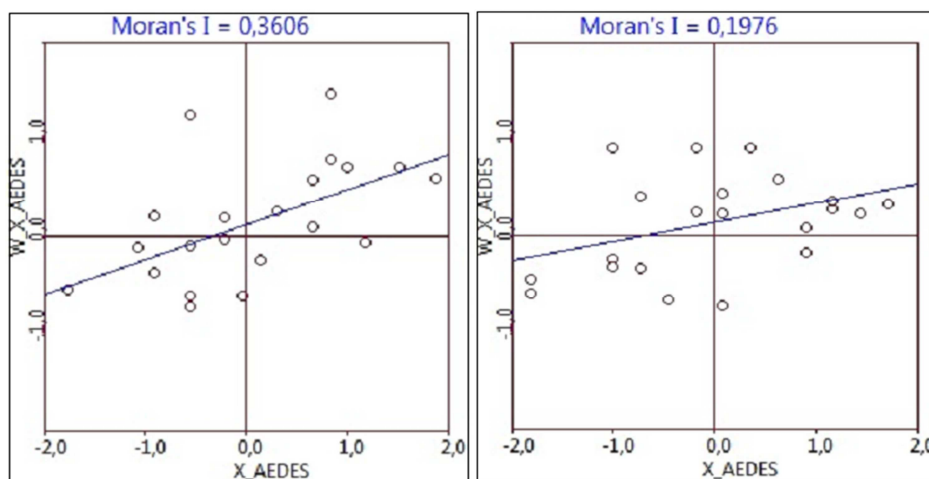


Figura 12 Índices Moran Global por la Matriz de Contigüidad (W1) para la variable Aedes en los meses de Abril y Mayo de 2009. Fuente: Elaboración propia

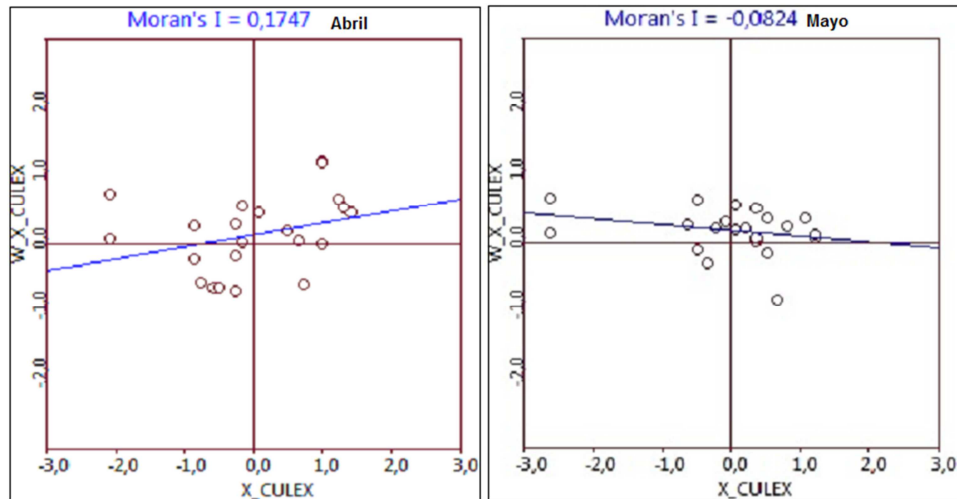


Figura 13 Indices Moran Global por la Matriz de Contiguidad (W1) para la variable Culex en los meses de Abril y Mayo de 2009. Fuente: Elaboración propia

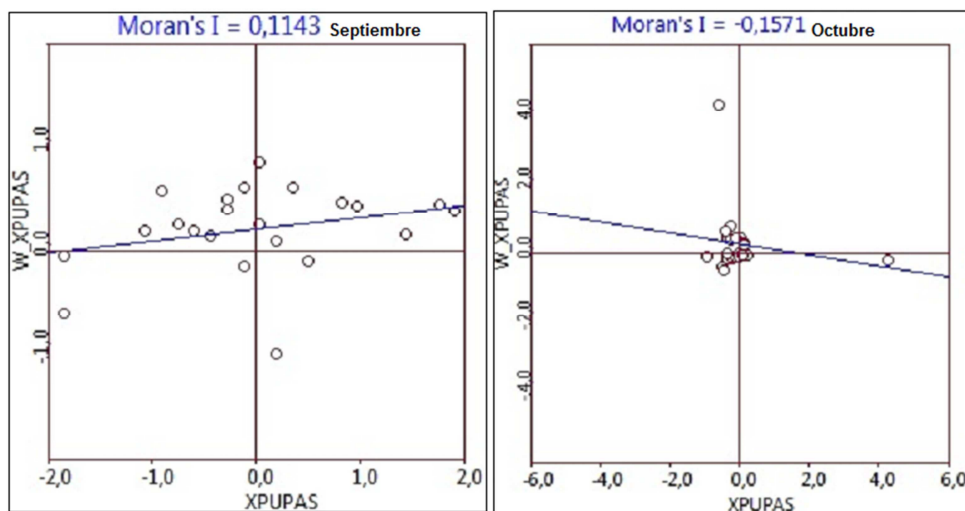


Figura 14 Indices Moran Global por la Matriz de Distancias (W2) para la variable Pupas en los meses de Septiembre y Octubre de 2009. Fuente: Elaboración propia

| Variable     | Mes        | I Moran<br>(matriz W1) | I Moran<br>(matriz W2) | I Moran (matriz<br>W3) |
|--------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Aedes</b> | Marzo      | 0,1332                 | 0,0527                 | 0,0874                 |
|              | Abril      | 0,3606                 | 0,2591                 | 0,3243                 |
|              | Mayo       | 0,1976                 | 0,1518                 | 0,1944                 |
|              | Junio      | 0,1870                 | 0,1672                 | 0,2609                 |
|              | Julio      | 0,3494                 | 0,4366                 | 0,4445                 |
|              | Agosto     | -0,0140                | -0,0336                | 0,0098                 |
|              | Septiembre | 0,0423                 | 0,0262                 | 0,0572                 |
|              | Octubre    | 0,3013                 | 0,1658                 | 0,2139                 |
|              | Noviembre  | -0,0256                | -0,0615                | -0,1200                |
|              | Diciembre  | 0,1637                 | 0,1390                 | 0,2165                 |
| <b>Culex</b> | Marzo      | 0,1688                 | 0,0946                 | 0,1421                 |
|              | Abril      | 0,1747                 | 0,2747                 | 0,2853                 |
|              | Mayo       | -0,0824                | 0,0477                 | 0,1817                 |
|              | Junio      | -0,2225                | -0,0177                | 0,0662                 |
|              | Julio      | 0,0185                 | 0,1683                 | 0,2535                 |
|              | Agosto     | -0,0312                | 0,0771                 | 0,1089                 |
|              | Septiembre | 0,1766                 | 0,0823                 | 0,2102                 |
|              | Octubre    | 0,2193                 | 0,0453                 | 0,1337                 |
|              | Noviembre  | 0,1833                 | 0,1757                 | -0,1200                |
|              | Diciembre  | 0,0085                 | -0,0290                | 0,1093                 |
| <b>Pupas</b> | Marzo      | 0,1424                 | 0,0282                 | 0,0802                 |
|              | Abril      | 0,4224                 | 0,3493                 | 0,3769                 |
|              | Mayo       | 0,0831                 | 0,0983                 | 0,2172                 |
|              | Junio      | -0,1405                | 0,0266                 | 0,1430                 |
|              | Julio      | 0,0863                 | 0,1898                 | 0,2023                 |
|              | Agosto     | -0,0793                | 0,0295                 | 0,0454                 |
|              | Septiembre | 0,2037                 | 0,1143                 | 0,2297                 |
|              | Octubre    | -0,0001                | -0,1571                | -0,0650                |
|              | Noviembre  | 0,2862                 | 0,2902                 | 0,2907                 |
|              | Diciembre  | -0,0040                | -0,0751                | 0,0895                 |

Tabla 10 Resumen de Indices de Moran Global para W1, W2 y W3. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se presenta a manera de resumen los valores de los Indices I de Moran Global para cada matriz de contigüidad (W1, W2, W3) en lo que respecta a cada una de las variables de estudio (aedes, culex, pupas). Estos valores representan la pendiente de la recta de ajuste de cada uno de los gráficos de moran, donde su magnitud puede variar conforme a la distribución de los datos.

Para el análisis del gráfico de dispersión de Moran, se debe tener en cuenta la siguiente agrupación compuesta por cuatro cuadrantes en un eje cartesiano:

- **L-H:** Valores bajos con vecinos de valores altos.
- **H-H:** Valores altos con vecinos de valores altos.
- **H-L:** Valores altos con vecinos de valores bajos.
- **L-L:** Valores bajos con vecinos de valores bajos.

De esta forma, se tiene que: dos cuadrantes para autocorrelación espacial positiva (valores altos de una variable rodeados de valores altos, y valores bajos de una variable rodeados de valores bajos) correspondientes a los cuadrantes I y III respectivamente, es decir, describen un comportamiento de similitud entre zonas vecinas; mientras que para la autocorrelación espacial negativa corresponde a los cuadrantes II y IV (valores bajos de una variable rodeados de valores altos, y valores altos de una variable rodeados de valores bajos).

Para el ejemplo propuesto de la variable Aedes (figura 12) se tiene una autocorrelación espacial positiva de acuerdo al signo de sus índices de moran global, es decir, se visualiza un comportamiento de similitud entre zonas vecinas. También lo podemos observar en la tabla 10 para los meses de marzo, junio, julio, septiembre y octubre (índices positivos).

Para el ejemplo propuesto de la variable Culex (figura 13) se presenta una autocorrelación espacial positiva y negativa de acuerdo al signo de sus índices de moran global (Abril+, Mayo-), aunque la dispersión de los datos se torna constante para estos dos meses. Se presentan aglomeraciones espaciales en torno a valores superiores o inferiores a la media de todas las observaciones.

Para el ejemplo propuesto de la variable Pupas (figura 14) se presenta una autocorrelación espacial positiva y negativa de acuerdo al signo de sus índices de moran global (Septiembre+, Octubre-). Se puede observar que para septiembre se presenta una mayor dispersión de los datos respecto a octubre, es decir, en octubre se tiene una fuerte concentración de los datos (agrupamiento).

### 7.2.3 Medidas de Autocorrelación Local: Índice de Moran Local y Mapas LISA

Basándonos en los resultados del anterior análisis (global), para el análisis de autocorrelación espacial local se empleará la matriz de contigüidad de reina W1, ya que se realizó con base al criterio de vecindad o frontera común entre zonas vecinas. Sin embargo, no se debe descartar una posible influencia de variables socioeconómicas que afecten considerablemente la interacción entre dichas zonas vecinas, bien sea para poner una barrera rigurosa o para brindar mejores condiciones de distribución de los vectores aedes y culex.

A continuación se representarán los índices locales a través de mapas de clúster espacial en el que se clasifican las zonas teniendo en cuenta la interrelación con sus zonas vecinas.

Una vez se haya hecho la clasificación por *clúster espacial*, cuyo objetivo es identificar las zonas que brinden un mayor aporte a la autocorrelación global, se agrupan aquellos valores que tengan características similares para observar no solamente el comportamiento de cada zona, sino que además la interrelación que pueda existir entre ellas.

Estos son algunos ejemplos de mapas de clúster espacial para las tres variables de estudio (larvas aedes, larvas culex, pupas aedes):

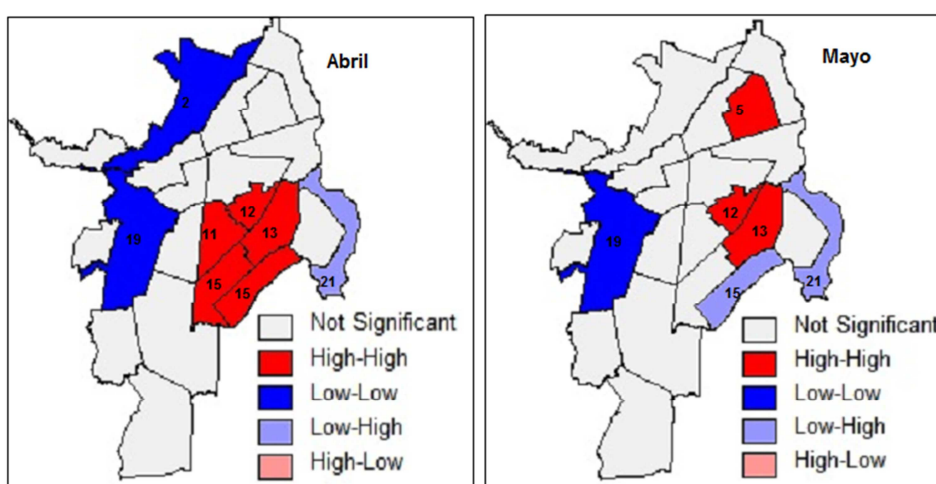


Figura 15 Mapas de Clúster Espacial para la variable Aedes en los meses de Abril y Mayo de 2009.  
Fuente: Elaboración propia

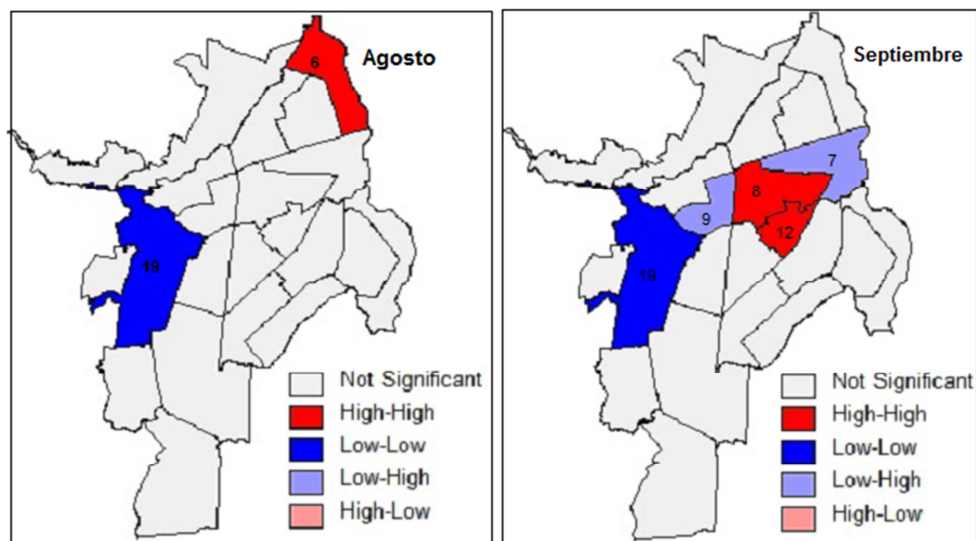


Figura 16 Mapas de Clúster Espacial para la variable *Culex* en los meses de Agosto y Septiembre de 2009. Fuente: Elaboración propia

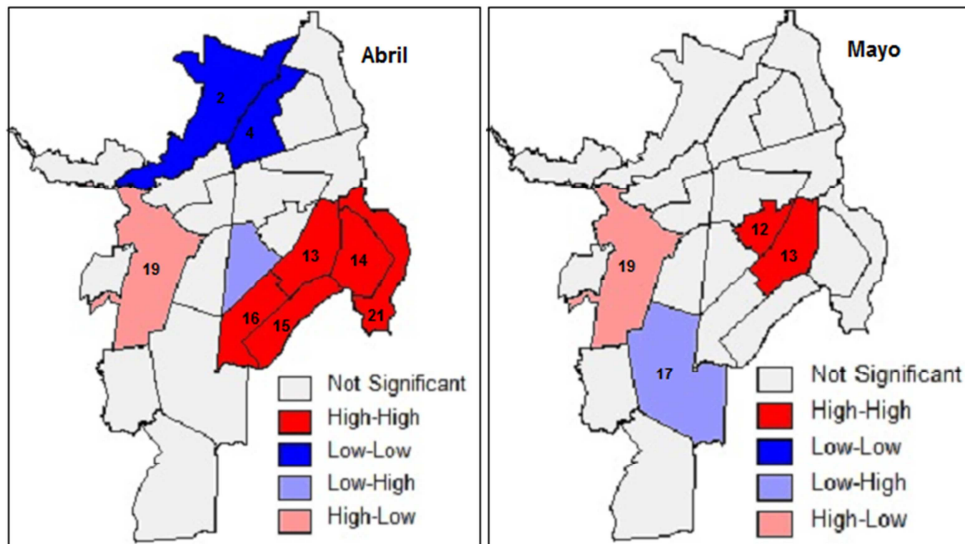


Figura 17 Mapas de Clúster Espacial para la variable *Pupas* en los meses de Abril y Mayo de 2009. Fuente: Elaboración propia

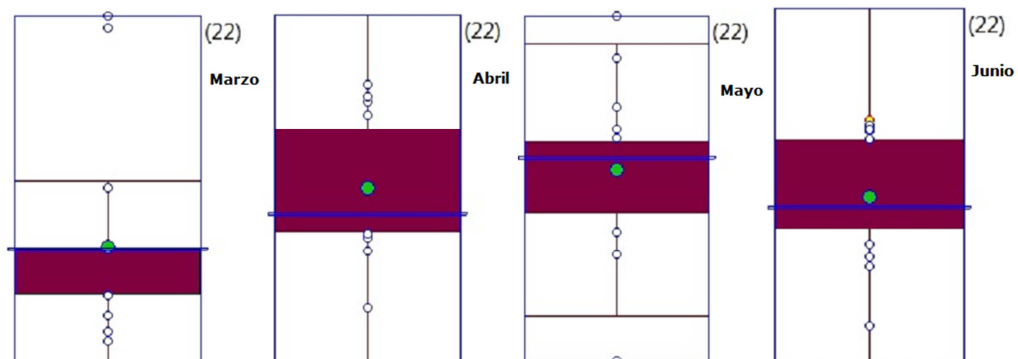


Figura 18 Box Plot Indices Locales para la variable Aedes en los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio de 2009. Fuente: Elaboración propia

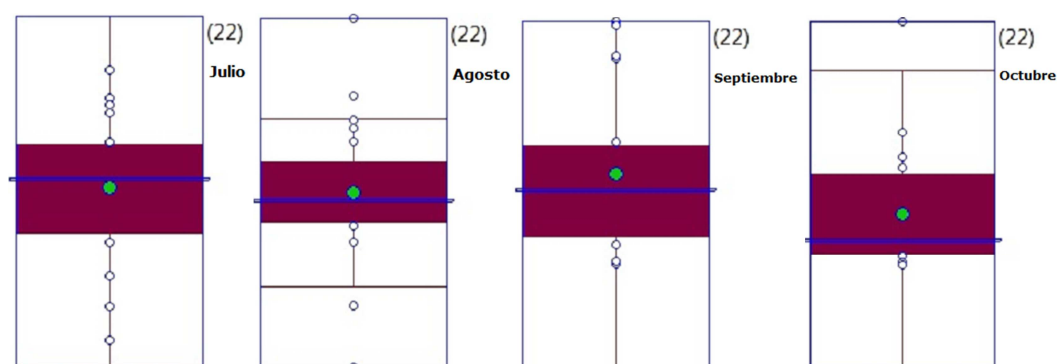


Figura 19 Box Plot Indices Locales para la variable Culex en los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2009. Fuente: Elaboración propia

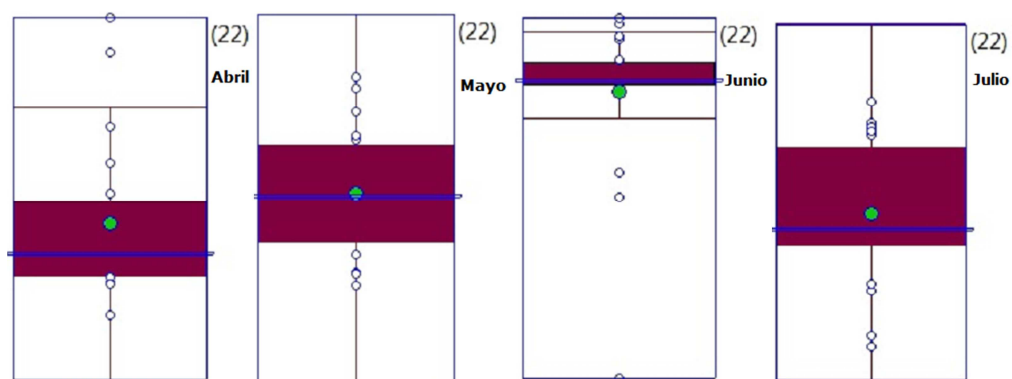


Figura 20 Box Plot Indices Locales para la variable Pupas en los meses de Abril, Mayo, Junio y Julio de 2009. Fuente: Elaboración propia

Mediante la clasificación de los mapas de clúster espaciales, se pueden identificar dos tipos de zonas: las denominadas “zonas calientes o críticas” y las denominadas “zonas no críticas”. Las primeras están representadas con color rojo y son las que tienen valores altos acompañados de índices altos, por consiguiente representan zonas de alta amenaza en cuanto a la distribución espacial de los vectores *aedes* y *culex*. Como se puede observar, la mayoría de las zonas más amenazadas corresponden a las comunas del oriente de la ciudad, sin menospreciar algunas comunas de la parte norte, para las tres variables de estudio (larvas *aedes*, larvas *culex* y pupas). Por otro lado se tienen las “zonas no críticas”, identificadas con color azul y como aquellas que se interrelacionan con otras zonas de valores bajos según los índices locales. Estas zonas corresponden a comunas de la parte norte y oeste de la ciudad, tanto para las tres variables de estudio.

De esta manera, se ha monitoreado la dinámica espacio-temporal de la distribución de incidencia mensual de los vectores *Aedes* y *Culex* en los sumideros de aguas lluvias de la ciudad, prevaleciendo las comunas ubicadas al oriente (12, 13, 16, 21) y norte de la ciudad (2, 4, 5, 6). Toda la atención debe centrarse en estas comunas ya que ejercen una fuerte influencia en las zonas vecinas debido al color rojo que las caracteriza a lo largo de todo el año de estudio, esto quiere decir, que estas comunas se encuentran rodeadas de valores altos muy similares, y que además estas comunas están afectando el comportamiento (distribución) espacial de los vectores *Aedes* y *Culex* en zonas vecinas.

Por otro lado, los Box Plot permiten visualizar la variabilidad de los datos a lo largo del año de estudio, respecto a la media. Para la variable *larvas aedes* (figura 18) se tiene una distribución de datos constante en la mayoría de los meses, es decir, se presenta una distribución simétrica menos en marzo, lo que denota una homogeneidad espacio-temporal en el comportamiento de los vectores para la mayoría de las comunas y un gran aporte a la autocorrelación espacial global. Para la variable *larvas culex* (figura 19) en los meses de abril y de julio a noviembre se presenta una distribución simétrica de los datos, en los demás meses la distribución tiende a ser asimétrica o sesgada, esto ocurre cuando los datos tienden a concentrarse más hacia un lado de la escala de estudio. Una distribución es asimétrica cuando la distribución de los datos es mayor hacia la derecha o hacia la izquierda, dependiendo si la media es mayor o menor a la



mediana del conjunto de datos. Para la variable *pupas aedes* (figura 20) en los meses de abril, mayo y de julio hasta noviembre se observa una distribución simétrica, igual que para la anterior variable. En el mes de junio se presenta una fuerte concentración de los datos, es decir, se visualiza una distribución más heterogénea respecto a los demás meses.

Tanto los índices globales como locales fueron calculados por la matriz de contigüidad W1, ya que ésta es la matriz que mejor describe la estructura de la distribución espacial de los vectores y además arroja valores positivos en los índices globales calculados para la mayoría de los meses, lo que permite inferir que existe un grado de similitud de valores altos y bajos, suponiendo la existencia de un cierto porcentaje de asociación positiva en la distribución de los datos. No obstante, como se ha mencionado anteriormente dichos grados de asociación no parecen estar muy sólidos, es decir se presenta mucha variabilidad, por esta razón se hace necesario considerar una serie de variables, ya sean de tipo social, ambiental o económicas, que parecen influir en estos valores.

Si se considera una clasificación que varíe desde disperso a agrupado se obtiene un comportamiento medio en todos los meses debido a la variedad que presentan los valores de los índices globales, por lo tanto el índice global anteriormente calculado no describiría la realidad en forma clara debido a una asociación positiva en ciertas zonas y dispersión en otras, es decir globalmente no podríamos caracterizar este comportamiento de los vectores *aedes* y *culex*, por tal motivo cobran mayor importancia los índices locales para la elaboración de este proyecto.

De esta manera, se puede observar en los mapas de clúster espaciales que en las comunas de la zona oriente de la ciudad (representadas con color rojo) se encuentran significativos grados de asociación espacial positiva, que al parecer ejercen fuertemente una influencia a los valores globales de autocorrelación espacial. No obstante, en las zonas representadas con color azul también se puede inferir que existe una asociación espacial positiva, pero presenta una variabilidad significativa en su comportamiento, de tal forma que su contribución global parece estar influenciada por aspectos o cambios presentes en la comunidad.

| comuna | Cobert.<br>Alcantarillado<br>(%) | Cobert.<br>Acueducto<br>(%) | Cobert.<br>Aseo(%) | Estrato<br>Moda | Densidad<br>bruta<br>(hab/ha) | Tasa<br>Aedes(%) | Tasa<br>Culex(%) | Tasa<br>Pupas(%) |
|--------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1      | 58,86                            | 62,07                       | 68,22              | 1               | 180,11                        | 10,48            | 41,25            | 15,29            |
| 2      | 100,00                           | 100,00                      | 84,81              | 5               | 90,18                         | 3,81             | 19,21            | 12,21            |
| 3      | 70,69                            | 70,79                       | 73,92              | 3               | 117,10                        | 3,56             | 17,07            | 25,44            |
| 4      | 79,22                            | 80,25                       | 81,26              | 2               | 122,47                        | 5,28             | 21,27            | 14,88            |
| 5      | 100,00                           | 100,00                      | 96,49              | 3               | 270,30                        | 4,88             | 18,40            | 12,46            |
| 6      | 88,70                            | 89,02                       | 97,90              | 2               | 372,16                        | 5,47             | 20,38            | 14,23            |
| 7      | 83,77                            | 84,78                       | 87,13              | 3               | 147,45                        | 6,76             | 18,80            | 14,81            |
| 8      | 85,86                            | 85,56                       | 86,37              | 3               | 187,06                        | 6,59             | 21,71            | 16,36            |
| 9      | 92,89                            | 92,87                       | 95,51              | 3               | 162,69                        | 4,42             | 21,24            | 16,10            |
| 10     | 94,02                            | 94,17                       | 90,13              | 3               | 242,93                        | 7,27             | 21,49            | 16,48            |
| 11     | 91,75                            | 91,44                       | 90,82              | 3               | 271,69                        | 6,67             | 24,80            | 19,31            |
| 12     | 85,25                            | 84,61                       | 84,35              | 3               | 284,88                        | 6,57             | 22,54            | 16,96            |
| 13     | 79,92                            | 81,34                       | 83,59              | 2               | 372,45                        | 6,74             | 23,46            | 18,92            |
| 14     | 91,39                            | 92,20                       | 93,08              | 1               | 369,59                        | 7,83             | 22,06            | 17,40            |
| 15     | 86,15                            | 86,03                       | 89,93              | 2               | 351,65                        | 5,90             | 23,71            | 18,89            |
| 16     | 80,96                            | 80,63                       | 79,20              | 2               | 225,62                        | 7,67             | 23,42            | 17,94            |
| 17     | 100,00                           | 100,00                      | 100,00             | 5               | 96,48                         | 4,01             | 14,95            | 9,41             |
| 18     | 75,08                            | 76,07                       | 76,03              | 1               | 194,34                        | 5,07             | 19,04            | 13,43            |
| 19     | 100,00                           | 100,00                      | 94,58              | 4               | 90,68                         | 4,66             | 22,89            | 15,40            |
| 20     | 59,45                            | 61,71                       | 71,45              | 1               | 268,41                        | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| 21     | 99,87                            | 100,00                      | 92,27              | 1               | 188,57                        | 4,37             | 21,45            | 13,97            |
| 22     | 100,00                           | 100,00                      | 24,84              | 6               | 8,46                          | 3,13             | 16,87            | 9,50             |

Tabla 11 Variables Socioeconómicas año 2009 a nivel de Comunas. Fuente: Cali en Cifras, año 2009

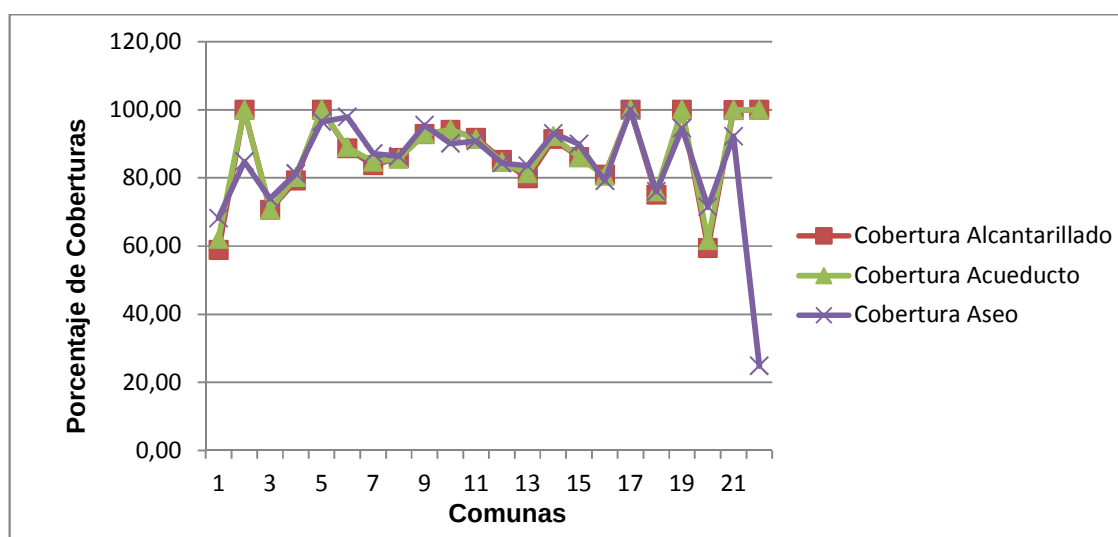


Figura 21 Porcentaje de Cobertura de Servicios Públicos. Fuente: Elaboración propia

Como primera instancia se debe observar el comportamiento de la cobertura de los servicios básicos para la población (Figura 21), ya que éstas de alguna forma pueden afectar la distribución de los vectores Aedes y Culex en los sumideros de aguas lluvias en la ciudad.

A partir del gráfico anterior; se puede observar una cierta regularidad en todas las coberturas en algunas comunas por presentar valores bajos como son: comunas 1, 3, 4, 7, 8, 13, 16, 18 y 20, por lo que es conveniente llevar a cabo procesos de regresión lineal que satisfagan la relación existente entre coberturas, estrato y densidad bruta con los índices de larvacidad calculados para las tres variables de estudio (larvas aedes, larvas culex, pupas aedes), teniendo como soporte las Matrices de Contiguidad para ponderar geográficamente los análisis y de esta manera quede integrada la componente espacial a este cálculo matemático.

## 8 REGRESION LINEAL POR METODOS ESTADISTICOS CONVENCIONALES

### 8.1 Regresiones Lineales Simples. Análisis Univariable

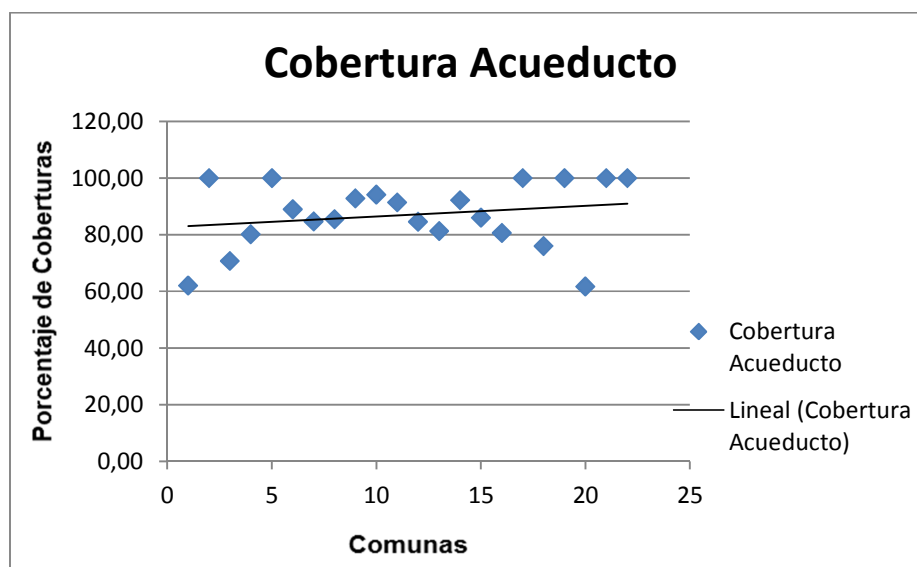


Figura 22 Regresión Lineal Simple para la variable Acueducto. Fuente: Elaboración propia

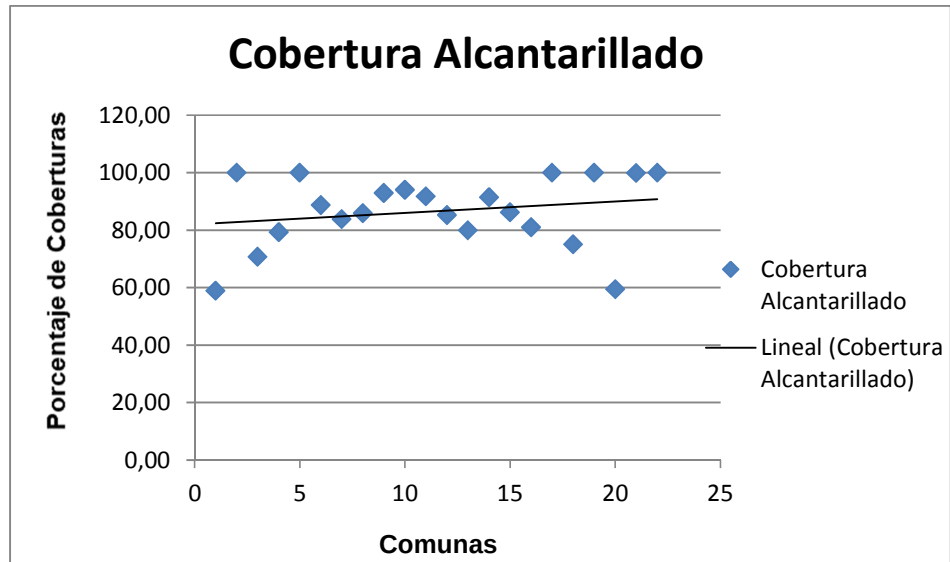


Figura 23 Regresión Lineal Simple para la variable Alcantarillado. Fuente: Elaboración propia

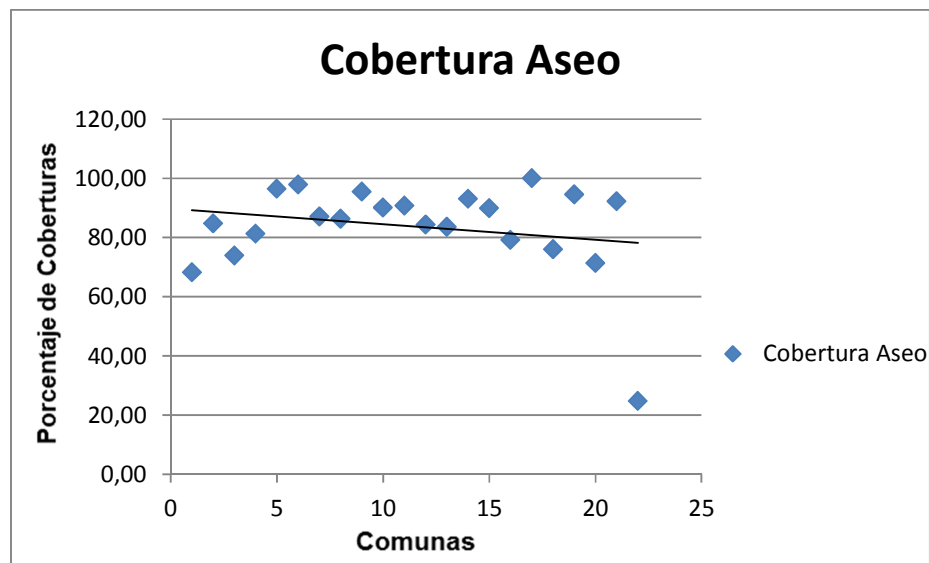


Figura 24 Regresión Lineal Simple para la variable Aseo. Fuente: Elaboración propia

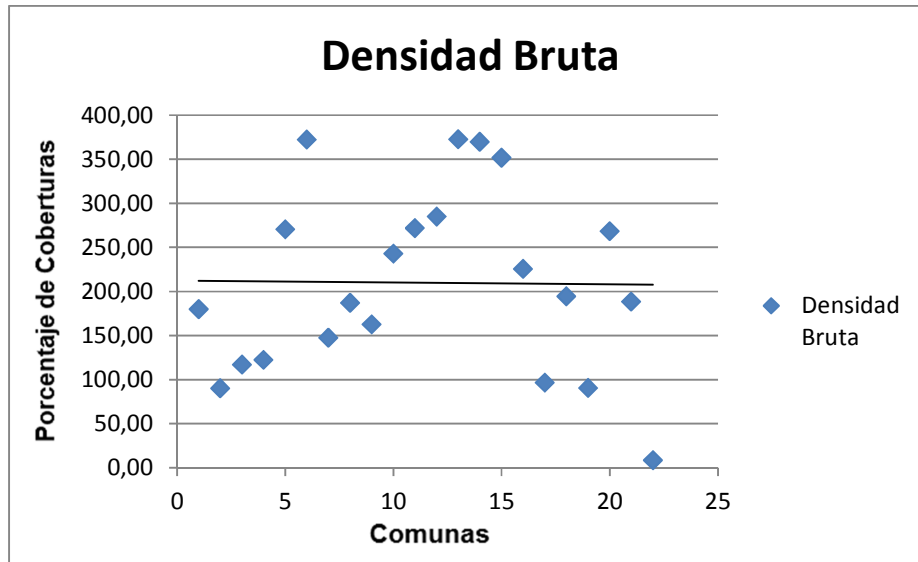


Figura 25 Regresión Lineal para la variable Densidad Bruta. Fuente: Elaboración propia

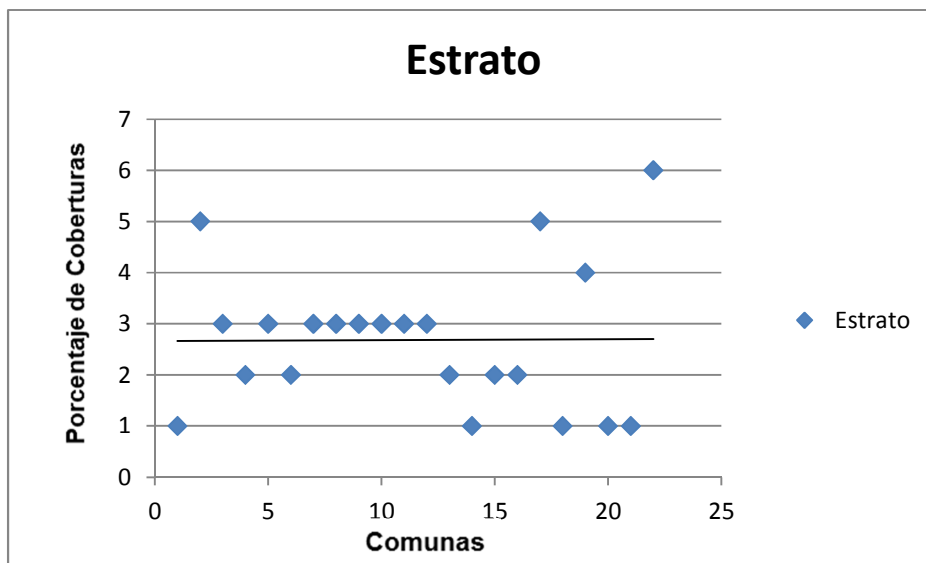


Figura 26 Regresión Lineal Simple para la variable Estrato. Fuente: Elaboración propia

| Variables              | Recta de Ajuste | R <sup>2</sup> | Estadístico T | Probabilidad |
|------------------------|-----------------|----------------|---------------|--------------|
| Acueducto              | 82,658+0,3757*X | 4,27%          | 0,9526        | 0,3521       |
| Alcantarillado         | 81,974+0,3969*X | 4,28%          | 0,9604        | 0,3482       |
| Aseo                   | 89,819-0,5302*X | 4,75%          | -0,9804       | 0,3385       |
| Densidad Bruta Estrato | 212,17-0,2077*X | 0,02%          | -0,0635       | 0,9499       |
|                        | 2,6623+0,0017*X | 0,00%          | 0,0353        | 0,9721       |

Tabla 12 Modelos de Regresión Lineal. Fuente: Elaboración propia

## 8.2 Análisis Multivariable

Para el análisis multivariable se tiene en cuenta los resultados obtenidos de R<sup>2</sup> de las variables anteriormente calculadas, por tal razón, las variables Acueducto, Alcantarillado y Aseo son las que mejor describen la recta de ajuste por sus valores de R<sup>2</sup>, por lo que se espera que la combinación lineal de estas tres variables influyan de una mejor forma en la distribución de incidencia de los vectores Aedes y Culex a partir de los sumideros de aguas lluvias en la ciudad.

| Variables      | Coefficiente | Estadístico T | Probabilidad |
|----------------|--------------|---------------|--------------|
| Constante      | 2,413        | 0,5392        | 0,5962       |
| Acueducto      | 0,629        | 1,1453        | 0,2670       |
| Alcantarillado | -0,6287      | -1,2071       | 0,2429       |
| Aseo           | 0,026        | 0,9039        | 0,3779       |

Tabla 13 Regresión Lineal Multivariable. Fuente. Elaboración propia

Por lo tanto, se tiene que:

$$\text{Tasa riesgo de incidencia} = 2,413 + 0,629*\text{Acueducto} - 0,6287*\text{Alcantarillado} + 0,026*\text{Aseo}$$

$$R^2 = 12.79\%$$

La anterior expresión es sin tener en cuenta las matrices de contigüidad (es a manera de ejemplo explicativo).

### 8.3 Modelos Lineales con Ponderador Geográfico

Mediante las regresiones lineales simples se demostró el grado y el sentido en la relación existente entre la tasa de riesgo de incidencia y las variables socioeconómicas, pero resultan en ocasiones poco explicativos, ya que gran parte de sus componentes no son explicados detalladamente por ellos (como lo es la varianza). No obstante, al introducir al modelo un ponderador geográfico (matrices de contigüidad, factor distancia, etc.), si bien no cambia el sentido de las relaciones, el modelo se torna altamente entendible, lo que daría cuenta de la existencia de una estructura espacial en la relación de las variables. Por consiguiente, lo anterior permitiría ver no solo el grado y el sentido de la relación, sino que al vincularlo con el mapa de autocorrelación local de Morán, también permitiría apreciar las áreas en las que esa relación es más fuerte o más débil.

Siguiendo con la metodología planteada, el siguiente objetivo debe ser especificar alguno de los modelos espaciales de regresión que recogen este tipo de estructuras. Las especificaciones más conocidas (Anselin, 1988) son: tipo lag

$$y = \rho W_y + X\beta + \mu$$
$$u \sim N(0, \sigma^2 + I)$$

Donde  $y$  es un vector ( $N \times 1$ ), el retardo espacial de la variable  $y$ ,  $X$  una matriz de  $K$  variables exógenas,  $U$  un término estocástico de error,  $N$  el número de observaciones y el parámetro autor regresivo que recoge la intensidad de las interdependencias entre las observaciones muestrales. Por consiguiente se propondrá un modelo con la siguiente estructura:

$$\text{**TASA DE INCIDENC} = \alpha + \beta_1 \cdot \text{ACUEDUCTO} + \beta_2 \cdot \text{ALCANTARILLADO} + \beta_3 \cdot \text{ASEO} + \mu_1**$$

De acuerdo a la preselección de variables realizadas en las anteriores regresiones lineales simples, se escogieron las variables acueducto, alcantarillado y aseo para cada una de las variables de estudio (aedes, culex y pupas), con el fin de realizar el modelo ponderado geográficamente obteniendo los siguientes resultados:

### 8.3.1 Regresión Univariable (Modelo Ponderado Geográfico)

| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| Tasa_Aedes      | -0,2105     | 0,3135    | 0,5020       |
| Constante       | 7,8406      | 3,4059    | 0,0213       |
| Cobert. Acued.  | -0,0205     | 0,0347    | 0,5536       |
| R <sup>2</sup>  | 5,03%       |           |              |
| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Tasa_Aedes      | -0,2059     | 0,3131    | 0,5108       |
| Constante       | 7,9284      | 3,2409    | 0,0144       |
| Cobert. Alcant. | -0,0220     | 0,0329    | 0,5031       |
| R <sup>2</sup>  | 5,40%       |           |              |
| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Tasa_Aedes      | -0,5127     | 0,3032    | 0,0908       |
| Constante       | 3,9281      | 2,6263    | 0,1347       |
| Cobert. Aseo    | 0,0437      | 0,0247    | 0,0767       |
| R <sup>2</sup>  | 15,60%      |           |              |

Tabla 14 Resultados Regresión Univariable Larvas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo  
Fuente: Elaboración propia

| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| Tasa_Culex      | -0,0535     | 0,3066    | 0,8615       |
| Constante       | 23,956      | 12,2564   | 0,0506       |
| Cobert. Acued.  | -0,0302     | 0,1210    | 0,8026       |
| R <sup>2</sup>  | 0,43%       |           |              |
| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Tasa_Culex      | -0,2059     | 0,3131    | 0,5108       |
| Constante       | 7,9284      | 3,2409    | 0,0144       |
| Cobert. Alcant. | -0,022      | 0,0329    | 0,5031       |
| R <sup>2</sup>  | 5,40%       |           |              |
| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Tasa_Culex      | -0,1023     | 0,3095    | 0,7409       |
| Constante       | 18,7088     | 9,9005    | 0,0588       |
| Cobert. Aseo    | 0,0431      | 0,0908    | 0,6347       |
| R <sup>2</sup>  | 1,17%       |           |              |

Tabla 15 Resultados Regresión Univariable Larvas Culex con Cobert. Alcantarillado y Aseo. Fuente: Elaboración propia



| Variable       | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
|----------------|-------------|-----------|--------------|
| Tasa_Pupas     | 0,1438      | 0,2869    | 0,6160       |
| Constante      | 12,377      | 8,3805    | 0,1397       |
| Cobert. Acued. | -0,0002     | 0,0832    | 0,9980       |
| R <sup>2</sup> | 1,66%       |           |              |
| Variable       | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Tasa_Pupas     | 0,1466      | 0,2865    | 0,6087       |
| Constante      | 11,7246     | 8,0157    | 0,1435       |
| Cobert. Alcant | 0,0068      | 0,0789    | 0,9303       |
| R <sup>2</sup> | 1,71%       |           |              |
| Variable       | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Tasa_Pupas     | 0,0155      | 0,2988    | 0,9583       |
| Constante      | 8,7695      | 6,7173    | 0,1917       |
| Cobert. Aseo   | 0,0655      | 0,0616    | 0,2879       |
| R <sup>2</sup> | 5,12%       |           |              |

Tabla 16 Resultados Regresión Univariable Pupas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo.  
Fuente: Elaboración propia

### 8.3.2 Regresión Multivariable (Modelo Ponderado Geográfico)

#### Larvas Aedes

| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| Tasa_Aedes      | -0,4701     | 0,3054    | 0,1237       |
| Constante       | 3,7767      | 4,2730    | 0,3767       |
| Cobert. Acued.  | 0,4744      | 0,4721    | 0,3149       |
| Cobert. Alcant. | -0,4836     | 0,4480    | 0,2804       |
| Cobert. Aseo    | 0,049       | 0,0248    | 0,0481       |
| R <sup>2</sup>  | 22,99%      |           |              |

Tabla 17 Resultados Regresión Multivariable Larvas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Fuente: Elaboración propia

$$\text{Tasa Incidencia Larv Aedes} = 3,7767 + 0,4744 \cdot \text{ACUEDUCTO} - 0,4836 \cdot \text{ALCANTARILLADO} + 0,0490 \cdot \text{ASEO} + \mu 1$$

### Larvas Culex

| Variable        | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|--------------|-----------|--------------|
| Tasa_Culex      | -0,0622      | 0,3041    | 0,8377       |
| Constante       | 7,5617       | 15,4395   | 0,6243       |
| Cobert. Acued.  | 2,7966       | 1,6941    | 0,0987       |
| Cobert. Alcant. | -2,7029      | 1,6067    | 0,0925       |
| Cobert. Aseo    | 0,0507       | 0,0892    | 0,5693       |
| R <sup>2</sup>  | 12,92%       |           |              |

Tabla 18 Resultados Regresión Multivariable Larvas Culex con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo.  
Fuente: Elaboración propia

$$\text{Tasa Incidencia Larv Culex} = 7,5617 + 2,7966 \cdot \text{ACUEDUCTO} - 2,7029 \cdot \text{ALCANTARILLADO} + 0,0507 \cdot \text{ASEO} + \mu_1$$

### Pupas Aedes

| Variable        | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|--------------|-----------|--------------|
| Tasa_Pupas      | -0,0362      | 0,2980    | 0,9032       |
| Constante       | 19,6111      | 10,3751   | 0,0587       |
| Cobert. Acued.  | -1,6805      | 1,1642    | 0,1488       |
| Cobert. Alcant. | 1,5646       | 1,1037    | 0,1562       |
| Cobert. Aseo    | 0,0761       | 0,0613    | 0,2143       |
| R <sup>2</sup>  | 13,61%       |           |              |

Tabla 19 Resultados Regresión Multivariable Pupas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Fuente: Elaboración propia

$$\text{Tasa Incidencia Pupas Aedes} = 19,6111 - 1,6805 \cdot \text{ACUEDUCTO} + 1,5646 \cdot \text{ALCANTARILLADO} + 0,0761 \cdot \text{ASEO} + \mu_1$$

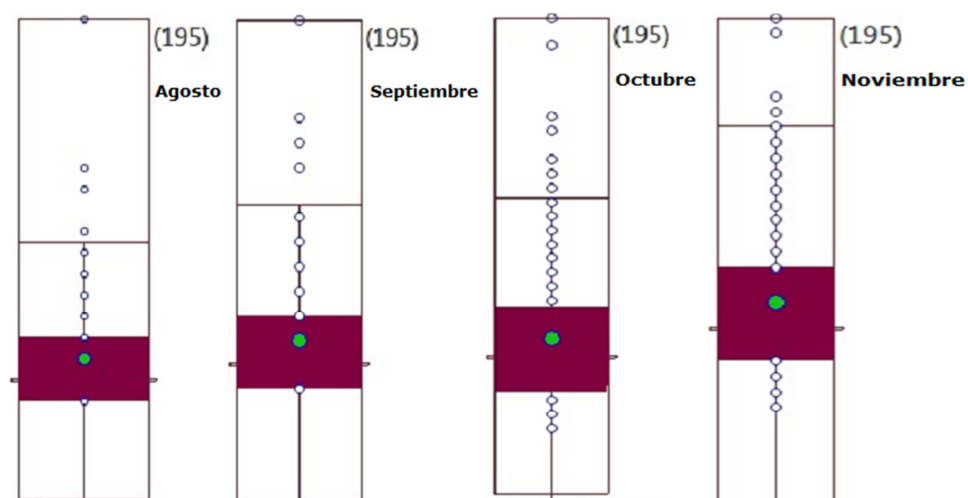
Como se puede observar, el modelo ponderado geográficamente para las tres variables de estudio permite identificar cierta dependencia espacial en la distribución de la variable tasa de incidencia por la mejora en el  $R^2$ , lo cual indica una mejor correlación de variables en presencia de una matriz de contigüidad espacial (matriz de reina w1).

## 9 ANALISIS ESPACIAL POR SECTORES (BARRIOS)

Una vez terminado el proceso de análisis espacial por comunas, se llevará a cabo un análisis espacial por sectores (barrios) para las mismas tres variables de estudio (aedes, culex y pupas) en el mismo periodo de tiempo establecido (año 2009). Esto con el fin de visualizar qué barrios ó sectores son los más perjudicados ante la presencia de larvas y pupas Aedes y larvas Culex; y a su vez, determinar si las variables socioeconómicas influyen directa o indirectamente en la distribución espacial de estos dos vectores.

A continuación, se mostrará algunos ejemplos de Diagramas de Caja (Box Map) para cada una de las variables de estudio donde se visualizaran las zonas atípicas mensuales:

### 9.1 Diagramas de Cajas por Sectores



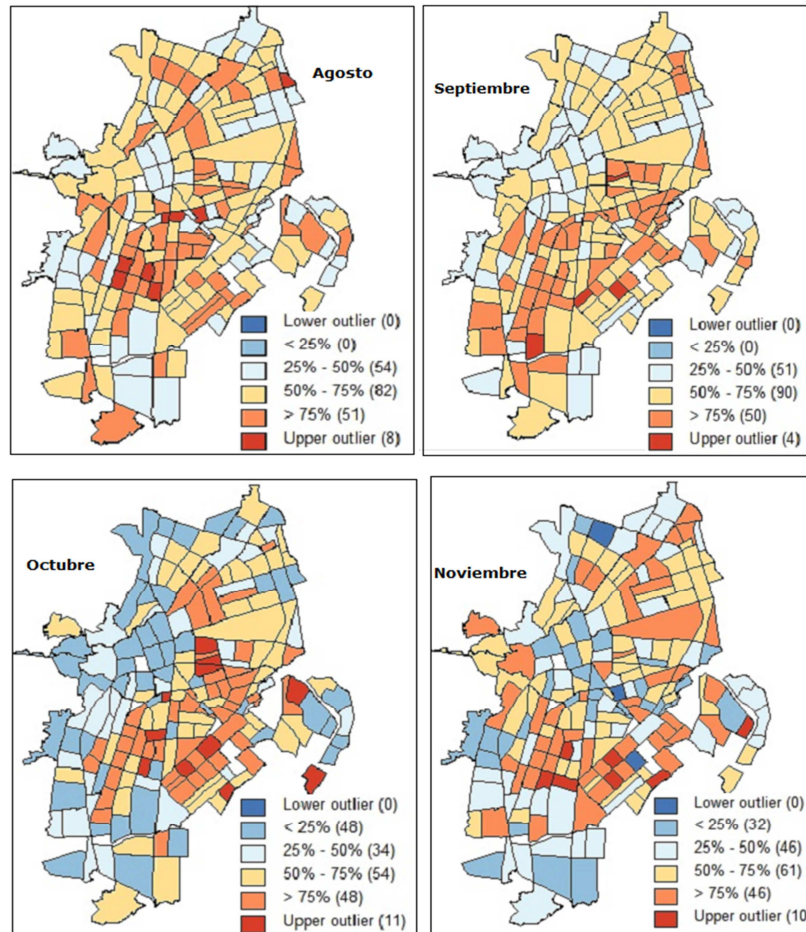
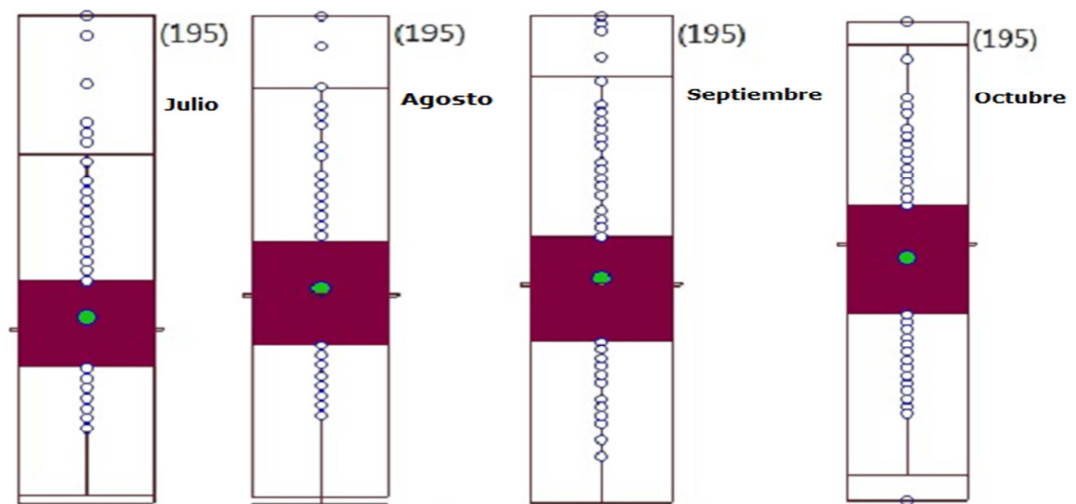


Figura 27 Zonas Atípicas Mensuales y Box Plot por Sectores para la variable Aedes. Fuente: Elaboración propia

Para la variable *larvas aedes* (Figura 27), se puede observar que existe un comportamiento constante en la dispersión de los datos frente a la media en los meses agosto-septiembre y octubre-noviembre, respectivamente, lo que indica que se está presentando una distribución homogénea de los datos para estos meses. Se presentan distribuciones asimétricas de los datos, según lo que indican las medianas de los box plot.

Las zonas atípicas u outliers espaciales están representadas con el color rojo oscuro y azul oscuro, de esta manera dichas zonas corresponden a los siguientes sectores:

- **Para el mes de Agosto:** Petecuy (6K), Alfonso Barberena-Santa Mónica Popular (12A), Comfandi El Prado (11C), Acacias (10O), Departamental (10B), Panamericano (10C), El Guabal (10H), San Judas (10H).
- **Para el mes de Septiembre:** Quintas de Don Simón-Las siete maravillas (17F), Mariano Ramos (16E), Republica de Israel (16I), Atanasio Girardot-Américas (8H).
- **Para el mes de Octubre:** Pizamos I, II, III (21A), Alirio Mora-Naranjos I y II (14F), Vallado-Ciudad Córdoba (15F), Antonio Nariño (16B), República de Israel (16D), La Selva (10I), Cristóbal Colon (10J), Acacias (10O), Atanasio Girardot (8E), Troncal (8G), Atanasio Girardot (8I).
- **Para el mes de Noviembre:** Manuela Beltrán (14B), Vallado-Valladito (15E), Unión de Vivienda Popular (16C), República de Israel (16I), Primero de Mayo (17D), Cañaverales-La Granja (17I), El Guabal (10H).



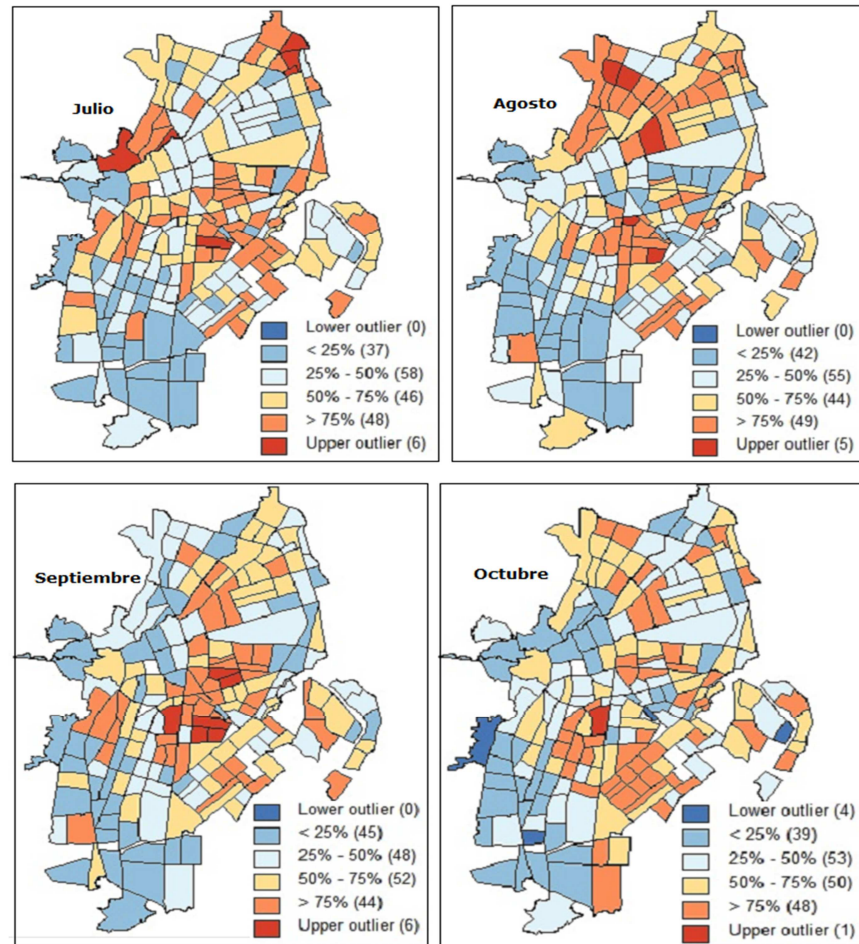
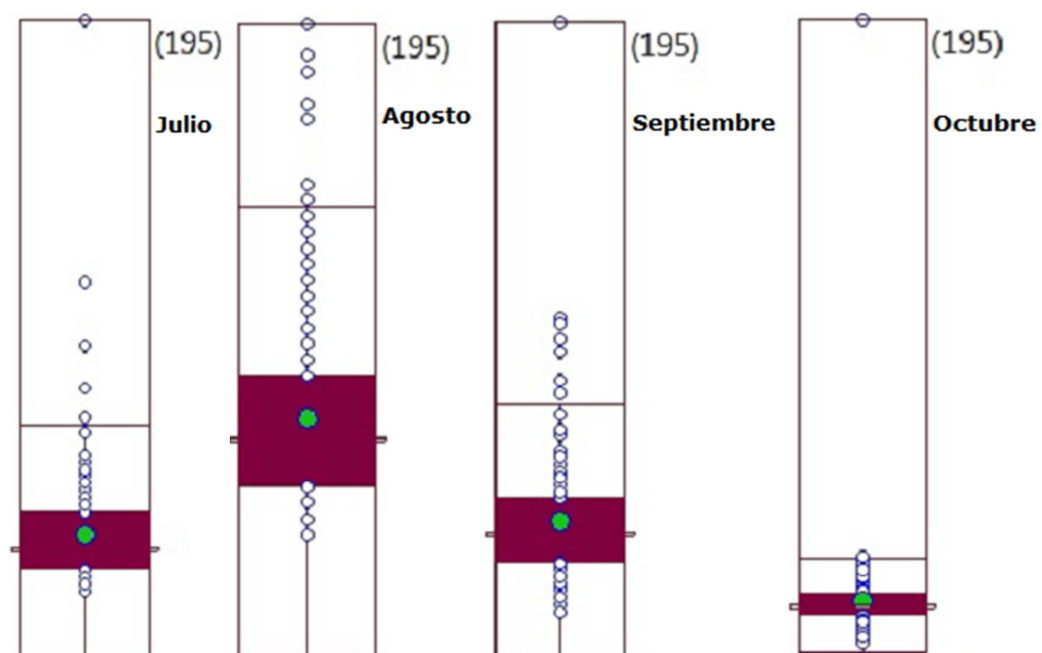


Figura 28 Zonas Atípicas Mensuales por Sectores para la variable *Culex*. Fuente: Elaboración propia

Para la variable *larvas culex* (Figura 28), se puede observar que existe un comportamiento constante en la dispersión de los datos frente a la media en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, lo que indica que se está presentando una distribución homogénea de los datos en dichos meses.

Las zonas atípicas u outliers espaciales están representadas con el color rojo oscuro y azul oscuro, de esta manera dichas zonas corresponden a los siguientes sectores:

- **Para el mes de Julio:** Versailles-San Vicente (2D), Normandía-Centenario-Juanambu (2Q), Fonaviemcali (6D), San Luis II (6H), Paso del Comercio-Comfenalco (6G), Fortaleza-León XIII (11F).
- **Para el mes de Agosto:** Vipasa (2L), La Flora (2M), Delicias-Manzanares-Esmeralda (4C), Conmfandi El Prado (11C), José María Córdoba-Primavera (11J).
- **Para el mes de Septiembre:** Atanasio Girardot (8E), Santafé (8J), Fortaleza-León XIII (11F), San Carlos (11H), José María Córdoba-Primavera (11J), Santa Helena (10K).
- **Para el mes de Octubre:** Santa Helena (10K), Manuela Beltrán (14B), Villanueva (12I), Siloé-Cortijo-Cañaveralejo-Venezuela (20A).





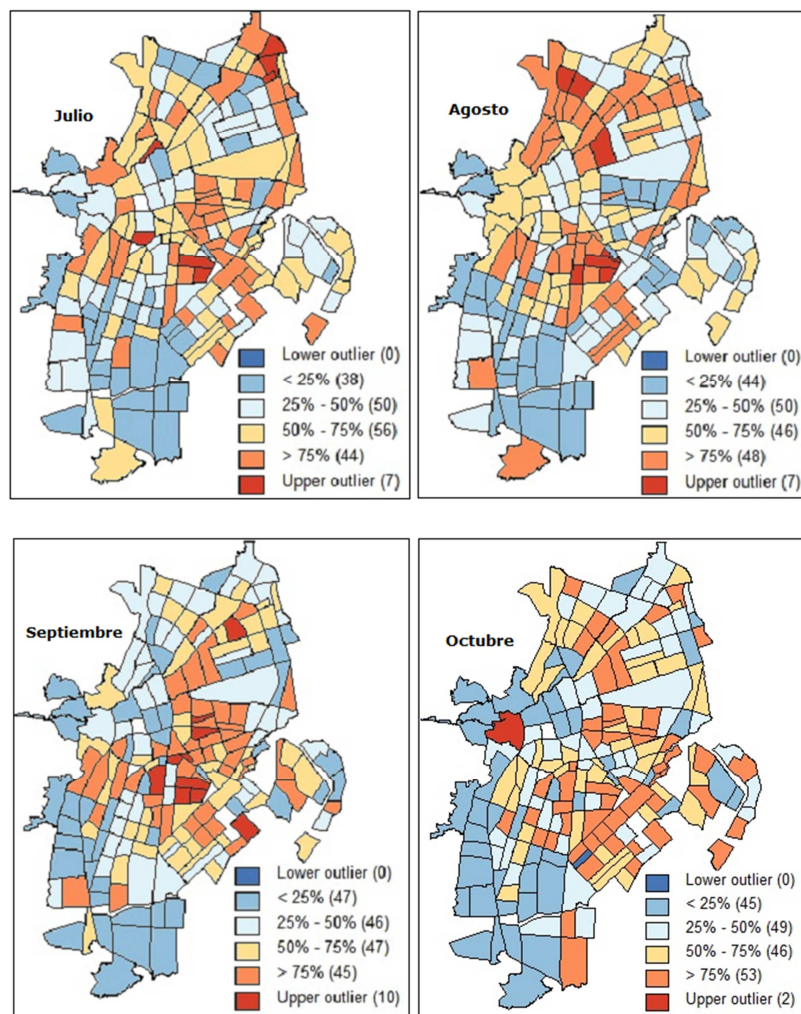


Figura 29 Zonas Atípicas Mensuales por Sectores para la variable Pupas. Fuente: Elaboración propia

Para la variable *larvas pupas* (Figura 29), se puede observar que el tamaño de los diagramas de caja es variable, es decir, se presenta una asimetría de los datos frente a la mediana en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. Aunque para el mes de octubre se puede observar que existe una fuerte concentración de los datos. No obstante, caso contrario sucede para los demás meses (abril, mayo, junio, noviembre y diciembre), donde el comportamiento de los datos es constante (distribución homogénea) respecto a la media. Las zonas atípicas u outliers espaciales están representadas con el color rojo oscuro y azul oscuro, de esta manera dichas zonas corresponden a los siguientes sectores:



- **Para el mes de Julio:** Fonaviemcali (6D), San Luis II (6H), Paso del Comercio-Comfenalco (6G), Versalles-San Vicente (2D), Junín (9A), Fortaleza-León XIII (11F), José María Córdoba-Primavera (11J).
- **Para el mes de Agosto:** Vipasa (2L), La Flora (2M), Delicias-Manzanares-Esmeralda (4C), El Jardín (11B), Fortaleza-León XIII (11F), San Benito (11I), José María Córdoba-Primavera (11J).
- **Para el mes de Septiembre:** Torres de Comfandi-Barranquilla (5D), Atanasio Girardot (8E), Atanasio Girardot-Américas (8H), Santa Helena (10K), Conmfandi El Prado (11C), Fortaleza-León XIII (11F), San Carlos (11H), José María Córdoba-Primavera (11J), Veinte de Julio (11K), Laureano Gómez-Comuneros II (15C).
- **Para el mes de Octubre:** Peñón-San Antonio-San Cayetano-Libertadores (3E), Mariano Ramos (16F).

Una vez calculados los diagramas de caja para cada una de las variables de estudio, se procede a calcular los mapas de cuantiles por sectores.

## 9.2 Mapas de Cuantiles por Sectores

Para una mejor comprensión de los mapas de cuantiles mensuales por sectores para cada variable de estudio (aedes, culex y pupas), se adopta la siguiente clasificación temática:

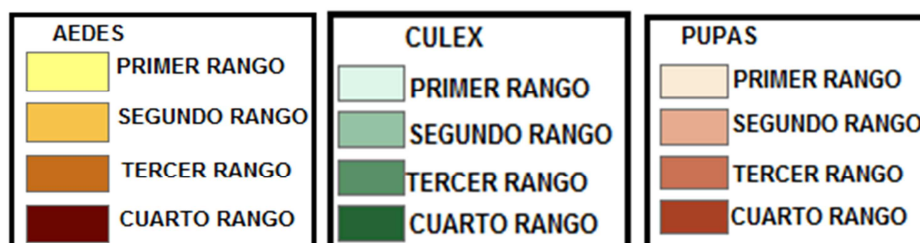


Figura 30 Clasificación Temática para los Mapas de Cuantiles por Sectores. Fuente: Elaboración propia

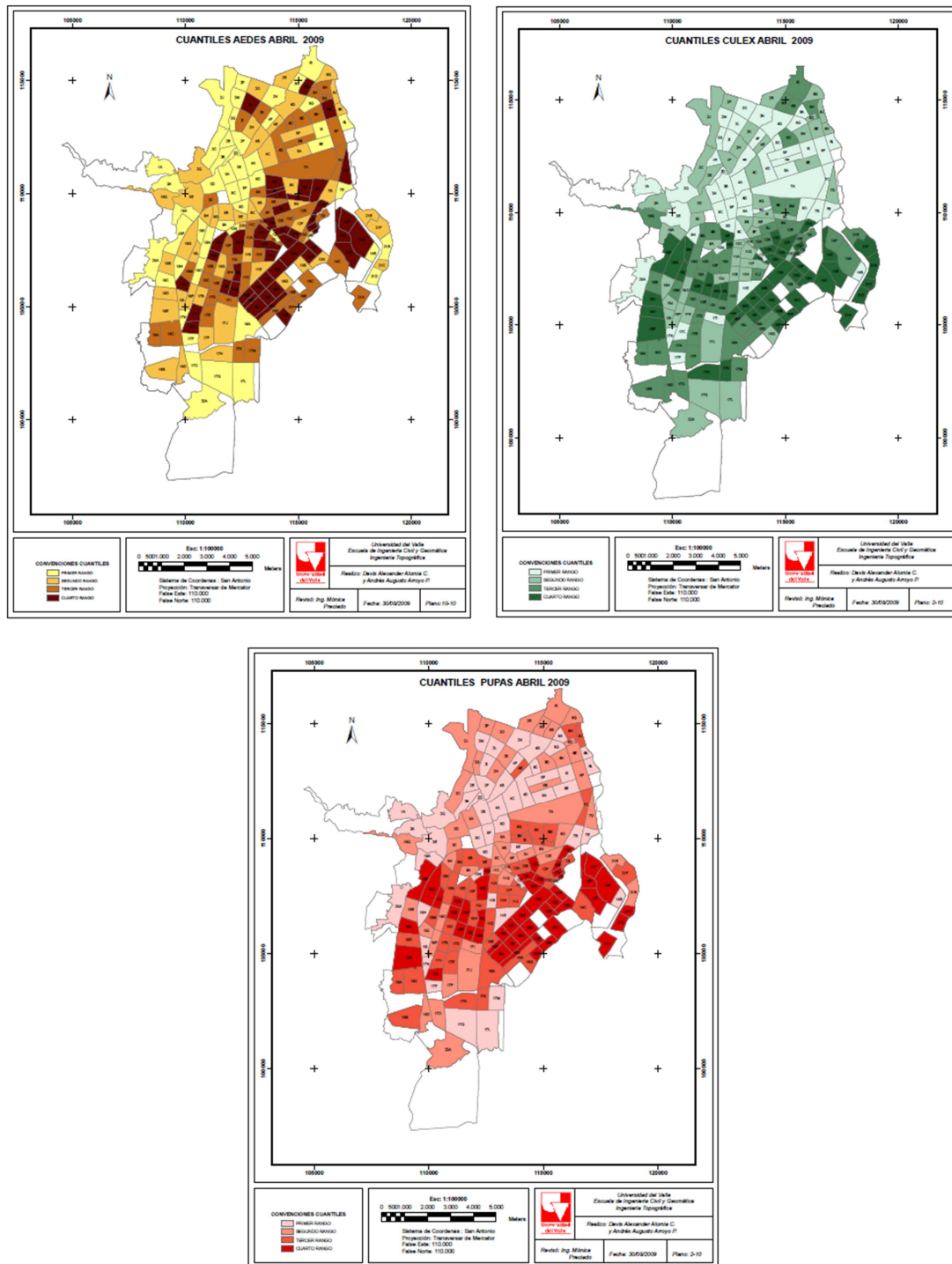


Figura 31 Ejemplo de Cuantiles Mensuales por Sectores para Aedes, Culex y Pupas en el mes de Abril de 2009. Fuente: Elaboración propia

Para los mapas de cuantiles por sectores también se ha considerado dividida la distribución en cuatro partes iguales. De esta manera se tiene que:

- **Variable Aedes:** amarillo claro los sectores con valores inferiores al primer cuartil, un amarillo más oscuro los sectores comprendidos entre el primer cuartil y la mediana, un café claro los sectores con valores comprendidos entre la mediana y el tercer cuartil, y de un café oscuro aquellas zonas con valores superiores al tercer cuartil (figura 31).
- **Variable Culex:** color verde muy tenue corresponde a los sectores con valores inferiores al primer cuartil, un verde claro los sectores comprendidos entre el primer cuartil y la mediana, un verde oscuro los sectores con valores comprendidos entre la mediana y el tercer cuartil, y de un verde totalmente oscuro aquellas zonas con valores superiores al tercer cuartil (figura 31).
- **Variable Pupas:** color rosado claro los sectores con valores inferiores al primer cuartil, un rosado más oscuro los sectores comprendidos entre el primer cuartil y la mediana, un rojo claro los sectores con valores comprendidos entre la mediana y el tercer cuartil, y de un rojo oscuro aquellas zonas con valores superiores al tercer cuartil (figura 31).

Por lo tanto, el resultado que arroja el análisis de mapas de cuantiles consiste en que las zonas (sectores) que poseen un alto riesgo de incidencia de los vectores Aedes y Culex son aquellas que presentan valores superiores al tercer cuartil, es decir, se consideran las zonas más propensas ante cualquier signo de propagación del dengue. A continuación, se observaran los resultados que arrojaron los mapas de cuantiles para cada una de las tres variables de estudio:

#### **1. Variable Larvas Aedes:**

Durante los primeros meses (abril, mayo, junio, julio) se encuentra una alta prevalencia de larvas aedes en sectores ubicados al norte y oriente de la ciudad, como por nombrar algunos tenemos: San Luis II, Alfonso López II-III, Comfenalco-Floralia, Guaduales-Cañaverales, Los Pinos-Ceibas, Marroquín I y II, Diamante-Calipso, Alirio Mora Beltrán-Naranjos I y II, Comuneros

II, Laureano Gómez, Ulpiano Lloreda, Lleras Restrepo, El Rodeo, Alfonso Berberena-Santa Mónica Popular, La Nueva Floresta-Fenalco Kennedy, Antonio Nariño, Mariano Ramos, Unión de Vivienda Popular, República de Israel. Aunque también se observan sectores ubicados al sur de la ciudad (comunas 10 y 11), tales como: El Trébol, El Jardín, San Carlos, José María Córdova-Primavera, Ciudad Modelo-Torres de Maracaibo, Villa del Sur-Independencia, Colseguros, Cristóbal Colon, Santa Helena, Jorge Zwasky. Estos sectores oscilan entre los estratos 2 y 3 en su mayoría, y de acuerdo al análisis exploratorio corresponden a zonas de alto riesgo de incidencia de larvas aedes (color café oscuro). En los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre también se encuentra una alta incidencia de larvas aedes en sectores ubicados al norte y sur de la ciudad, correspondientes a estrato 3, 4 y 5, tales como: La Merced, Vipasa, La Flora, Versailles, Calima-Flora Industrial, Fátima-Berlín-Bueno Madrid, Torres de Comfandi-Barranquilla, El Limonar, Bosques del Limonar, Quintas de Don Simón, Primero de Mayo, La Granja, La Playa-Multicentros. Es en estos sectores donde se debe poner la mayor atención y llevar a cabo un control de mayor rigor ante cualquier posible amenaza de brote de dengue.

## **2. Variable Larvas Culex:**

La variable *larvas culex* se presenta en un mayor riesgo (color verde totalmente oscuro) en sectores ubicados al norte y oriente de la ciudad para la mayoría de los meses de estudio. Estos sectores o barrios corresponden a estratos 3, 4 y 5. Algunos de estos sectores correspondientes a la comunas 2, 4, 5 y 6 son: La Flora, Versailles, La Merced, Vipasa, Prados del Norte, San Vicente, Guillermo Valencia-Olaya Herrera-La Isla, Salomia, Porvenir-Santander-Jorge Isaccs, Delicias-Manzanares-Esmeralda, Evaristo García-Popular, Brisas de los Andes, Torres de Comfandi-Barranquilla, Metropolitano, Floralia, San Luis II, Calimio. Algunos de los sectores del oriente de Cali (comunas 12, 13, 15, 21) más afectados por la incidencia de larvas culex son: Cerezos-Compartir-Gualanday, Pizamos I, II y III, Vallado, Laureano Gómez-Comuneros II, Ciudad Córdoba, Morichal de Comfandi, Poblado I, Los Robles, Ricardo Balcázar, Julio Rincon-12 de Octubre-Eduardo Santos, Nueva Floresta, Bello Horizonte, 7 de agosto. La mayoría de estos sectores corresponde a estratos 2 y 3.

Para el mes de diciembre, la incidencia de larvas culex predominó en sectores ubicados al occidente y sur del municipio de Cali. Estos son algunos: Nápoles-Buenos Aires-Caldas, Meléndez, El Lido, Refugio-Pampalinda, Eucarístico, Champagna, Guadalupe-CVC, Limonar, Bosques del Limonar, San Fernando. La mayoría de estos sectores son de estrato 3 y 4.

### **3. Variable Pupas Aedes:**

Para los meses de abril, mayo y junio se encuentra una alta incidencia de *pupas aedes* en sectores ubicados al sur (comunas 10 y 11) y oriente (comunas 12, 13, 14,16) de la ciudad. Algunos de éstos son: Santa Helena, Olímpico, Colseguros, Cristóbal Colon, San Judas, Acacias, Fortaleza-León XIII, El Jardín-Aguablanca, Villa del Sur-Independencia, San Carlos, Recuerdo-Prados de Oriente, El Rodeo, Sindical, Nueva Floresta-Fenalco Kennedy, Diamante-Calipso-Yira Castro, Los Robles, Villa Blanca, Poblado II, Marroquín II, Alfonso Bonilla Aragón, Alirio Mora Beltrán-Naranjos I y II, Laureano Gómez-Comuneros II, Mariano Ramos, Unión de Vivienda Popular, República de Israel, Antonio Nariño. Estos sectores corresponden a estratos 2 y 3 en su gran mayoría.

La variable *pupas aedes* en los meses de julio hasta diciembre tiene su mayor incidencia en los sectores de la zona norte del municipio, claro está sin menospreciar la incidencia en los sectores de la zona oriente mencionados anteriormente. Estos sectores (correspondientes a las comunas 2, 4, 5, 6) son: La Flora, Versalles, La Merced, Vipasa, Prados del Norte, San Vicente, Guillermo Valencia-Olaya Herrera-La Isla, Salomia, Porvenir-Santander-Jorge Isaccs, Delicias-Manzanares-Esmeralda, Evaristo García-Popular, Brisas de los Andes. Estos sectores o barrios corresponden a estratos 3, 4 y 5.

De esta forma, se ha analizado el comportamiento (distribución de incidencia) espacio-temporal de los vectores *Aedes Aegypti* y *Culex Quinquemaculatus* en los sectores (barrios) de la ciudad, en el cual se pudo observar que no existe un comportamiento aleatorio en su distribución sino que por el contrario se presenta una consecuencia temporal (por meses) y una repetitiva prevalencia en ciertos sectores de la ciudad (zona norte y oriente, en su gran mayoría), sin importar el estrato socioeconómico a que pertenezcan.

Después de haber realizado los mapas de cuantiles, se procede a calcular los Índices de Moran Global para determinar la autocorrelación espacial por sectores.

### 9.3 Medidas de Autocorrelación Global por Sectores

Para el cálculo de los Índices de Moran Global por sectores se realiza una matriz de Contiguidad (W1), tal como se hizo en el análisis espacial por comunas, haciendo uso del software libre Geoda. A continuación, se presentaran algunos ejemplos de Índices de Moran Global para cada una de las tres variables de estudio:

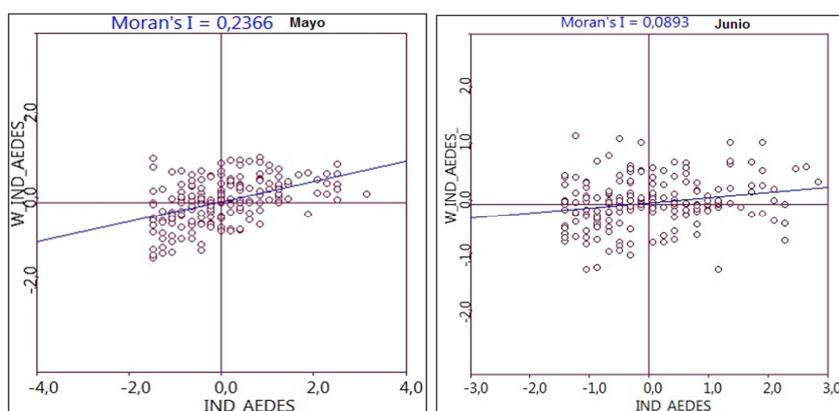


Figura 32 Índices Moran Global Aedes para los meses de Mayo y Junio de 2009. Fuente: Elaboración propia

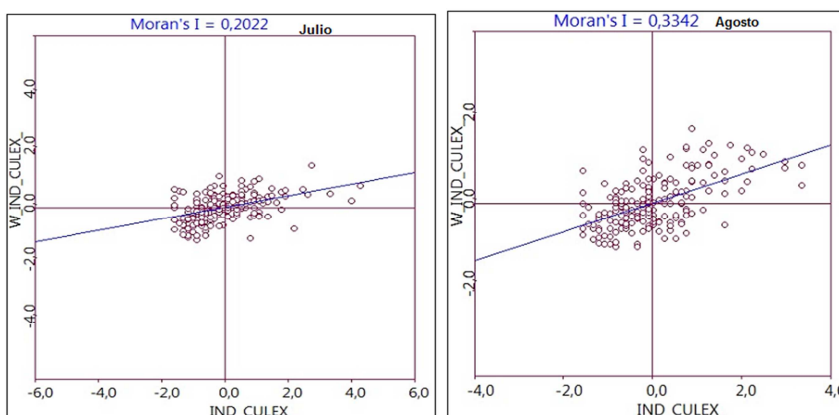


Figura 33 Índices Moran Global Culex para los meses de Julio y Agosto de 2009. Fuente: Elaboración propia

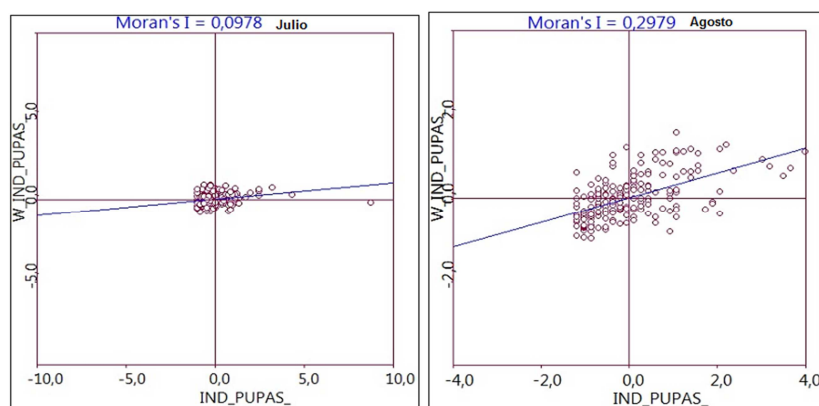


Figura 34 Indices Moran Global Pupas para los meses de Julio y Agosto de 2009. Fuente: Elaboración propia

| Variable     | Mes        | I Moran (matriz W1) |
|--------------|------------|---------------------|
| <b>Aedes</b> | Marzo      | 0,2954              |
|              | Abril      | 0,2971              |
|              | Mayo       | 0,2366              |
|              | Junio      | 0,0893              |
|              | Julio      | 0,1680              |
|              | Agosto     | 0,0802              |
|              | Septiembre | 0,0975              |
|              | Octubre    | 0,1808              |
|              | Noviembre  | 0,1853              |
|              | Diciembre  | 0,1438              |
| <b>Culex</b> | Marzo      | 0,3794              |
|              | Abril      | 0,3472              |
|              | Mayo       | 0,1031              |
|              | Junio      | 0,1897              |
|              | Julio      | 0,2022              |
|              | Agosto     | 0,3342              |
|              | Septiembre | 0,2827              |
|              | Octubre    | 0,3004              |
|              | Noviembre  | 0,3181              |
|              | Diciembre  | 0,2390              |
| <b>Pupas</b> | Marzo      | 0,3102              |
|              | Abril      | 0,3719              |
|              | Mayo       | 0,1969              |
|              | Junio      | 0,1585              |
|              | Julio      | 0,0978              |
|              | Agosto     | 0,2979              |
|              | Septiembre | 0,1451              |
|              | Octubre    | -0,0081             |
|              | Noviembre  | 0,2549              |
|              | Diciembre  | 0,1793              |

Tabla 20 Resumen de Indices de Moran Global para la matriz W1. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se presenta a manera de resumen los valores de los Índices I de Moran Global para la Matriz de Contigüidad de Reina W1, en lo que respecta a cada una de las variables de estudio (aedes, culex, pupas). Estos valores representan la pendiente de la recta de ajuste de cada uno de los gráficos de moran, donde su magnitud puede variar conforme a la distribución de los datos. Como se puede observar, se encuentran valores positivos en estos índices que permiten concluir que existe un grado de similitud de valores altos y bajos, lo que resalta un cierto porcentaje de asociación positiva en la distribución de los datos.

Para el ejemplo propuesto de la variable Aedes (figura 32) se tiene una autocorrelación espacial positiva de acuerdo al signo de sus índices de moran global, es decir, se visualiza un comportamiento de similitud entre zonas vecinas. La dispersión de los datos presenta un comportamiento homogéneo en estos dos meses, aunque para junio se nota un incremento relativamente mayor (datos más dispersos).

Para el ejemplo propuesto de la variable Culex (figura 33) también se presenta una autocorrelación espacial positiva de acuerdo al signo de sus índices de moran global. La dispersión de los datos se torna constante para estos dos meses, aunque en julio se presenta una considerada concentración de los datos respecto al mes de agosto.

Para el ejemplo propuesto de la variable Pupas (figura 34) se presenta una autocorrelación espacial positiva de acuerdo al signo de sus índices de moran global. Se puede observar que para julio se presenta una fuerte concentración de los datos (aglomeración) respecto al mes de agosto. Esa fuerte aglomeración de los datos se determina a partir del valor del índice de moran, por esta razón para el mes de julio el valor de su índice de moran es muy bajo respecto a los otros meses.

En el Índice de Moran Global existe un supuesto implícito de estacionalidad (homogeneidad) espacial. Este supuesto puede desviarse de lo que pasa en la asociación espacial a nivel local y por consiguiente, la estadística global del Moran pueda estar distorsionando lo que sucede a niveles locales.



#### 9.4 Medidas de Autocorrelación Local por Sectores

Basándonos en los resultados del anterior análisis (global), para el análisis de autocorrelación espacial local por sectores se empleará la matriz de contigüidad de reina W1, ya que se realizó con base al criterio de vecindad o frontera común entre zonas vecinas (sectores y/o barrios).

A continuación se representarán los índices locales a través de mapas de clúster espacial en el que se clasifican los sectores (barrios) teniendo en cuenta la interrelación con sectores vecinos:

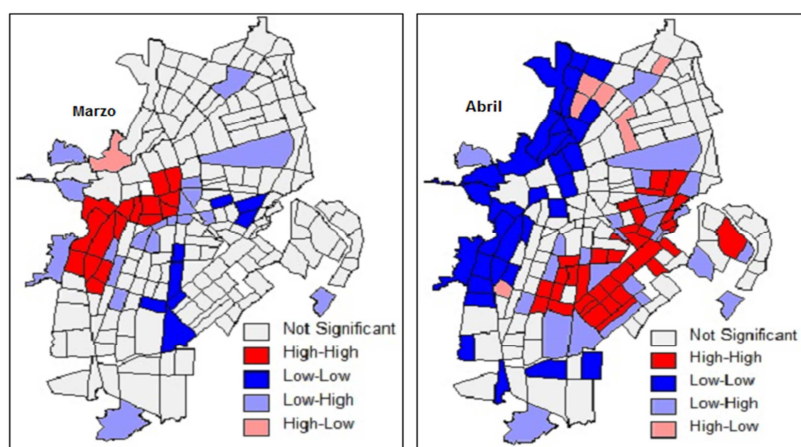


Figura 35 Mapas de Clúster Espacial Aedes en los meses de Marzo y Abril de 2009. Fuente: Elaboración propia

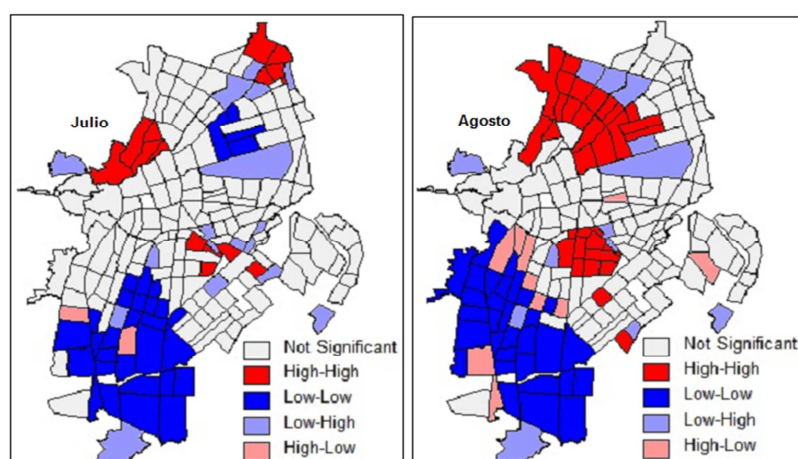


Figura 36 Mapas de Clúster Espacial Culex en los meses de Julio y Agosto de 2009. Fuente: Elaboración propia

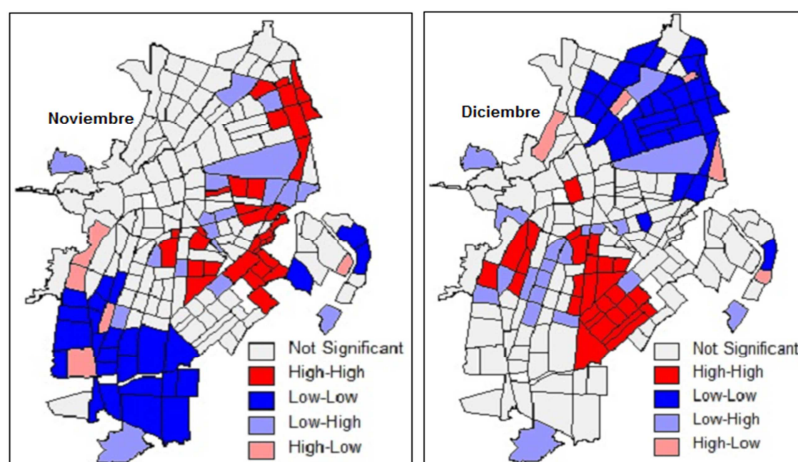


Figura 37 Mapas de Clúster Espacial Pupas para los meses de Noviembre y Diciembre de 2009. Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la clasificación de los mapas de clúster espaciales por sectores, se identifican las zonas críticas y zonas no críticas para cada una de las tres variables de estudio. Estas zonas son:

- Para la variable **larvas aedes** (figura 35) se identifican en los primeros meses (abril-agosto) “sectores críticos” (representados con color rojo) correspondientes a la zona norte, oriente y en menor medida a la zona sur del municipio de Cali. De la misma forma ocurre para el resto del año. Estos “sectores críticos” tienen valores altos acompañados de índices altos, por esta razón son considerados zonas de alto riesgo de presencia de larvas aedes. Por nombrar algunos de estos sectores, tenemos los siguientes: Lleras Restrepo, Ricardo Balcázar, El Laguito, La Nueva Base, Santafé, El Trébol, La Base, Quintas de Salomia, San Luis II, Alcázares, Petecuy I, Calimio, Julio Rincon-12 de Octubre-Eduardo Santos, Bello Horizonte-Paraíso, Sindical, Antonio Nariño, República de Israel, Unión de Vivienda Popular, Mariano Ramos, El Guabal, San Judas, Dorado. Por otro lado, se identifican los “sectores no críticos” (representados con color azul) ubicados en la zona norte y occidente de la ciudad, en su gran mayoría. Estos sectores se interrelacionan con otros sectores de valores bajos según los índices locales calculados. Algunos de estos sectores son: San Vicente, Normandía-Centenario-

Juanambu, La Flora, Centro Empresa, Versalles, Granada-Santa Mónica Residencial, El Lido, Santa Isabel-San Fernando, Eucarístico, Siloé-Cortijo-Cañaveralejo-Venezuela.

- Para la variable **larvas culex** (figura 36) se puede observar “sectores críticos” correspondientes a la zona norte, oriente y en menor medida a la zona sur de la ciudad, a lo largo de los meses de estudio. Algunos de estos sectores son: Quintas de Salomia, San Luis II, Paso del Comercio-Comfenalco, Calimio, 7 de Agosto-Angel del Hogar, Guabito-Villa del Prado, Salomia, Fátima-Berlín-San Francisco-Bueno Madrid, Guillermo Valencia-Olaya Herrera-La Isla, La Flora, Prados del Norte-Vipasa, Los Alamos, La Merced, Villa Colombia, La Base, La Nueva Base, Ulpiano Lloreda, El Laguito, Ricardo Balcázar, Villa del Lago. Asimismo, se identifican los “sectores no críticos” ubicados en la zona norte y sur de la ciudad. Algunos de éstos son: El Trébol, La Base, Quintas de Salomia, San Luis II, Alcázares, Primero de Mayo, Bosques del Limonar, El Ingenio, San Joaquín.
- Para la variable **pupas aedes** (figura 37) se puede observar “sectores críticos” correspondientes a la zona norte y oriente de la ciudad en los meses de mayo, agosto, septiembre, noviembre y diciembre. Algunos de estos sectores son: San Vicente, La Flora, Vipasa, Prados del Norte, Fátima-Berlín-San Francisco-Bueno Madrid, Porvenir-Santander-Jorge Isaacs, Delicias-Manzanares-Esmeralda, Evaristo García-Popular, Salomia, Andes-Sena, Torres de Comfandi-Barranquilla, Almendros-Andes-Brisas de los Andes, Ciudad Córdoba, Vallado, Valladito, Comfandi Morichal, Unión de Vivienda Popular, Mariano Ramos, Antonio Nariño, República de Israel, El Jardín, Villa del Sur-Independencia, San Carlos, San Benito, El Rodeo, Asturias, El Poblado II, La Nueva Floresta, Los Robles, Ulpiano Lloreda, Comuneros II, Lleras Restrepo. De igual forma, se identifican los “sectores no críticos” ubicados en la zona norte y sur de la ciudad en los meses de abril, mayo, junio, julio y noviembre. Algunos de estos sectores son: Salomia, Alcázares, Lares de Comfenalco-Floralia, Guaduales-Cañaveralejo, Guabito-Villa del Prado, Petecuy I, Guayacanes-Portales de Comfandi, Fonaviemcali, Chiminangos-Cooperadores-San Luis, Porvenir-Santander-Jorge Isaccs, Metropolitano, Calima-Flora Industrial, Delicias-Manzanares-Esmeralda, Limonar-Ciudadela Nuevo

Rey, Bosques del Limonar, El Ingenio, San Joaquín-Ciudadela Universitaria, Meléndez, Cañaverales-La Granja, Capri, El Guabal, Santa Helena, San Judas, Cristóbal Colon, El Jardín, Villa del Sur-Independencia.

De esta manera, se ha llevado a cabo la dinámica espacio-temporal de la distribución de incidencia mensual por sectores (barrios) de los vectores Aedes y Culex en los sumideros de aguas lluvias de la ciudad, arrojando como resultado que la mayoría de los **sectores con alto riesgo de incidencia de estos dos vectores** corresponden a **sectores de la zona norte y oriente de la ciudad**, resaltando en gran medida barrios pertenecientes a las comunas 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 13, 15, 16 y 21, respectivamente. Se pudo observar también que en algunos sectores de estratos altos (4 y 5) la presencia de larvas y pupas era significativamente alta, según la clasificación por mapas de cuantiles y clúster espacial.

Toda la atención debe ser dirigida a estos sectores ya que ejercen una fuerte influencia en zonas vecinas (barrios del occidente y sur de la ciudad, en menor medida) por su representación en los mapas (color rojo) a lo largo de todo el año, lo que quiere decir, que estos sectores se encuentran rodeados de valores altos muy similares, y que indudablemente están afectando directa e indirectamente la distribución espacial de Aedes y Culex en dichas zonas vecinas.

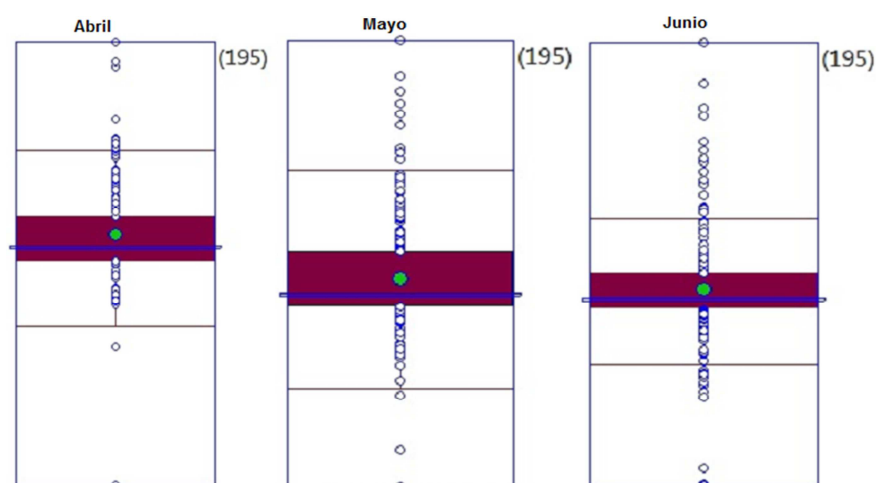


Figura 38 Box Plot Indices Locales Aedes para los meses de Abril, Mayo y Junio de 2009. Fuente: Elaboración propia

- Para la variable *larvas aedes* (figura 38) se obtuvo una distribución de datos constante en los meses de abril, mayo y junio, lo que quiere decir es que se visualiza una distribución simétrica, denotando cierta homogeneidad espacio-temporal en la distribución de incidencia de larvas aedes en algunos sectores de la ciudad (sectores críticos). Caso contrario ocurre en los meses de marzo, julio, septiembre y noviembre, donde la distribución de los datos es bastante asimétrica, bien sea asimétrica positiva (cuando la mediana se acerca al primer cuartil Q1) o asimétrica negativa (cuando la mediana se acerca al tercer cuartil Q3).

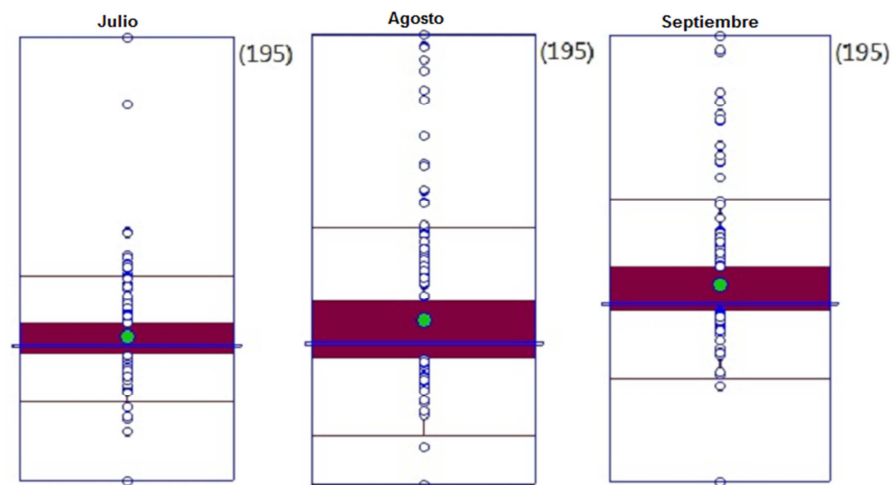


Figura 39 Box Plot Indices Locales Culex para los meses de Julio, Agosto y Septiembre de 2009. Fuente: Elaboración propia

- Para la variable *larvas culex* (figura 39) se presenta también una distribución de datos constante en la mayoría de los meses, exceptuando los meses de marzo y junio. En estos dos meses no se obtienen diagramas de caja muy parecidos, respecto a los otros meses, lo que denota cierta heterogeneidad espacio-temporal en el comportamiento de los datos y por consiguiente se tiende a una distribución asimétrica de los datos.

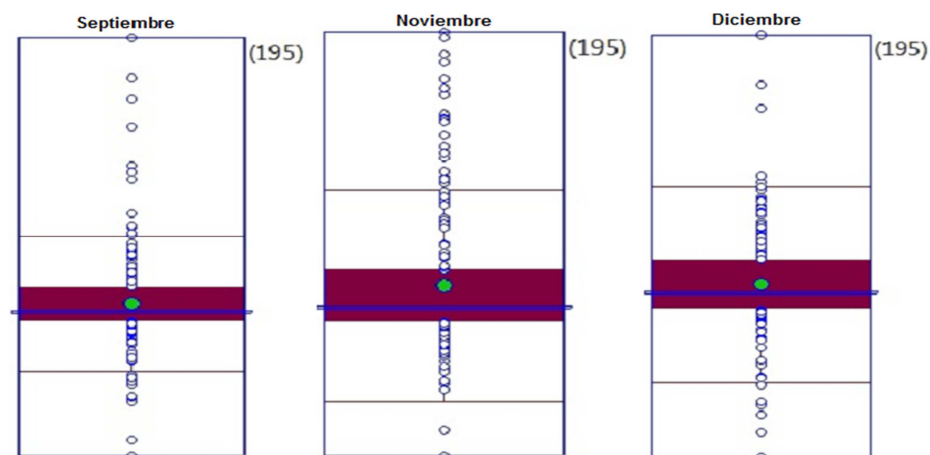


Figura 40 Box Plot Indices Locales Pupas para los meses de Septiembre, Noviembre y Diciembre de 2009. Fuente: Elaboración propia

- Para la variable *pupas aedes* (figura 40) se obtuvo un comportamiento constante de los datos en los meses de septiembre, noviembre y diciembre, es decir, sus diagramas de caja son bastante parecidos, indicando una homogeneidad espacio-temporal en la distribución de incidencia de pupas aedes en la mayoría de los sectores ubicados al oriente y norte de la ciudad (sectores más críticos, de alto riesgo). En los meses de marzo y octubre, se presenta una excesiva agrupación de los datos (la caja es muy pequeña), bien sea porque toda la información se concentra más hacia un punto de la escala de estudio, o en su defecto, existan demasiados datos atípicos apartados del cuerpo principal de datos.

Tanto los índices globales como locales fueron calculados por la matriz de contigüidad W1, ya que ésta es la matriz que mejor se adecúa a la estructura de la distribución espacial de los vectores y además arroja valores positivos en los índices globales calculados para la mayoría de los meses, lo que permite inferir que existe un grado de similitud de valores altos y bajos, suponiendo la existencia de un cierto porcentaje de asociación positiva en la distribución de los datos.

Asimismo, se puede observar en los mapas de clúster espaciales que en los sectores críticos pertenecientes a las zonas norte y oriente de la ciudad (representadas con color rojo) se

encuentran significativos grados de asociación espacial positiva, que al parecer ejercen fuertemente una influencia a los valores globales de autocorrelación espacial. Sin embargo, en las zonas representadas con color azul también se puede inferir que existe una asociación espacial positiva en un menor grado, pero presenta una variabilidad significativa en su comportamiento, de tal forma que su contribución global parece estar influenciada por variables de tipo social presentes en la comunidad.

A continuación se visualiza una tabla (Tabla 21) en la cual se presentará solo una muestra de la información (a manera de ejemplo) concerniente a las variables socioeconómicas que serán utilizadas en las regresiones lineales por sectores.

| id_direcci | Barrios                                                  | Cobert.<br>Alcantarillado(%) | Cobert.Acueducto(%) | Estrato | Poblacion(hab) | Area<br>bruta(ha) | Perimetro(m) | Densidad<br>bruta<br>(hab/ha) |
|------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|---------|----------------|-------------------|--------------|-------------------------------|
| 21C        | REMANOS - COMFANDI -<br>LÍDERES - MANANTIAL              | 100                          | 99,8                | 1       | 5724           | 22,08             | 3502,50      | 259,239                       |
| 21D        | CALIMIO - DECEPAZ                                        | 99,7                         | 99,6                | 1       | 14223          | 50,99             | 3069,40      | 278,950                       |
| 21B        | CIUDADELA DEL RIO -<br>INVICALI - DECEPAZ                | 99,6                         | 99,8                | 1       | 23694          | 69,90             | 5926,40      | 338,970                       |
| 21E        | TALANGA - VALLEGRANDE                                    | 99,6                         | 99,8                | 2       | 19397          | 96,58             | 6138,80      | 200,839                       |
| 21F        | CEREZOS - COMPARTIR -<br>GUALANDAY                       | 99,4                         | 99,3                | 1       | 11230          | 30,58             | 2707,10      | 367,233                       |
| 21A        | SUERTE 90 - PIZAMOS I - II -<br>III SOL ORIENTE - AL     | 99,5                         | 99,7                | 1       | 11344          | 55,60             | 7598,90      | 204,029                       |
| 15A        | CIUDAD CORDOBA                                           | 99,5                         | 99,5                | 3       | 29488          | 91,74             | 4675,70      | 321,430                       |
| 15B        | VALLADO                                                  | 94,9                         | 97,4                | 2       | 18592          | 42,26             | 3275,30      | 439,943                       |
| 15C        | LAUREANO GÓMEZ -<br>COMUNEROS II                         | 94,3                         | 97,3                | 1       | 28710          | 68,59             | 6494,00      | 418,574                       |
| 15D        | CIUDAD CORDOBA                                           | 99,5                         | 99,5                | 3       | 29488          | 91,74             | 4675,70      | 321,430                       |
| 15E        | VALLADO - VALLADITO                                      | 94,9                         | 97,4                | 2       | 21792          | 42,26             | 3275,30      | 515,665                       |
| 15G        | MORICHAL DE COMFANDI                                     | 99,9                         | 99,9                | 2       | 13166          | 119,64            | 4946,60      | 110,047                       |
| 15F        | VALLADO - CIUDAD CORDOBA                                 | 97,1                         | 98,5                | 2       | 35122          | 134,00            | 7951,00      | 262,104                       |
| 14D        | MARROQUIN II                                             | 99,5                         | 99,7                | 2       | 16561          | 51,73             | 4283,30      | 320,143                       |
| 14A        | PUERTAS DEL SOL - VILLA<br>SAN MARCOS- TERCER<br>MILENIU | 99,9                         | 99,9                | 1       | 12924          | 19,60             | 1917,10      | 659,388                       |
| 14C        | ALFONSO BONILLA ARAGON                                   | 99,1                         | 99,7                | 1       | 27103          | 78,16             | 3820,80      | 346,763                       |
| 14B        | MANUELA BELTRÁN (NO SE<br>TRABAJA POR SEGURIDAD)         | 99,2                         | 99,5                | 1       | 28362          | 76,61             | 3799,60      | 370,213                       |
| 14E        | MARROQUIN I                                              | 98,2                         | 99,1                | 2       | 20600          | 60,09             | 3575,60      | 342,819                       |
| 14F        | ALIRIO MORA BELTRÁN -<br>NARANJOS I Y II                 | 98,7                         | 99,4                | 1       | 23754          | 73,26             | 6267,90      | 324,242                       |
| 13A        | DIAMANTE - CALIPSO - YIRA<br>CASTRO                      | 99,4                         | 99,3                | 2       | 20891          | 64,01             | 5684,60      | 326,371                       |
| 13B        | POBLADO I                                                | 99,8                         | 99,9                | 2       | 13865          | 29,19             | 2210,50      | 474,991                       |
| 13C        | EL PONDAJE                                               | 99,9                         | 99,9                | 2       | 3662           | 14,55             | 1774,00      | 251,684                       |

Tabla 21 Variables Socioeconómicas año 2009 a nivel de Sectores (Barrios). Fuente: Cali en cifras año 2009, elaborado por el DAP



## 10 REGRESIONES LINEALES PONDERADAS GEOGRAFICAMENTE POR SECTORES

Para las regresiones lineales por sectores, se mostrará los modelos matemáticos ponderados geográficamente para cada una las tres variables de estudio.

Las variables socioeconómicas empleadas en el proceso de las regresiones lineales son: cobertura de acueducto, cobertura de alcantarillado, estrato y densidad bruta. La cobertura aseo no se empleó en este análisis espacial por sectores, puesto que no se tenía información de esta cobertura a nivel de sectores o barrios.

### 10.1 Larvas Aedes. Regresiones Univariables Ponderadas Geográficamente

| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| Ind_Aedes       | 0,3409      | 0,0631    | 0,0000001    |
| Constante       | -37,7497    | 73,5218   | 0,6076       |
| Cobert. Acued.  | 0,4545      | 0,7429    | 0,5407       |
| R <sup>2</sup>  | 22,27%      |           |              |
| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Ind_Aedes       | 0,3412      | 0,0631    | 0,0000001    |
| Constante       | -17,4769    | 44,1721   | 0,6923       |
| Cobert. Alcant. | 0,2499      | 0,4470    | 0,5759       |
| R <sup>2</sup>  | 22,26%      |           |              |
| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Ind_Aedes       | 0,3157      | 0,0634    | 0,0000006    |
| Constante       | 11,0764     | 1,5556    | 0,0000000    |
| Estrato         | -1,1855     | 0,401     | 0,0031       |
| R <sup>2</sup>  | 24,57%      |           |              |
| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Ind_Aedes       | 0,3017      | 0,0638    | 0,0000023    |
| Constante       | 5,2902      | 1,0587    | 0,0000006    |
| Dens bruta      | 0,0114      | 0,0036    | 0,0018       |
| R <sup>2</sup>  | 24,35%      |           |              |

Tabla 22 Resultados Regresiones Univariables Larvas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta. Fuente: Elaboración propia

## 10.2 Larvas Culex. Regresiones Univariadas Ponderadas Geográficamente

| Variable        | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|--------------|-----------|--------------|
| Ind_Culex       | 0,3228       | 0,0638    | 0,0000004    |
| Constante       | -65,9904     | 123,1153  | 0,5919       |
| Cobert. Acued.  | 0,8496       | 1,2441    | 0,4946       |
| R <sup>2</sup>  | 18,87%       |           |              |
| Variable        | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
| Ind_Culex       | 0,3222       | 0,0639    | 0,0000005    |
| Constante       | -23,5931     | 74,0026   | 0,7498       |
| Cobert. Alcant. | 0,4220       | 0,7488    | 0,573        |
| R <sup>2</sup>  | 18,79%       |           |              |
| Variable        | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
| Ind_Culex       | 0,3018       | 0,0644    | 0,0000028    |
| Constante       | 22,6237      | 2,8997    | 0,0000000    |
| Estrato         | -1,3257      | 0,6736    | 0,0490       |
| R <sup>2</sup>  | 19,49%       |           |              |
| Variable        | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
| Ind_Culex       | 0,301        | 0,0641    | 0,0000027    |
| Constante       | 15,1257      | 2,1302    | 0,0000000    |
| Dens bruta      | 0,017        | 0,0061    | 0,0057       |
| R <sup>2</sup>  | 20,99%       |           |              |

Tabla 23 Resultados Regresiones Univariadas Larvas Culex con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta. Fuente: Elaboración propia

## 10.3 Pupas Aedes. Regresiones Univariadas Ponderadas Geográficamente

| Variable       | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
|----------------|--------------|-----------|--------------|
| Ind_Pupas      | 0,3957       | 0,0605    | 0,0000000    |
| Constante      | 70,2698      | 122,7708  | 0,567        |
| Cobert. Acued. | -0,5747      | 1,2402    | 0,6430       |
| R <sup>2</sup> | 28,81%       |           |              |
| Variable       | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
| Ind_Pupas      | 0,3963       | 0,0604    | 0,0000000    |
| Constante      | 49,6341      | 73,7573   | 0,5009       |
| Cobert. Alcant | -0,3669      | 0,7459    | 0,6228       |
| R <sup>2</sup> | 28,85%       |           |              |

| Variable       | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
|----------------|-------------|-----------|--------------|
| Ind_Pupas      | 0,3625      | 0,0611    | 0,0000000    |
| Constante      | 20,9368     | 2,7457    | 0,0000000    |
| Estrato        | -2,2741     | 0,6713    | 0,0007       |
| R <sup>2</sup> | 31,37%      |           |              |
| Variable       | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
| Ind_Pupas      | 0,368       | 0,061     | 0,0000000    |
| Constante      | 10,1324     | 1,8678    | 0,0000001    |
| Dens bruta     | 0,0185      | 0,0061    | 0,0026       |
| R <sup>2</sup> | 30,75%      |           |              |

Tabla 24 Resultados Regresiones Univariantes Pupas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta. Fuente: Elaboración propia

#### 10.4 Larvas Aedes. Regresiones Multivariantes Ponderadas Geográficamente

| Variable        | Coeficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|-------------|-----------|--------------|
| Ind_Aedes       | 0,2882      | 0,0639    | 0,0000066    |
| Constante       | -137,5085   | 79,1627   | 0,0823       |
| Cobert. Acued.  | 1,1546      | 1,1490    | 0,3149       |
| Cobert. Alcant. | 0,3310      | 0,6721    | 0,6223       |
| Estrato         | -1,0825     | 0,5140    | 0,0351       |
| Dens bruta      | 0,0077      | 0,0044    | 0,0800       |
| R <sup>2</sup>  | 26,38%      |           |              |

Tabla 25 Resultados Regresión Multivariable Larvas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta. Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se obtiene el Modelo Matemático Ponderado Geográficamente para la variable Larvas Aedes:

$$\text{Tasa Incidencia Larv Aedes} = -137,5085 + 1,15460 \cdot \text{ACUEDUCTO} + 0,3310 \cdot \text{ALCANTARILLADO} - 1,0825 \cdot \text{ESTRATO} + 0,0077 \cdot \text{DENSIDAD BRUTA} + \mu_1$$

## 10.5 Larvas Culex. Regresiones Multivariantes Ponderadas Geográficamente

| Variable        | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|--------------|-----------|--------------|
| Ind_Culex       | 0,2992       | 0,064     | 0,0000030    |
| Constante       | -170,8227    | 133,4615  | 0,2005       |
| Cobert. Acued.  | 1,479        | 1,9386    | 0,4455       |
| Cobert. Alcant. | 0,4311       | 1,1335    | 0,7036       |
| Estrato         | -0,8438      | 0,8629    | 0,3281       |
| Dens bruta      | 0,0148       | 0,0074    | 0,0476       |
| R <sup>2</sup>  | 22,01%       |           |              |

Tabla 26 Resultados Regresión Multivariable Larvas Culex con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta. Fuente: Elaboración propia

$$\text{Tasa Incidencia Larv Culex} = -170,8227 + 1,4790 \cdot \text{ACUEDUCTO} + 0,4311 \cdot \text{ALCANTARILLADO} - 0,8438 \cdot \text{ESTRATO} + 0,0148 \cdot \text{DENSIDAD BRUTA} + \mu_1$$

## 10.6 Pupas Aedes. Regresiones Multivariantes Ponderadas Geográficamente

| Variable        | Coefficiente | St. Error | Probabilidad |
|-----------------|--------------|-----------|--------------|
| Ind_Pupas       | 0,3545       | 0,0613    | 0,0000000    |
| Constante       | -93,936      | 132,5862  | 0,4786       |
| Cobert. Acued.  | 1,0311       | 1,9259    | 0,5923       |
| Cobert. Alcant. | 0,1000       | 1,1266    | 0,9292       |
| Estrato         | -1,926       | 0,8629    | 0,0256       |
| Dens bruta      | 0,0099       | 0,0074    | 0,1813       |
| R <sup>2</sup>  | 32,00%       |           |              |

Tabla 27 Resultados Regresión Multivariable Pupas Aedes con Cobert. Acueducto, Alcantarillado, Estrato y Dens. Bruta. Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Tasa Incidencia Pupas Aedes} = -93,9360 + 1,0311 \cdot \text{ACUEDUCTO} + 0,1000 \cdot \text{ALCANTARILLADO} - 1,9260 \cdot \text{ESTRATO} + 0,0099 \cdot \text{DENSIDAD BRUTA} + \mu_1$$

Las diferencias significativas en los valores de  $R^2$  en el análisis espacial por comunas respecto al análisis espacial por sectores, obedece a que en el primer análisis el porcentaje de cobertura de las variables socioeconómicas (acueducto, alcantarillado, y aseo) corresponde a un porcentaje global estimado para cada comuna, independientemente del estrato social y de sus barrios que la conformen, como por ejemplo: para la comuna 3 la cobertura de alcantarillado es 70.69%. Se sabe que esta comuna está compuesta por barrios de estratos 1, 2 y 3, y por ende, sería ilógico decir que el mismo porcentaje de cobertura para un barrio de estrato 3 corresponda al mismo porcentaje para un barrio de estrato 1. Pero en el análisis por comunas, dicho porcentaje se generaliza para toda la comuna o zona de estudio sin tener en cuenta la estratificación social de los barrios, por lo tanto en el proceso de regresiones lineales los resultados obtenidos para el coeficiente de determinación  $R^2$  tienden a ser más bajos respecto a los valores de  $R^2$  en el análisis por sectores, ya que este valor (en el análisis por comunas) es calculado globalmente para toda la zona o comuna; por el contrario, en el análisis por sectores ya se tiene en cuenta un porcentaje específico de las variables socioeconómicas para cada barrio o sector. Por esta razón, se tiende a obtener valores altos de este coeficiente a nivel de sectores, puesto que se caracteriza de manera más específica el comportamiento de dichas variables y resulta más real los modelos ponderados geográficos para las tres variables de estudio.

## 11 DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO

Una vez desarrollado el análisis exploratorio de datos y obtener el modelo ponderado geográficamente tanto para el análisis espacial por comunas como por sectores, se lleva a cabo el desarrollo de un Sistema de información Geográfica, con el fin de que los registros que maneja la Secretaría de Salud Pública Municipal (SSPM) en cuanto al muestreo de larvas aedes y culex en los sumideros de aguas lluvias en la ciudad de Cali sean representadas espacialmente en un ambiente web mapping que permitirá brindar respuesta a preguntas como: ¿Qué áreas tienen mayores índices de larvacidad de Aedes y Culex? ¿Qué zonas están en mayor variación de ciclo estadístico en periodos mensuales? ¿En qué comuna/sector se presentó mayor tasa de presencia del vector en los sumideros? ¿Cuál es el estado actual de los datos en el espacio? ¿Cuál es el comportamiento de los ciclos entomológicos en el año 2009? A continuación, se muestra el proceso general para el desarrollo del sistema así como los elementos que interactúan entre sí para el funcionamiento de la misma.

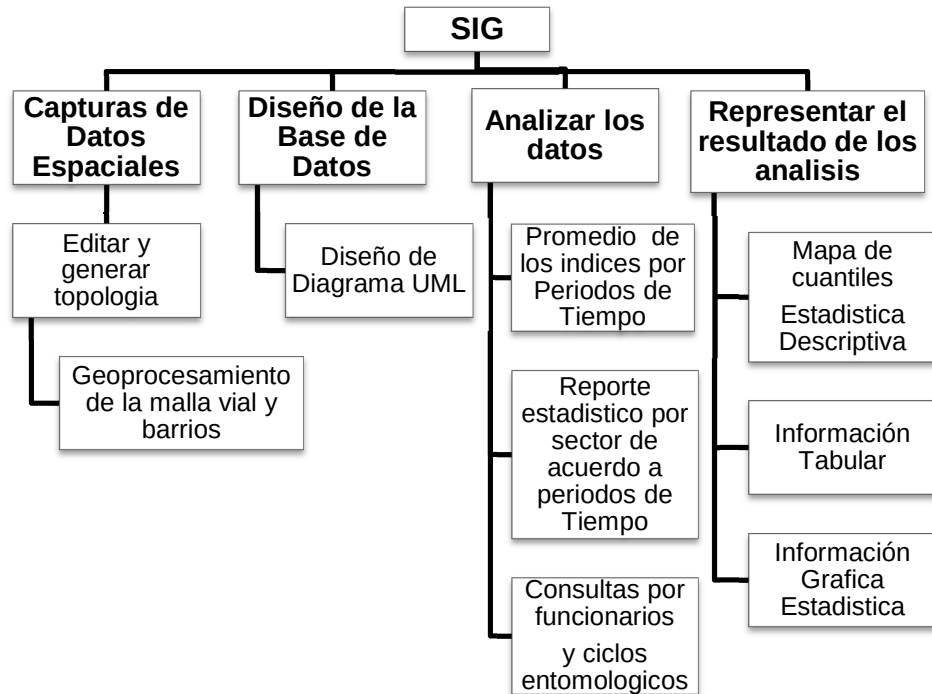


Figura 41 Elementos que intervienen en el desarrollo del Sistema de Información Geográfico. Fuente: Elaboración propia

### 11.1 Captura de Datos Espaciales

La estructura espacial del sistema está representada por elementos regionales con atributos en común. Estos elementos son: Zonas Ues, Comunas, Barrios.

La Zonas Ues y los Barrios son usados como información adicional al usuario para su orientación y construir una información de salida más elaborada. A su vez fueron identificados como una unión de un área de muestreo, por lo tanto fue necesario construir la topología mediante la malla vial para el desarrollo de nuevos polígonos.

#### Estructura Vectorial

- **Polígonos:** Indican elementos regionales con atributos en común como son los barrios y las comunas, que son usados como información adicional al usuario para su orientación, relación espacial y construcción de una información de salida más elaborada.

#### SISTEMA DE PROYECCIÓN

- Sistema de Coordenadas: San Antonio
- Proyección: Transversal de Mercator
- False Este: 110000 m
- False Norte: 110000 m
- Datum Geográfico.: Bogotá

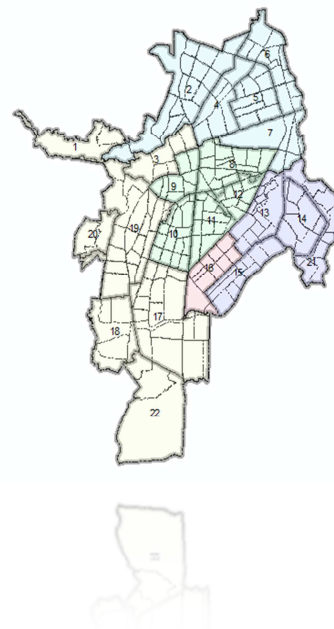


Figura 42 Sistema de Proyección Cartográfica del SIG. Fuente: Elaboración propia

## 11.2 Diseño de la Base de Datos

El modelo de datos de la GBD se representa teniendo en cuenta las relaciones existentes en la información que maneja el sistema para diferenciar el tipo de dato espacial o alfanumérico, y en caso de ser espacial, el tipo de identidad que se maneja.

A continuación se establece el Modelo Entidad-Relación para construir la Base de Datos, diseñado en el software libreDBDesigner4.0

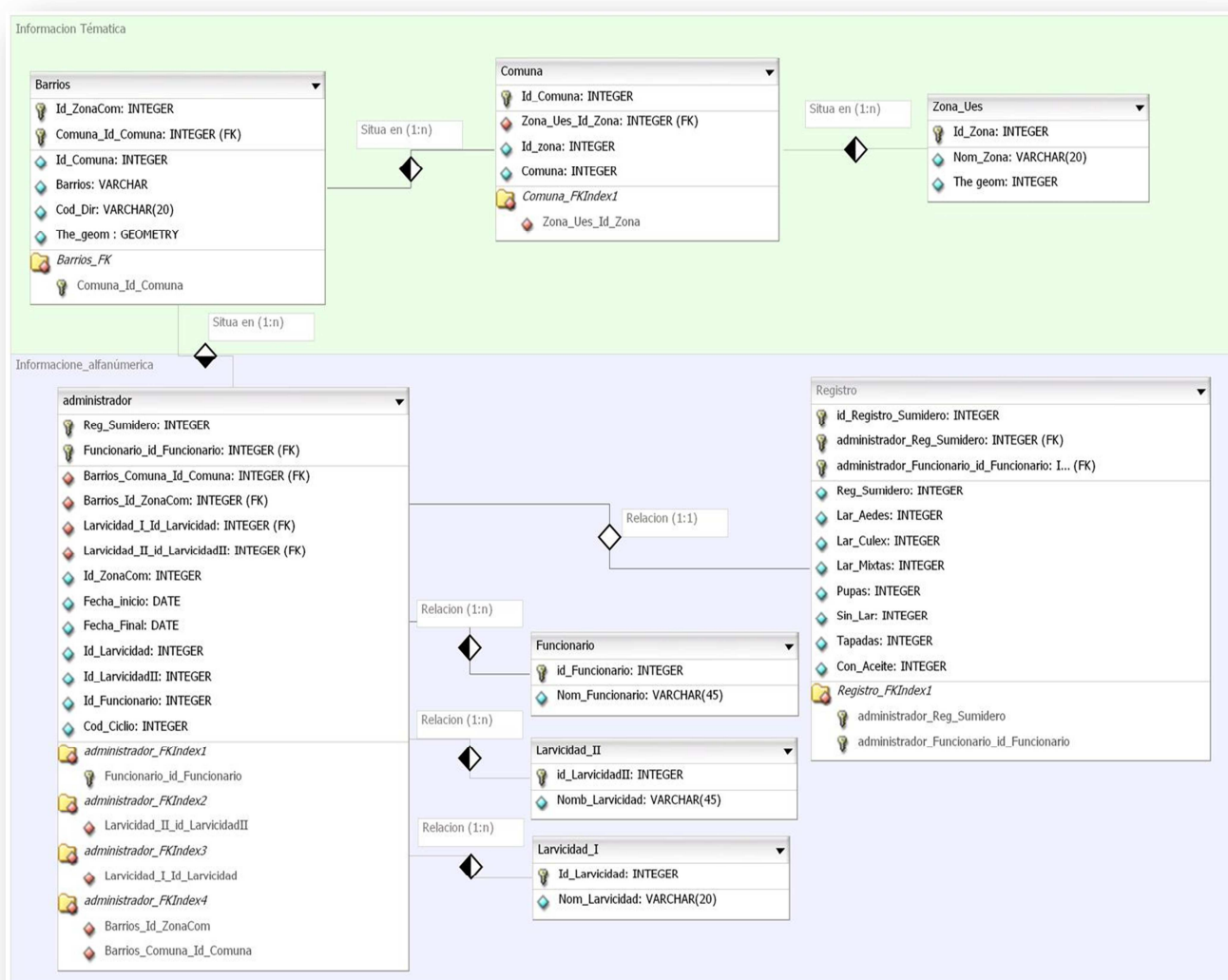


Figura 43 Modelo Entidad-Relación del SIG. Fuente: Elaboración propia



### 11.3 Análisis de los Datos y Representación de los Resultados

Para llevar a cabo el procesamiento y análisis de los datos, se realiza una serie de consultas previamente diseñadas a la solución del sistema a través de la página Web (ingresando datos textualmente, datos con opciones de ingreso, o links).

El sistema como respuesta a la solución del problema mostrará una información visual (mapas, gráficos) y alfanumérica (tablas), utilizando el software libre Mapserver (visualizador de mapas) y Postgres SQL 9.0 (Manejo de la Base de datos) donde se maneja el proceso de análisis de las consultas del sistema.

La operatividad del sistema se clasificará en tres formas:

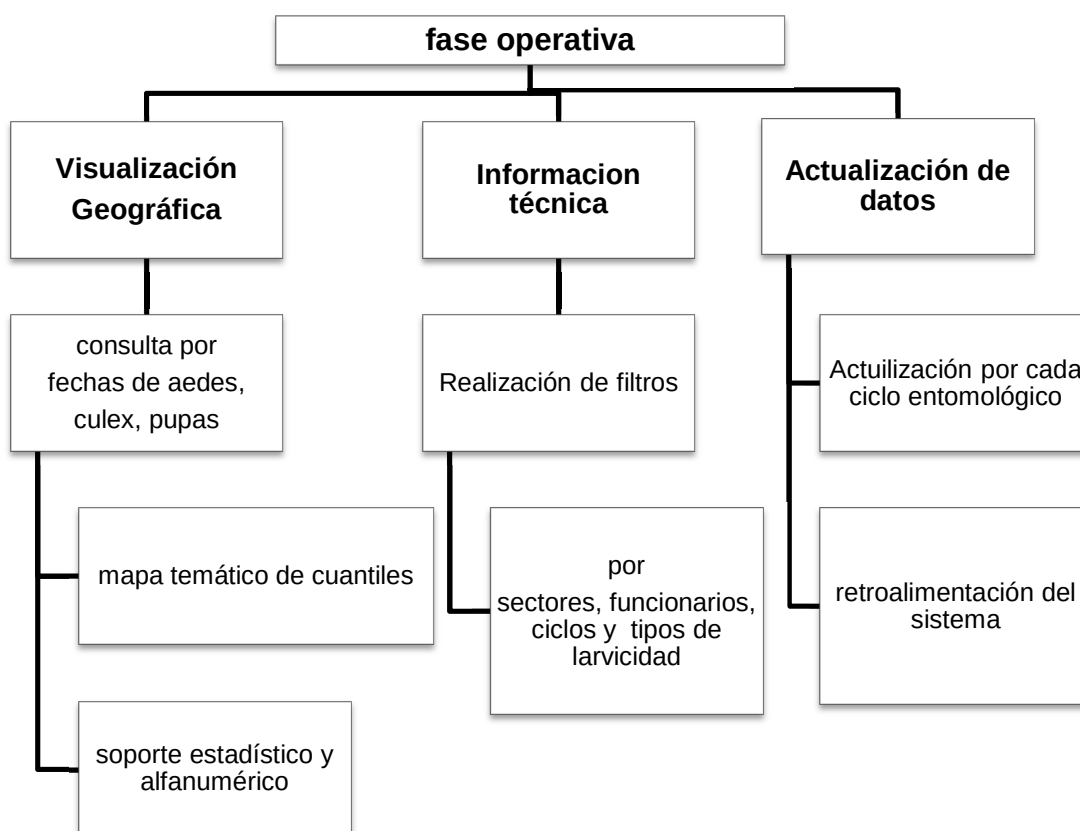


Figura 44 Esquema de la Fase Operativa del Sistema. Fuente: Elaboración propia

### 11.3.1 Inicio del sistema

En el proceso inicial del sistema se define una entidad administrador cuya función será la de manejar un identificador único con el fin de que el usuario (SSPM) tenga los privilegios autorizados por el administrador del sistema, donde velará por la seguridad de la información operativa del sistema.

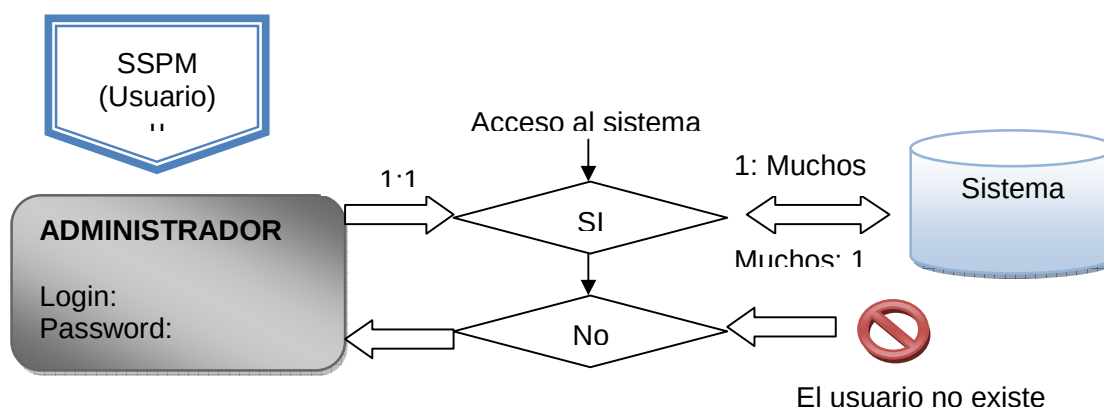


Figura 45 Diagrama de secuencia macro del acceso y funcionalidad del sistema. Fuente: Elaboración propia



Figura 46 Página inicial del sistema para ingresar el login y password. Fuente: Elaboración propia

### 11.3.2 Visualización Geográfica

El modo de consulta consiste en seleccionar los tipos de vectores (aedes, culex y pupas) y a su vez ingresar las fechas del período (mes) que desea tener información.

La respuesta del sistema será un mapa temático de cuantiles de los índices de larvacidad donde mostrará las comunas y sectores más afectados (zonas de alto riesgo de presencia de larvas aedes, culex y pupas aedes), acompañados con un soporte estadístico descriptivo y a su vez los rangos de los valores máximos y mínimos de cada cuantil.

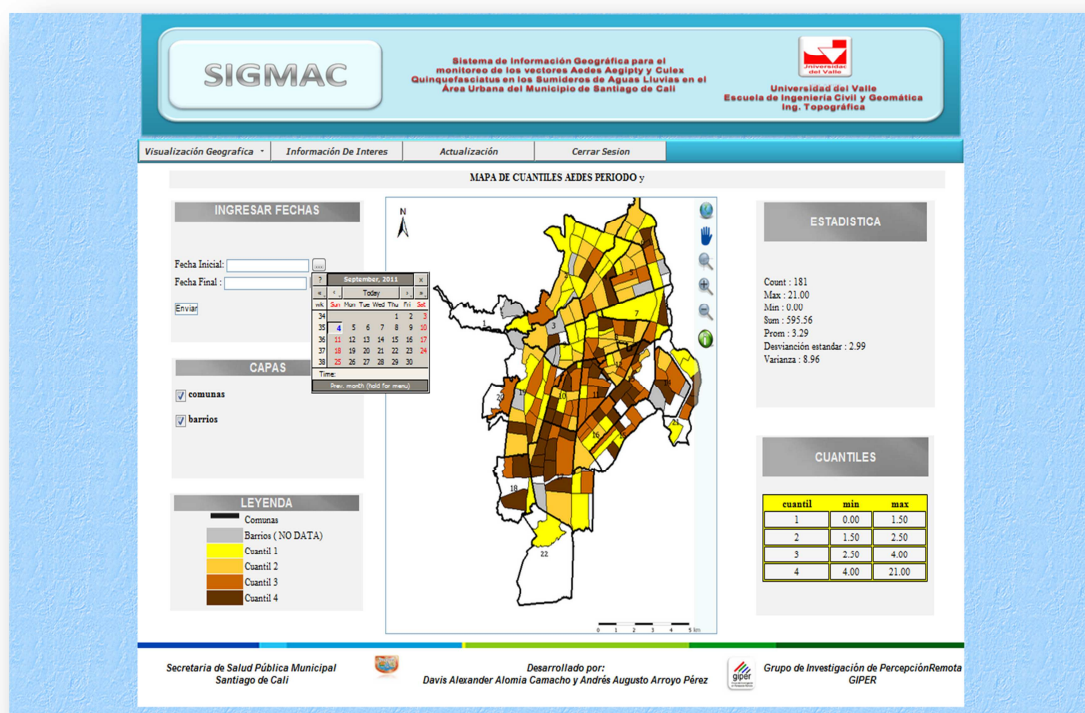


Figura 47 Representación Temática de Consultas por Fecha de Muestreo. Fuente: Elaboración propia

Los cuantiles representan una medida de posición dividiendo el conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales.

El visualizador contiene un panel de herramientas para un funcionamiento dinámico. Estas herramientas son las siguientes:

1.  Zoom Extent
2.  Pan Movimiento
3.  Zoom especificando un área
4.  Zoom +
5.  Zoom -
6.  Información

Figura 48 Herramientas Panel de Control. Fuente: Elaboración Propia

El usuario podrá identificar por medio de información tabular los sectores por valores ordenados y en que cuantil se encuentran, indicando cuales fueron los valores máximos y mínimos.

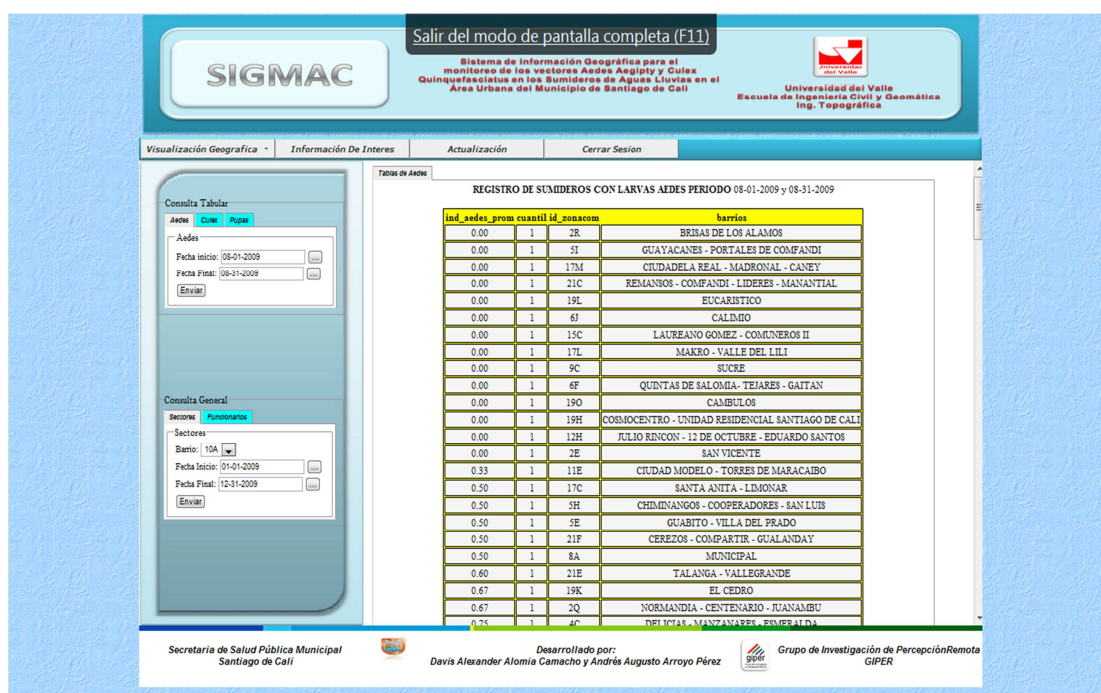


Figura 49 Información Alfanumérica de Cuantiles y Promedio de Indices de Larvacidad. Fuente: Elaboración propia

### 11.3.3 Información Técnica

Respuesta alfanumérica seleccionando el sector y el período de fechas como dominio de la consulta

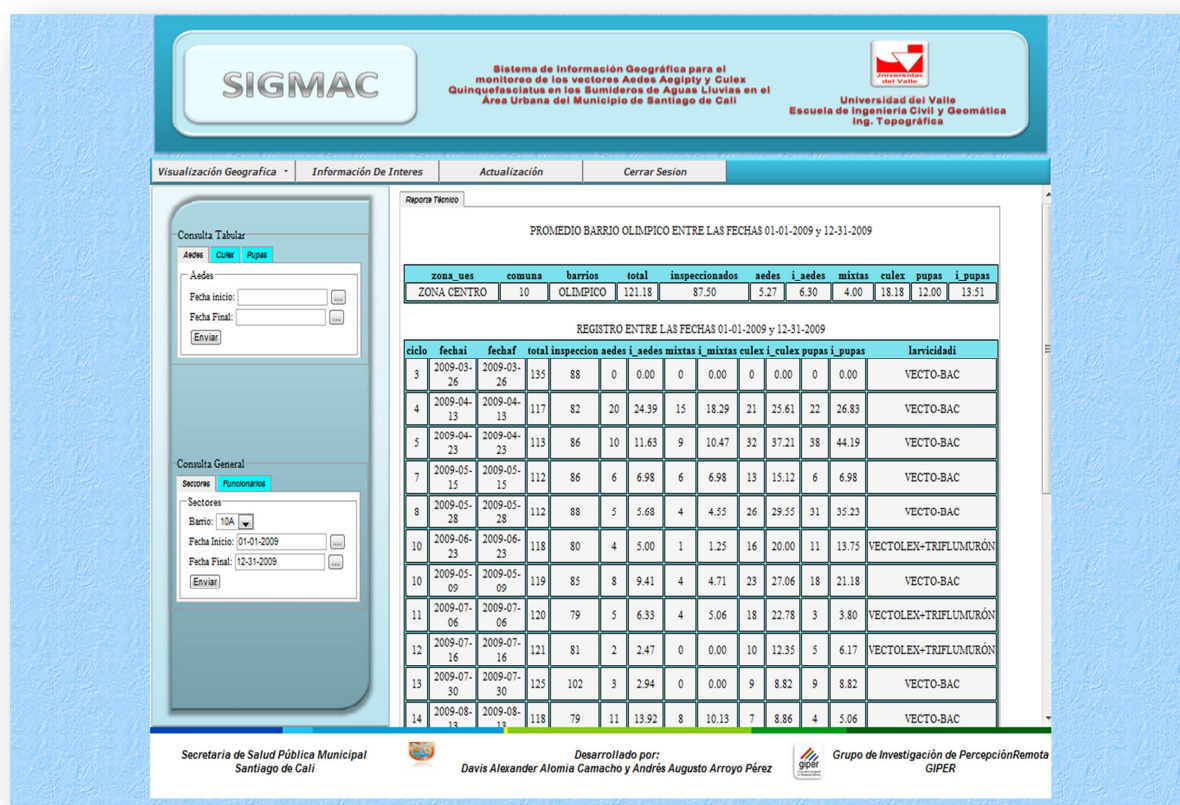


Figura 50 Representación Alfanumérica por Sectores. Fuente: Elaboración propia



### 11.3.4 Actualización del sistema

El sistema podrá actualizar seleccionando el sector donde fue tomado el ciclo entomológico (estudios de muestreo) del sistema, e ingresar los registros tomados en los sumideros por la SSPM.

The screenshot displays the SIGMAC web application interface. At the top, the header includes the SIGMAC logo, the system's purpose (monitoring Aedes and Culex vectors), and the affiliation with the University of Valle. A navigation bar contains links for 'Visualización Geográfica', 'Información De Interés', 'Actualización', and 'Cerrar Sesión'. The main content area is divided into three sections: 'CONSULTA DE CODIGO DE SECTOR', 'ACTUALIZACION DE DATOS', and a sidebar for 'Ultimos datos ingresados'. The sidebar lists various entomological data points such as 'Registro Sumidero', 'Id\_funcionario', 'Fecha de Inicio', and 'Larvicidad I'. The 'CONSULTA DE CODIGO DE SECTOR' section allows users to search for a sector by name (e.g., 'OLIMPICO') and provides details like 'Barrio: EL GUABAL' and 'Zona Ues: ZONA SUORIENTAL'. The 'ACTUALIZACION DE DATOS' section contains multiple input fields for updating specific data points, including 'Id\_directo', 'Registro', 'Cod Funcionario', 'Fecha Inicio', 'Fecha Final', 'Ciclo', and 'Larvicidad I'. Below this, there are two columns of checkboxes for 'Sumideros con Vectores' and 'Sumideros otros elementos', each with sub-entries for different vector types and inspection status. The bottom of the page features logos for the 'Secretaría de Salud Pública Municipal Santiago de Cali' and the 'Grupo de Investigación de Percepción Remota GIPER'.

Figura 51 Actualización del Sistema por Muestreo Entomológico. Fuente: Elaboración propia

## **12 CONCLUSIONES**

- 1.** La distribución espacial de los vectores Aedes y Culex en los sumideros de aguas lluvias arrojó fuertes patrones de incidencia en algunas zonas (sectores) pertenecientes a estratos 4 y 5 según la clasificación por mapas de cuantiles y clúster espacial, lo que indica que la variable “estrato” es indiferente a la hora del análisis de sectores críticos en lo que respecta a que no necesariamente los sectores de estratos más bajos (1, 2 y 3) sean precisamente los más afectados y de alto riesgo ante una desenfrenada incidencia de larvas y pupas de estos dos vectores.
- 2.** La dinámica espacio-temporal de la distribución de los vectores Aedes y Culex tanto a nivel de comunas como de sectores presentó altos niveles de agregación espacial, por lo que queda descartado el cálculo de probabilidad de un fenómeno totalmente aleatorio por un fenómeno de agrupación, denotando ciertas zonas críticas en la ciudad primordialmente sectores ubicados en las zonas norte y oriente (correspondientes a las comunas 2, 3, 4, 5, 6, 12, 13, 15, 16 y 21) y en una menor medida el sector de Siloé y sur de la ciudad.
- 3.** Se pudo observar una autocorrelación espacial positiva en ambos procesos de análisis espacial, encontrándose significativos grados de asociación espacial en los sectores críticos, que al parecer ejercían fuertemente una influencia a los valores globales de autocorrelación espacial y al comportamiento (distribución) de estos dos vectores en sentido norte-este.
- 4.** El análisis de los mapas LISA (Mapas de Clúster Espacial) permitió explorar visualmente los patrones de aglomeración formados en función a los valores de una variable que presentan las unidades de observación analizadas y las unidades vecinas. De esta forma, se pudo apreciar las comunas y sectores donde la incidencia de los vectores Aedes y Culex resultó ser bastante significativa para el año de estudio, y observar la influencia de dicha incidencia en zonas vecinas y/o adyacentes.

**5.** A través de los modelos de regresión lineal simple y ponderados geográficamente quedó explicada la contribución de las variables socioeconómicas alcantarillado, acueducto y aseo en el comportamiento de los vectores Aedes y Culex en el análisis espacial por comunas, de tal manera que se encontró una relación directa entre estas variables y los índices de larvacidad calculados para el año 2009.

**6.** Por medio de los modelos de regresión lineal simple y ponderados geográficamente quedó explicada la contribución de las variables socioeconómicas alcantarillado, acueducto, estrato y densidad bruta en la incidencia de los vectores Aedes y Culex en el análisis espacial por sectores, en los cuales se encontró una relación directa entre estas variables y los índices de larvacidad calculados para el año 2009. Aunque la variable “estrato” resultó no ser tan significativa en la generación de sectores críticos (sectores con mayor presencia de larvas y pupas aedes y culex), donde se pudo apreciar barrios de estratos altos con grandes índices de larvacidad.

**7.** Las diferencias significativas en los valores de  $R^2$  en el análisis espacial por comunas respecto al análisis espacial por sectores, radica principalmente en que en el primer análisis el porcentaje de cobertura de las variables socioeconómicas corresponde a un porcentaje global estimado para cada comuna, sin importar la estratificación social y de sus barrios que la conforman; mientras que para el análisis por sectores ya se tiene en cuenta un porcentaje específico de las variables socioeconómicas para cada barrio o sector.

**8.** El desarrollo e implementación del sistema de información geográfico para el estudio del fenómeno de distribución de los vectores Aedes y Culex resulta de gran soporte para el control y prevención del dengue en el municipio de Santiago de Cali. A su vez, constituye una herramienta muy práctica en cuanto a una mejor forma de manejar y actualizar información espacial referente al fenómeno en estudio.



## **13 RECOMENDACIONES**

- 1.** En cuanto al análisis espacial por regiones sería recomendable llevarlo a cabo con una unidad más pequeña, es decir, trabajar a nivel de manzanas de barrios, puesto que permitirá conocer con gran exactitud las zonas (manzanas) con mayor concentración y alto riesgo de larvas y pupas Aedes y Culex, dependiendo de la presencia y cantidad de sumideros que en dicha zona se encuentren.
- 2.** Sería relevante complementar este análisis espacial por comunas y sectores con un análisis puntual, donde se incluya los casos notificados de personas que hayan contraído el dengue en el año 2009, ya que permitiría caracterizar de una mejor manera la densidad de propagación de esta enfermedad endémica. También, sería importante que este análisis espacial se llevara a cabo en un período de tiempo más extenso (tres a cinco años), para así tener una mayor certeza en los resultados obtenidos y observar su evolución a lo largo de un periodo establecido.
- 3.** Contar con otras variables ya sea de tipo ambiental, social, económica, que profundicen aún más en el comportamiento y distribución de estos dos vectores, y que arrojen respuestas más precisas y confiables ante un eventual problema de salud pública.
- 4.** Sistematizar algunos procesos de entrada de variables al sistema de información, es decir desarrollar un sistema de Geocodificación libre que permita un seguimiento dinámico de manera más precisa y confiable.

## 14 BIBLIOGRAFIA

- ABELLÁN. (2000).** *Métodos de Estadística Espacial*. Valencia, España.
- AGUIRRE BURGOS, J. P. (2004).** *Análisis Espacial de la Intensidad de las Enfermedades Infectocontagiosas en Guayaquil*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Instituto de Ciencias Matemáticas. Guayaquil, Ecuador: Publicación Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL).
- ANSELIN. (1988).** *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Londres, Reino Unido.
- ANSELIN. (1998).** Exploratory spatial data analysis in a geocomputational environment. *Actas de la Conferencia de GeoComputacion 1998*, (págs. 17-19). Bristol, Ucrania.
- ANSELIN. (2001).** *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Londres, Reino Unido: Handcover.
- ANSELIN L. (1992).** *Space Stat tutorial. A workbook for using Space Stat in the analysis of spatial data*. Technical Report S-92-1, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara-California- EE.UU.
- ANSELIN, et al, 1995. (s.f.).** Local Indicators of Spatial Association-LISA: The analysis of spatial association by use of distances statistics. *Geographical Analysis*, 27 y 24, 93-115; 189-206.
- ANSELIN, et al, 1997. (s.f.).** Exploratory Data Spacial Analysis. (E. Getis, Ed.) *Recent developments in spatial analysis*, 35-59.
- ANSELIN, L. (1999).** *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Londres, Reino Unido: Kluwer Academic Publishers.
- ARBIA. (1989).** *El AEDE como fase previa a la Econometría Espacial*. Valencia, España.
- BREWER M, et al, 1986. (s.f.).** Culex pipiens quinquefasciatus y Culex pipiens pipiens. *Revista Per Entomológica*, 29, 69-72.
- CASTILLO. (24 de agosto de 1996).** En Colombia, el dengue ha matado más personas que la gripa A1N1. *El Espacio*.
- CHASCO, Y. (2003).** *Métodos Gráficos del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales*. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.

- DE LA MORA COVARRUBIAS, A. (2007).** Distribución Geoespacial del Mosquito Culex Quinquefasciatus (Diptera: Culicidae) Principal Vector del Virus del Oeste del Nilo, en la Zona Urbana de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición*, 8(2), 14-27.
- GATRELL, B. Y. (1998).** *Métodos de Estadística Espacial*. Recuperado el 18 de octubre de 2010, de [www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/7703/talm.pdf?sequence=1](http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/7703/talm.pdf?sequence=1)
- GONZALEZ R., et al, 2007. (s.f.).** Experiencia de un análisis entomológico de criaderos de Aedes Aegypti y Culex Quinquefasciatus en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 148-156.
- GONZALEZ R., et al, 2007,** quien cita a Focks, 1981. (s.f.). Experiencia de un Análisis Entomológico de criaderos de Aedes aegypti y Culex quinquefasciatus en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 148-156.
- GONZALEZ R., et al, 2007,** quien cita a Focks, 1981. (s.f.). Experiencia de un Análisis Entomológico de criaderos de Aedes aegypti y Culex quinquefasciatus en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 148-156.
- GONZALEZ R., et al, 2007,** quien cita a Geery y Holub, 1989. (s.f.). Experiencia de un Análisis Entomológico de criaderos de Aedes aegypti y Culex quinquefasciatus en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 148-156.
- GONZALEZ R., et al, 2007,** quien cita a Nelson, 1986. (s.f.). Experiencia de un Análisis Entomológico de criaderos de Aedes aegypti y Culex quinquefasciatus en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 148-156.
- GONZALEZ R., et al, 2007,** quien cita a Sivigila, 2004. (s.f.). Experiencia de un Análisis Entomológico de criaderos de Aedes Aegypti y Culex Quinquefasciatus en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 148-156.
- GONZALEZ R., et al, 2007,** quien cita Camacho, 1991. (s.f.). Experiencia de Un Análisis Entomológico de criaderos de Aedes aegypti y Culex quinquefasciatus en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 148-156.
- GONZALEZ R., et al,** quien cita a OPS, 1995. (s.f.). Experiencia de un Análisis Entomológico de criaderos de Aedes aegypti y Culex quinquefasciatus en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), 148-156.

- GOODCHILD, M. (1987).** A spatial analytical perspective on geographical information system. *International Journal of Geographical Information System*, 1, 327-334.
- HAINING. (2001).** *Metodología utilizada en el Análisis Espacial*. Recuperado el 2 de Marzo de 2011, de <http://132.248.35.1/bibliovirtual/Tesis/Gongora/Cap2.pdf>
- HAINING, et al, 2000. (s.f.).** Providing scientific visualization for spatial data analysis: Criteria and an assessment of SAGE. *Journal of Geographical Systems*, 2, 121-140.
- LEE, et al, 2001. (s.f.).** *Parámetros de Autocorrelación Espacial*. Boston, EE.UU.: Academic Publishers.
- LEGALLO. (2003).** *Metodología utilizada en el Análisis Espacial*. Valencia, España.
- LONDOÑO J., 2008,** quien cita a Castillo, 1996. (s.f.). *Zonificación del Riesgo de Malaria con base en la Influencia de Variables Socio-Ambientales: Caso de Estudio Municipio de Buenaventura (Valle del Cauca - Colombia)*. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- LONDOÑO, 2008,** quien cita a Craig, 1999. (s.f.). *Zonificación del Riesgo de Malaria con base en la Influencia de Variables Socio-Ambientales: Caso de estudio Municipio de Buenaventura (Valle del Cauca - Colombia)*. Tesis de Pregrado., Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ing. Civil y Geomática, Programa Académico Ing. Topográfica, Cali, Colombia.
- LONDOÑO, J. E. (2008).** *Zonificación del Riesgo de Malaria con base en la Influencia de Variables Socio-ambientales: Caso de Estudio Municipio de Buenaventura (Valle del Cauca-Colombia)*. Tesis de pregrado, Universidad del Valle, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ing. Civil y Geomática, Programa Académico Ing. Topográfica, Cali, Colombia.
- LOPEZ-ABENTE, G. (2006).** *Aplicación de técnicas de análisis espacial a la Mortalidad por Cáncer en Madrid*. Documentos Técnicos de Salud Pública, Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, Consejería de Sanidad, Dirección General de Salud Pública, Madrid, España.
- MIN. PROTECCIÓN SOCIAL, 2000. (S.F.).** *Guía de Atención Clínica del Dengue*. Dirección General de Salud Pública, Subdirección de Vigilancia y Control en Salud Pública, Boletín Epidemiológico No. 02, Bogotá, Colombia.

- MIN. PROTECCIÓN SOCIAL, 2000**, quien cita a Gubler D., et al, 1995. (s.f.). *Guía de Atención Clínica del Dengue*. Dirección General de Salud Pública, Subdirección de Vigilancia y Control en Salud Pública, Bogotá, Colombia.
- MIN. PROTECCION SOCIAL, 2000**, quien cita a OMS, 2002. (s.f.). *Guía de Atención Clínica del Dengue*. Dirección General de Salud Pública, Subdirección de Vigilancia y Control en Salud Pública, Boletín Epidemiológico No. 02, Bogotá, Colombia.
- MORENO R., et al, 2000. (s.f.)**. *Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: la econometría espacial*. Barcelona, España: Edicions Universitat de Barcelona, coleccio USB 44, manuals.
- NIÑO, L. (2008)**. Uso de la función semivariograma y estimación Kriging en el análisis espacial de un indicador entomológico de *Aedes Aegypti* (Diptera: Culicidae). *Revista Biomédica*, 28, 578-586.
- OLIVER. (1994)**. *Kriging the local risk of a rare disease from a register of diagnoses*. *Geographical analysis*. San Francisco, EE.UU.
- RIVAS F., et al, 1997. (s.f.)**. *Epidemic Venezuelan equine encephalitis in La Guajira, Colombia (1995)*. La Guajira, Colombia.
- SARMIENTO M., et al, 1999. (s.f.)**. Evaluación del Impacto de la Contaminación del Embalse del Muña sobre la salud humana. *Revista de Salud Pública*, 1, 159-171.
- SAURINA, S. (2006)**. *Estadística y Epidemiología Espacial*. Girona.
- SSPM. (2005)**. *Estudios de Presencia de Larvas Aedes Aegypti en la ciudad de Cali*. Cali, Colombia.
- SSPM. (2006)**. *Foro Municipal sobre Factores de Riesgo del Comportamiento asociados a las Enfermedades Crónicas no Transmisibles*. Santiago de Cali, 28 y 29 de septiembre de 2006.
- SSPM. (24 de Agosto de 2010)**. Diario el Espacio. *Reportaje Especial: "En Colombia, el Dengue ha matado más personas que la gripa A1N1"*, pág. 15.
- SSPM. (24 de Agosto de 2010)**. En Colombia, el dengue ha matado mas personas que la gripa A1N1. *Diario El Espacio*, pág. 15.
- THIRION, J. (2003)**. *El mosquito aedes aegypti y el dengue en México*. Bayer Enviromental Science, Departamento de Biología, Ciudad de México.
- THOMAS. (1990)**. *Epidemiología Espacial*. Londres, Inglaterra. Vol 2, pags 130-150

- TUKEY. (1977).** *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley. Vol 3, pags 100-120
- WARTENBERG, E. (2004).** *Métodos de Estadística Espacial*. Vol 1, pags 160-180
- WISE, et al, 1999. (s.f.).** *Scientific visualization and the exploratory analysis of area based data*.  
Environment and Planning A.

