



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: “MODELAMIENTO DEL RIESGO EPIDEMIOLÓGICO POR  
*BRUCELLA SP.* MEDIANTE EL MODELO AUTÓMATA CELULAR EN  
LA ZONA URBANA CENTRAL DE SANGOLQUÍ”**

**AUTORES: ROMÁN SALGUERO, ALEJANDRA BELÉN  
TOCTAGUANO IZA, DANIEL SEBASTIÁN**

**DIRECTORA: MSC. FERNÁNDEZ QUINTANA, MIRIAN DEL  
CARMEN**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

### CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

#### CERTIFICADO

Certifico que el trabajo de titulación, “Modelamiento del Riesgo Epidemiológico por *Brucella sp.* mediante el Modelo Automata Celular en la zona urbana central de Sangolquí” fue realizado por los señores ROMÁN SALGUERO ALEJANDRA BELÉN y TOCTAGUANO IZA DANIEL SEBASTIÁN, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditarlos y autorizarlos para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 06 de marzo de 2018

---

MSc. Mirian del Carmen Fernández Quintana

DIRECTORA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Román Salguero, Alejandra Belén y Toctaguano Iza, Daniel Sebastián declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “Modelamiento del Riesgo Epidemiológico por *Brucella sp.* mediante el Modelo Autómata Celular en la zona urbana central de Sangolquí” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 06 de marzo de 2018

A handwritten signature in blue ink, reading 'Alejandra B. Román Salguero', is positioned above a horizontal line.

Alejandra Belén Román Salguero

A handwritten signature in blue ink, reading 'Daniel Sebastián Toctaguano Iza', is positioned above a horizontal line.

Daniel Sebastián Toctaguano Iza



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, Román Salguero, Alejandra Belén y Toctaguano Iza, Daniel Sebastián autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “Modelamiento del Riesgo Epidemiológico por *Brucella sp.* mediante el Modelo Autómata Celular en la zona urbana central de Sangolquí” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 06 de marzo de 2018

Alejandra Belén Román Salguero

Daniel Sebastián Toctaguano Iza

## DEDICATORIA

*Este trabajo lo dedico a la mujer que me llevó en su vientre 9 meses, que me vio crecer, aquella que me dio fuerzas para seguir y llegar hasta aquí, la cima del Everest como ella lo llama, mi mejor amiga Ligia, mi madre. Me demostró que no hace falta tener una figura paterna a su lado para seguir adelante, la constancia y dedicación a sus hijas la convierte en mi heroína, desde niña susurró a mi oído ‘‘Si se puede’’ y hoy lo compruebo. Gracias madre por existir, mi esfuerzo, tristezas y alegrías vividas en este recorrido universitario, para Ud.*

*No puedo olvidar al motor de mi vida diaria, los animales, todos en especial aquellos mal llamados de ‘‘consumo’’: vacas, cerdos, gallinas, entre otros, que me han motivado sobre todo en los momentos más difíciles de mi carrera, ya que lo experimentado no se compara en lo mínimo con su sufrimiento; para todo aquel que en este momento está encerrado en una jaula, maltratado y/o asesinado, este logro es para ustedes, su liberación está cerca.*

*La primera en la lista del motor de mi vida, Pulguita, acompañante de mis días y en especial de aquellas madrugadas en las que en silencio me demostraba su verdadera amistad, tu rostro llena mi corazón y tu mirada es mi fortaleza, nunca nos dejaremos y por ti y los que están abandonados en las calles, va este arduo trabajo, amiga de vida, mi perrita.*

***Alejandra Belén Román Salguero***

*Este trabajo se lo dedico a mis padres Rosa Iza y Héctor Toctaguano por todo el esfuerzo que hicieron durante mi vida universitaria apoyándome incondicionalmente moralmente y económicamente.*

*A mis hermanos por ser un apoyo moral en el transcurso de este proceso de mi vida universitaria dándome una palabra de aliento.*

***Daniel Sebastián Toctaguano Iza***

## AGRADECIMIENTO

*La vida es una cordillera, y en ella el ser que acompañó mi existencia fue Dios, no tiene una figura o religión determinada para mí, pero si es la compañía que siento cada día y en especial en esos momentos en que he sentido caer, él ha sostenido mi espalda.*

*Mi agradecimiento al ser pequeñito de mi vida, hermana, Gabriela Román, su ser espontáneo y único que hacen que mis días sean más felices y me enseña a hallar prontas soluciones a problemas cotidianos, a pesar de no estar a mi lado, eres mi aliento de vida. A mi padre, por la motivación brindada y por sus oraciones, este camino fue más llevadero con su existencia.*

*A Alex Chiriboga, compañero de vida, el ser que amo, aquel con el que comparto mis vivencias y que con sus consejos sabe llegar a mí cambiando mi modo de ver las cosas, este logro no hubiera sido posible sin tu presencia a mi lado, mi molde perfecto, tu.*

*Johan Romero, casi al llegar a la cima, tu existencia cambió las cosas, en momentos difíciles fuiste un apoyo, y sin conocerme a cabalidad me brindaste un abrazo sincero, gracias por ser esa luz que necesitaba en este duro andar.*

*A mi amiga, MSc. Mirian Fernández, por los buenos y malos momentos juntas hacia una lucha diaria por la justicia de los seres más vulnerables, los animales, por ello la llevo en mí y su amistad perdurará hasta mis últimos días.*

*Agradezco al Ing. Alexander Robayo, al Dr. Alfonso Tierra y a todos mis maestros por la enseñanza y paciencia brindadas conjuntamente con la señora Gracita Larrea.*

*Al Dr. Marco Cando y Dr. Francisco Torres (GADMUR) por la apertura al proyecto, a mi amigo Dr. Oswaldo Vaca (CANINOS WORLD) por su aporte a la investigación, al Dr. Óscar Criollo, a mis 15 compañeros de Auxiliar de Veterinaria promoción febrero-septiembre 2017 (INSTITUTO SUPERARSE) y a los perritos interventores, sin ustedes la fase de campo y por ende este sueño no se hubiese cumplido.*

*A Christian Barahona, mi mejor amigo y a Daysi Gualichicomín, Cristian Moya, Heidi Macero, Daniel Toctaguano, Miguel Segura, Liseth Fierro, Yesenia Loya, Daysi Córdova por su amistad sincera y apoyo en situaciones académicas.*

***Alejandra Belén Román Salguero***

*A mi madre Rosa Iza por haber estado siempre apoyándome a pesar de todas las dificultades, siendo una madre incondicional todo el tiempo y a quien admiro mucho por ser una madre ejemplar para mí y mis hermanos.*

*A la MSc. Mirian Fernández por todo el conocimiento brindado en el desarrollo del proyecto, la paciencia, comprensión y por ser una persona con una calidad humana única para guiar y apoyar a los estudiantes.*

*A Heidi Mancero por haber sido una de las personas más importantes en toda la etapa universitaria, siendo incondicional en todo momento y situación.*

*A mi amiga y compañera de tesis Alejandra Román por la paciencia, comprensión y la ayuda brindada en el desarrollo del proyecto, a quien admiro por su lucha y constancia en su lucha a favor de los animales.*

*A mis amigos de la universidad que marcaron una etapa importante en este camino, especialmente a Yesenia Loya, Daysi Córdova, Gabriela Molina y Michelle Burgos.*

*Al Dr. Marco Cando y Dr. Francisco Torres (GADMUR) por la apertura al proyecto, al Dr. Óscar Criollo y 15 Auxiliares de Veterinaria promoción febrero-septiembre 2017 (Instituto “SUPERARSE”), sin ustedes la fase de campo no se hubiese realizado.*

***Daniel Sebastián Toctaguano Iza***

## ÍNDICE

|                                                     |      |
|-----------------------------------------------------|------|
| CERTIFICADO.....                                    | ii   |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....                    | iii  |
| AUTORIZACIÓN.....                                   | iv   |
| DEDICATORIA.....                                    | v    |
| AGRADECIMIENTO.....                                 | vi   |
| ÍNDICE.....                                         | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                               | xi   |
| RESUMEN.....                                        | xiii |
| ABSTRACT .....                                      | xiv  |
| CAPÍTULO I.....                                     | 1    |
| INTRODUCCIÓN.....                                   | 1    |
| 1.1. Antecedentes .....                             | 1    |
| 1.2. Definición del problema .....                  | 2    |
| 1.3. Justificación e importancia del problema ..... | 3    |
| 1.4. Descripción del área de estudio .....          | 5    |
| 1.5. Objetivos .....                                | 7    |
| 1.5.1. Objetivo general .....                       | 7    |
| 1.5.2. Objetivos específicos .....                  | 7    |
| 1.6. Metas.....                                     | 7    |
| CAPÍTULO II.....                                    | 8    |
| MARCO TEÓRICO .....                                 | 8    |
| 2.1. Brucelosis: <i>Brucella sp.</i> .....          | 8    |
| 2.1.1. Infección en caninos .....                   | 9    |
| 2.1.2. Infección en humanos.....                    | 11   |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.3. Diagnóstico.....                                               | 12 |
| 2.1.4. Procedimientos de laboratorio para brucelosis.....             | 12 |
| 2.1.5. Prueba de Huddleson para caninos.....                          | 14 |
| 2.1.6. Tratamiento.....                                               | 14 |
| 2.1.7. Prevención.....                                                | 15 |
| 2.1.8. <i>Brucella sp.</i> en el entorno.....                         | 15 |
| 2.2. Canino.....                                                      | 16 |
| 2.2.1. Categorías biológicas.....                                     | 17 |
| 2.2.2. Características morfológicas.....                              | 18 |
| 2.2.3. Etiología canina.....                                          | 18 |
| 2.2.4. Caninos callejeros y callejizados.....                         | 19 |
| 2.2.5. Bienestar animal.....                                          | 20 |
| 2.2.6. Estructura del desplazamiento.....                             | 20 |
| 2.2.7. Estado nutricional.....                                        | 20 |
| 2.2.8. Patologías caninas.....                                        | 21 |
| 2.2.9. Población y muestra.....                                       | 22 |
| 2.2.10. Estimación de la población canina.....                        | 23 |
| 2.2.11. Detección de <i>Brucella sp.</i> en caninos.....              | 24 |
| 2.3. Modelo Automata Celular.....                                     | 25 |
| 2.3.1. Modelamiento con Sistemas de Información Geográfica (SIG)..... | 27 |
| 2.3.2. Modelamiento matemático epidemiológico.....                    | 28 |
| 2.3.3. Riesgo epidemiológico.....                                     | 30 |
| CAPÍTULO III.....                                                     | 31 |
| METODOLOGÍA.....                                                      | 31 |
| 3.1. Levantamiento de información 2015.....                           | 31 |
| 3.2. Socialización del proyecto.....                                  | 35 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3. Levantamiento de información 2017 .....                                   | 35 |
| 3.4. Toma de muestras sanguíneas .....                                         | 40 |
| 3.4.1 Captura del canino .....                                                 | 40 |
| 3.4.2. Sujeción de caninos .....                                               | 42 |
| 3.4.3. Punción .....                                                           | 42 |
| 3.4.4. Manejo, identificación, almacenamiento y transporte de la muestra ..... | 43 |
| 3.4.5. Análisis de laboratorio.....                                            | 44 |
| 3.5. Modelo Autómata Celular .....                                             | 45 |
| 3.5.1. Seguimiento de individuos seropositivos .....                           | 45 |
| 3.5.2. Modelamiento espacial.....                                              | 45 |
| 3.5.3. Modelo matemático epidemiológico SIR.....                               | 47 |
| CAPÍTULO IV .....                                                              | 49 |
| RESULTADOS .....                                                               | 49 |
| 4.1. Levantamiento poblacional canino.....                                     | 49 |
| 4.2. Ruteo de vectores seropositivos por <i>Brucella sp.</i> .....             | 57 |
| 4.3. Geolocalización de factores.....                                          | 59 |
| 4.4. Aplicación del modelo Autómata Celular .....                              | 65 |
| 4.5. Modelo matemático SIR.....                                                | 67 |
| CAPÍTULO V .....                                                               | 68 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                                           | 68 |
| 5.1. Conclusiones.....                                                         | 68 |
| 5.2. Recomendaciones .....                                                     | 70 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                               | 71 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Coordenadas de los vértices de la zona de estudio</i> .....            | 5  |
| <b>Tabla 2</b> <i>Clasificación taxonómica <i>Brucella</i> sp.</i> .....                 | 8  |
| <b>Tabla 3</b> <i>Características diferenciales de especies de <i>Brucella</i></i> ..... | 9  |
| <b>Tabla 4</b> <i>Pruebas de laboratorio para <i>Brucelosis</i></i> .....                | 14 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Supervivencia de <i>Brucella</i> sp. en el medio ambiente</i> .....    | 16 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Características de cada zona</i> .....                                 | 33 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Ubicación de las rutas</i> .....                                       | 37 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Factores sociales, subsistenciales y de entorno</i> .....              | 46 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Matriz de priorización de riesgos para <i>brucelosis</i></i> .....     | 47 |
| <b>Tabla 10</b> <i>Distribución zonal de caninos</i> .....                               | 50 |
| <b>Tabla 11</b> <i>Estado sanitario canino</i> .....                                     | 52 |
| <b>Tabla 12</b> <i>Distribución de caninos por rutas</i> .....                           | 53 |
| <b>Tabla 13</b> <i>Estado sanitario canino</i> .....                                     | 56 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1</i> Mapa de ubicación de la zona de estudio.....           | 6  |
| <i>Figura 2</i> Espacio AC .....                                       | 26 |
| <i>Figura 3</i> Distribución de zonas en el área de estudio .....      | 32 |
| <i>Figura 4</i> Desplazamiento del observador .....                    | 34 |
| <i>Figura 5</i> Levantamiento de la ficha .....                        | 34 |
| <i>Figura 6</i> División del área de estudio por rutas .....           | 36 |
| <i>Figura 7</i> Desplazamiento del observador .....                    | 38 |
| <i>Figura 8</i> Provisión de alimento .....                            | 38 |
| <i>Figura 9</i> Distribución densidad poblacional.....                 | 40 |
| <i>Figura 10</i> Métodos de captura canina.....                        | 41 |
| <i>Figura 11</i> Sujeción canina .....                                 | 42 |
| <i>Figura 12</i> Toma de muestra sanguínea.....                        | 43 |
| <i>Figura 13</i> Identificación y almacenamiento de la muestra.....    | 44 |
| <i>Figura 14</i> Clasificación de tenencia canina .....                | 49 |
| <i>Figura 15</i> Distribución poblacional canina 2015 .....            | 51 |
| <i>Figura 16</i> Clasificación de tenencia canina .....                | 52 |
| <i>Figura 17</i> Densidad poblacional canina 2017 .....                | 54 |
| <i>Figura 18</i> Categorías caninas .....                              | 55 |
| <i>Figura 19</i> Comportamiento canino.....                            | 55 |
| <i>Figura 20</i> Signos de Brucelosis en machos .....                  | 56 |
| <i>Figura 21</i> Signos de Brucelosis en hembras.....                  | 57 |
| <i>Figura 22</i> Puntos y ruta de seguimiento al canino infectado..... | 58 |
| <i>Figura 23</i> Factores sociales .....                               | 60 |
| <i>Figura 24</i> Factores subsistenciales .....                        | 62 |
| <i>Figura 25</i> Factores de entorno .....                             | 64 |
| <i>Figura 26</i> Riesgo epidemiológico de Brucelosis.....              | 66 |
| <i>Figura 27</i> Modelo SIR para Brucelosis .....                      | 67 |

## RESUMEN

En Ecuador, se realizaron investigaciones de Brucelosis con resultados seropositivos en caninos de Quito y Loja. En el centro urbano de Sangolquí se desconoce la existencia de individuos infectados debido a la falta de información sanitaria que está interrelacionada con el riesgo epidemiológico y ubicación geoespacial de zonas susceptibles a la enfermedad. El objetivo de esta investigación es modelar el riesgo epidemiológico por *Brucella sp.* en caninos para la jerarquización de la prevalencia zoonótica mediante el modelo Autómata Celular (AC), contribuyendo a las autoridades competentes para el control de caninos como vectores potenciales de enfermedades. El estudio se realizó en el centro urbano de Sangolquí considerando la metodología de la WSPA, se registró información canina: características fisiológicas y estado sanitario mediante la observación in situ y ficha de datos. El levantamiento fue mediante un barrido del área por rutas, ubicando a los caninos con tecnología GPS y posteriormente con una muestra al 90% de confiabilidad a 55 de ellos para la toma de pruebas sanguíneas y la aplicación del método de laboratorio Huddleson. Se obtuvo 133 caninos, 2 seropositivos y con el seguimiento a uno de ellos ya que el otro tenía dueño se reconocieron los factores sociales, subsistenciales y de entorno para aplicar el modelo AC, con lo que los sitios de mayor problemática fueron el mercado abierto de Sangolquí y el monumento a Rumiñahui, relacionados a la trayectoria del canino infectado y a su interacción con el humano, otros caninos y el entorno.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **RIESGO EPIDEMIOLÓGICO**
- **UBICACIÓN GEOESPACIAL**
- ***BRUCELLA SP.***
- **SEROPOSITIVOS**
- **AUTÓMATA CELULAR**
- **SALUD PÚBLICA**
- **WSPA**

## ABSTRACT

In Ecuador, research about brucellosis have been conducted with seropositive results in canines from the cities of Quito (Sangolquí) and Loja. In the urban center of Sangolquí the existence of infected individuals has been unknown due to the lack of health information that is interrelated with the epidemiological hazard and geospatial location of areas being susceptible to the disease. The objective of the current study has been to model the epidemiological hazard by *Brucella sp.* in dogs for the hierarchy of zoonotic prevalence using the Cellular Autonomous (CA) model, contributing to the corresponding authorities for the control of canines as potential vectors of diseases. The study has been conducted in the urban center of Sangolquí considering the methodology of the WSPA. The canine information has been recorded with physiological characteristics and health status through in situ observation and data sheet. The survey has been performed by sweeping the area by routes, locating the canines with GPS technology and subsequently with a sample at 90% reliability to 55 of them for taking blood tests and applying the Huddleson laboratory method. We obtained 133 canines, 2 seropositive and with the follow-up to one of them. The other owner had the social, subsistence and environmental factors to apply the AC model, with which the most problematic sites have been the open market of Sangolquí and Rumiñahui's monument, being related to the trajectory of the infected canine and its interaction with humans, other canines and the environment.

### KEYWORDS:

- **EPIDEMIOLOGICAL HAZARD**
- **GEOSPATIAL LOCATION**
- ***BRUCELLA SP.***
- **SEROPOSITIVES**
- **CELLULAR AUTOMATA**
- **PUBLIC HEALTH**
- **WSPA**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

La Brucelosis es generada por varias especies de *Brucella*, imponiéndose como una enfermedad distribuida a nivel mundial. En los caninos la especie corresponde a *Brucella canis* y fue descrita por primera vez en 1966 en New Jersey (EE.UU) por un brote de aborto en perro Beagle, desde allí la bacteria ha sido registrada en China, España, Japón y Alemania, siendo frecuente en países como América Central y del Sur (Carmichael, 1996). En Chile este tipo de *Brucella* fue notificada por primera vez en 1978 en la Región Metropolitana y Valdivia, en esta zona se determinó un 13.5% de perros seropositivos de 9 criaderos tomados en la región Metropolitana, valor que alcanzó un 40% en dos de los 9 analizados (Sánchez & Borie, 2000).

Según un estudio de seroprevalencia y factores de riesgo realizados en once comunas de Medellín-Colombia, el análisis de 441 muestras arrojó un 2,76% de prevalencia en brucelosis, siendo mayor en los barrios de Buenos Aires con 6,9% y Villa Hermosa con 5,7%. La seroprevalencia aumentó a 7,5% cuando el hogar era compartido con otros animales, así como a 6,7% y 7,7% cuando eran hogares sin agua potable y sin un suministro fijo de agua o alcantarillado (Agudelo, Castro, Rojo, & Henao, 2012).

En la ciudad de Quito y Loja se realizó una investigación acerca de la Brucelosis en caninos, se tomó una muestra a un animal en Quito y el resultado fue positivo para *B. canis*, de igual forma otra muestra tomada en Loja arrojó un resultado seropositivo para Brucelosis. Los dos únicos casos tomados demuestran que los caninos muestreados son vectores de la enfermedad, aumentando el riesgo en la frontera por la posible entrada de animales infectados al Perú (Luna, 2015).

En la investigación realizada sobre el manejo reproductivo y presencia de *Brucella canis* en dos centros de crianza caninos de la raza Mastín Napolitano para animales mayores a 2 meses de Quito y Lasso con una muestra de 15 y 25 caninos respectivamente, se determinó alteraciones hematológicas y falta de control de Brucelosis por parte de las autoridades sanitarias.

A pesar de no haberse encontrado casos de seropositividad en *B. canis* no se maneja de forma adecuada la prevención de la entrada de la bacteria a dichos criaderos (López, 2015).

El primer caso de Brucelosis humana se reportó en un paciente de 44 años en Cuaspud, comunidad rural del cantón Huaca provincia del Carchi, mismo que laboró como ganadero los últimos 3 años participando activamente en la atención primaria de salud veterinaria con las mínimas precauciones higiénicas, en especial en asistencia de partos, retención de placenta e inseminación artificial. Mediante un ensayo de aglutinación de Brucelosis se mostró un título positivo para *Brucella sp.* con lo que empezó a padecer lumbalgia, edema testicular y astenia generalizada. Con el diagnóstico de orquitis (inflamación de uno o ambos testículos) unilateral general, dolores lumbosacra y astenia general, se le aplicó el régimen de tratamiento recomendado por la OMS (Ron, y otros, 2012).

En Ecuador a partir del año 2007 la Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica emprendió un Programa de Vigilancia Epidemiológica (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2012), en la que se establece una investigación continua para la acción y reacción inmediata del control de la enfermedad mediante el análisis de indicadores de resultados e impacto de la situación epidemiológica y de sus determinantes de riesgo social, ecológico y biológico (MSP, 2016). Además el Instituto de Investigación para la Salud Pública (INSPI) muestra en 2016, 232 casos de Brucelosis los cuales están distribuidos en todo el Ecuador, tomando en cuenta que dicha información fue registrada únicamente a través de un muestreo en lugares con mayor incidencia de esta enfermedad como camales o espacios ganaderos (INSPI, 2016).

## **1.2. Definición del problema**

Según organismos internacionales la Brucelosis se considera como una de las enfermedades zoonóticas presentes en todo el mundo, en Latinoamérica en países como México y Perú existe una prevalencia muy alta a diferencia de Uruguay con una muy baja (Gil, y otros, 2009).

En Ecuador de acuerdo a las gacetas publicadas por la Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica del Ministerio de Salud Pública se han presentado casos de la enfermedad en humanos confirmados en laboratorio (Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica, 2016).

En animales las prevalencias registradas fueron: en Pichincha 15,89% de 151 animales analizados (Rojas, 2015), Pastaza 3,4% y por animal 1,04% (Jaramillo & Yépez, 2013) y Manabí 14,7% en caninos en las zonas cercanas a los mataderos (Pacheco & Tepú, 2013).

Mediante una reunión realizada el día 9 de enero de 2017 con el responsable de fauna urbana de la Dirección de Producción y Comercialización Dr. Francisco Torres, el problema identificado en la parroquia Sangolquí (cantón Rumiñahui) es la falta de información referente a herramientas de análisis para la prevención y control de enfermedades zoonóticas, en este caso Brucelosis.

No se cuenta con datos estadísticos y geoinformación sobre la enfermedad como: información sanitaria del canino, zonas georeferenciadas del riesgo epidemiológico y dispersión de la misma.

La carencia de datos hace imposible el modelamiento geoespacial para identificar zonas de riesgo y su interrelación con su entorno, así como la prevención y control de manera efectiva de la enfermedad por parte de las autoridades hacia la vulnerabilidad de las poblaciones humanas.

Además, la falta de información de animales infectados con *Brucella sp.* genera la asignación de presupuesto innecesario por parte del Municipio en medidas de control a animales que se asumen en óptimas condiciones, cuando pueden existir individuos infectados que aumenten el riesgo de contagio a animales sanos y al humano.

La aplicación de herramientas geoespaciales ayuda a manejar datos georeferenciados para conocer parámetros poblacionales caninos que reducirán el riesgo epidemiológico por Brucelosis, entre ellos: animales contagiados, distribución, desplazamiento, entre otros.

### **1.3. Justificación e importancia del problema**

La Brucelosis es una enfermedad zoonótica transmitida por los caninos hacia el humano, la gravedad de esta se destaca por su prevalencia al ser las principales fuentes de contagio: los fluidos vaginales de hembras infectadas y la orina de los machos al contacto con el humano (Gil, y otros, 2009).

El aporte del proyecto es fundamental a la sociedad, ya que brindará información acerca de localización, características morfométricas, sanidad de animales callejeros y como estos afectan a personas inmunodeficientes, niños, mujeres embarazadas que se encuentran en sitios de afluencia masiva (como mercados, plazas, escuelas, iglesias, etc.), sin olvidar el contagio entre animales.

La investigación del tema propone la jerarquización de zonas de riesgo donde existe una constante interacción entre animales y humano, ya que no se cuenta con información acerca de factores sociales, subsistenciales y de entorno para el análisis del riesgo epidemiológico por Brucelosis en caninos.

Se considerará una fase de campo y el procesamiento de datos. En la fase de campo se establecerán huéspedes seropositivos y su trayectoria mediante el levantamiento de información morfométrica, sanitaria y toma de muestras sanguíneas. El procesamiento de datos permitirá jerarquizar zonas de riesgo epidemiológico aplicando el modelo Autómata Celular y un Sistema de Información Geográfica (SIG), proceso que podrá replicarse en otros escenarios físicos y con otros huéspedes.

El Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, establece que los municipios son los encargados del control de fauna urbana, con lo que la información brindada por esta investigación le permitirá al GADMUR, planificar de manera eficiente la prevención de la enfermedad hacia la población; invirtiendo en campañas de esterilización, vacunación, desparasitación en animales sanos y descanización a individuos infectados, evitando el crecimiento de la prevalencia de la enfermedad en el cantón.

Las relaciones interinstitucionales y académicas que enmarcan esta iniciativa de investigación son favorables, ya que se contará con la colaboración del Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui a través de la Dirección de Comercialización y Producción, el Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y el Instituto de Investigación e Innovación “SUPERARSE”.

#### 1.4. Descripción del área de estudio

Sangolquí pertenece a la zona urbana del cantón Rumiñahui, posee 75 080 habitantes (INEC, 2010). Tiene una temperatura media anual de 15,45 (C°) y una precipitación media anual de 1000 mm. Sus ecosistemas característicos son matorral húmedo montano con una altitud entre 2415 y 2512 msnm (GADMUR, 2014).

Las coordenadas del área de estudio, se encuentran en el Sistema de referencia WGS84 y proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) zona 17 SUR, mismas que son:

**Tabla 1**

*Coordenadas de los vértices de la zona de estudio*

| Vértices | Coordenadas |         | Calle referencial |
|----------|-------------|---------|-------------------|
|          | E           | N       |                   |
| 1        | 783457      | 9964308 | 43                |
| 2        | 784870      | 9964308 | Mercado           |
| 3        | 784870      | 9962995 | Abdón Calderón    |
| 4        | 783457      | 9962995 | Tungurahua        |

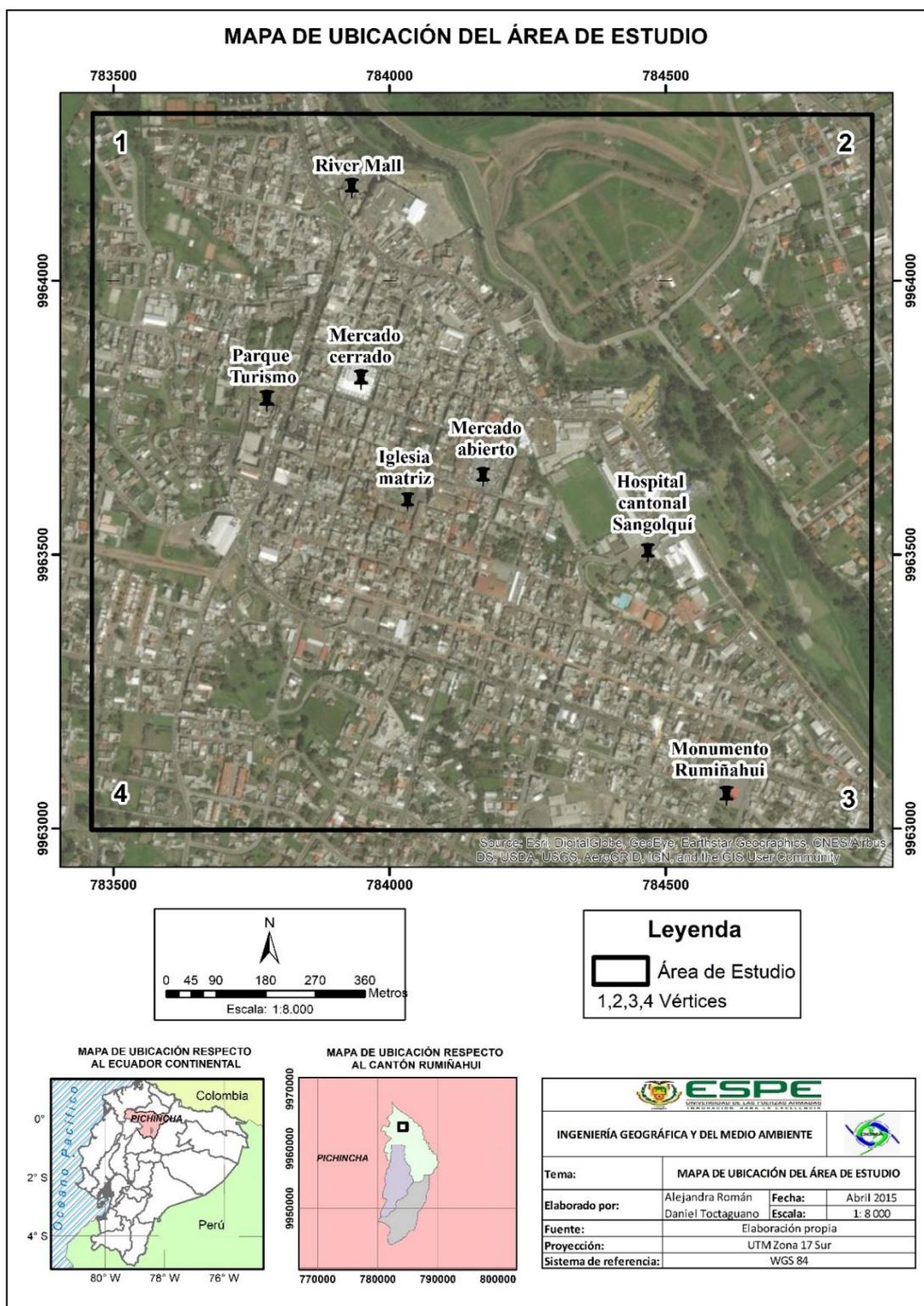
El área de estudio fue de 1,8 km<sup>2</sup> aproximadamente con 2 457 habitantes, se ubica en la zona urbana central de Sangolquí, donde se encuentran sitios comerciales y de afluencia masiva de personas como mercados, plaza central con iglesia, parques, entre otros.

Los principales lugares son: Centro comercial River Mall, Parque Turismo, Mercado cerrado, Mercado abierto (Plaza César Chiriboga), Iglesia matriz, Hospital cantonal Sangolquí, Monumento Rumiñahui (ver figura 1).

De acuerdo al en Sangolquí 22 060 hombres y 17 027 mujeres trabajan, concentrándose la mayoría en la zona comercial con ventas al por mayor y menor, industrias manufactureras, construcción, enseñanza y administración pública y defensa (INEC, 2010).

El 21, 19% de la población representan niños entre 0 y 11 años, el 10,87% adolescentes entre 12 y 17 años, un 20,13% jóvenes entre los 18 y 28 años, la mayor tasa con 41,15% adultos entre 29 y 64 años y el 6,66% de adultos mayores de 65 años en adelante (INEC, 2010).

El nivel de pobreza por NBI en Sangolquí se muestra con un 29,2%, las viviendas que no tienen acceso a distintos recursos, información e internet se identifican como “mediaguas”, el 4,40% cuenta con dicha denominación en la parroquia (INEC, 2010).



**Figura 1** Mapa de ubicación de la zona de estudio

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Zonificar el riesgo epidemiológico por *Brucella sp.* en la zona central de Sangolquí, mediante modelo Autómata Celular para la dotación de información a entes relacionados con la salud pública.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento poblacional canino para la obtención de localización, características morfométricas y sanitarias mediante un muestreo aleatorio.
- Establecer líneas de ruteo de los vectores seropositivos por *Brucella sp.* mediante GPS para la dispersión de los individuos.
- Geolocalizar los factores sociales, subsistenciales y de entorno para determinar la interacción entre animales y el humano a través de GPS y listas de chequeo.
- Aplicar el modelo Autómata Celular mediante los factores sociales, subsistenciales y de entorno para determinar geográficamente los lugares de riesgo epidemiológico.

## 1.6. Metas

- Geodatabase con datos informativos del canino.
- Geodatabase de individuos seropositivos con *Brucella sp.* con su línea de dispersión.
- Base de datos de los factores interventores.
- Modelo Autómata Celular del riesgo epidemiológico.
- Mapa temático de lugares de mayor riesgo epidemiológico identificados.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Brucelosis: *Brucella sp.*

Es una enfermedad bacteriana zoonótica transmisible al humano causada por diversas especies de bacteria, el canino puede adquirir *Brucella suis*, *Brucella melitensis* y *Brucella abortus* permaneciendo en él sin contagio a otros caninos, pero al infectarse con *Brucella canis* se transmite a otros (Carmichael L. , 1981).

La clasificación taxonómica se detalla a continuación:

**Tabla 2**

*Clasificación taxonómica Brucella canis*

| <b>Dominio</b> | <b>Bacteria</b>     |
|----------------|---------------------|
| <b>Filo</b>    | Proteobacteria      |
| <b>Clase</b>   | Proteobacteria alfa |
| <b>Orden</b>   | Rhizobiales         |
| <b>Familia</b> | Brucellaceae        |
| <b>Género</b>  | Brucella            |

Fuente: (Halling, 2009)

La *Brucella canis*, es un cocobacilo Gramnegativo (teñido azul o violeta por la tinción del Gram) pequeño que posee propiedades bioquímicas similares a las de *B. Suis* (bacteria del cerdo) presentes en el huésped natural en el canino. La *B. canis* crece en presencia negativa (-) de CO<sub>2</sub>, producción negativa (-) de H<sub>2</sub>S e hidrólisis de úrea positivas (++++), posee antígenos somáticos como las otras especies de *Brucella* sin embargo la naturaleza mucoide (rugosa) confiere a la pared celular del *B. canis* propiedades antigénicas diferentes de cepas lisas de otras *Brucella* (Carmichael L. , 1981).

Las características diferenciales de algunas especies de *Brucella* comparado con la *B. canis* se presentan a continuación (tabla 3), especificando la capacidad de crecer o ser inhibidas en cantidades variables de fucsina básica y/o tionina:

**Tabla 3**  
*Características diferenciales de especies de Brucella*  
**Crecimiento en medios**

| Especie                    | Tionina  |            |            | Fucsina básica |            | Lisis por el fago |       |
|----------------------------|----------|------------|------------|----------------|------------|-------------------|-------|
|                            | <i>a</i> | <i>B</i>   | <i>c</i>   | <i>B</i>       | <i>c</i>   | DRP 10 000        | X DRP |
| <i>Brucella melitensis</i> | -        | +          | +          | +              | +          | -                 | -     |
| <i>Brucella abortus</i>    | -        | - <i>d</i> | - <i>d</i> | +              | +          | +                 | +     |
| <i>Brucella suis</i>       | +        | +          | +          | - <i>d</i>     | - <i>d</i> | -                 | +     |
| <i>Brucella neotomae</i>   | -        | -          | +          | -              | -          | -                 | +     |
| <i>Brucella ovis</i>       | +        | +          | +          | +              | +          | -                 | -     |
| <i>Brucella canis</i>      | +        | +          | +          | -              | +-         | -                 | -     |

Fuente: (Carmichael L. , 1981)

**a:** Colorante en concentración 1:25 000

**b:** Colorante en concentración 1:50 000

**c:** Colorante en concentración 1: 100 000

**d:** Algunos biotipos positivos

**DRP:** Dosis de rutina para prueba

Las colonias del *B. canis* tienen forma rugosa (R), redonda, brillante y convexa y las cepas pueden identificarse a nivel de especie y biovar a través de fagotipo y cultivos serológicos y bioquímicos.

La *Brucella abortus*, es una bacteria Gramnegativa con una endotoxina lipopolisacárida (LPS). Es considerada por la Organización Mundial de la Salud como de distribución mundial, produciendo ureasa, óxido nitrito o nitrato, oxidasa y catalasa positivo. Crece con requerimientos de CO<sub>2</sub> y es capaz de sobrevivir en el interior de células fagocíticas (Rivers, Andrews, González, Donoso, & Oñate, 2006).

### 2.1.1. Infección en caninos

La *B. canis* puede ingresar al canino por diversas vías: venérea (cruce de macho y hembra) en dosis de 10<sup>6</sup>, digestiva (canino lame material infeccioso) en 10<sup>6</sup>, conjuntiva (experimental) en 10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> y vía oral por ingesta de placenta y fetos abortados, penetrando la bacteria por todas las mucosas (Wanke, 2015).

En hembras preñadas provoca mortinatos y abortos generalmente entre la séptima y novena semana de gestación, se dan con descargas vaginales mucoides verdosas o serosanguinolenta persistiendo hasta 6 semanas y con una dosis de infección hasta de 1010 bacterias/ml.

Los cachorros pueden nacer vivos empero débiles o morirán después de nacer, algunos pueden crecer y desarrollar la enfermedad después (Center for Food Security and Public Health, 2009). La orina y las heces de la hembra es poco probable de transmisión de la enfermedad, por el número de bacterias, sin embargo, una fuente de diseminación puede ser la leche de una madre lactante por las secreciones mamarias que contienen abundantes cantidades de *B. canis* (Carmichael L. , 1981).

En machos, la bacteria se localiza en epidídimo produciendo epididimitis, orquitis, edema testicular y espermatozoides de baja calidad. Se puede presentar infecciones crónicas con atrofia testicular unilateral o bilateral, en algunos la fertilidad se ve afectada (colas de espermatozoide alteradas y frecuentemente separadas de la cabeza). Otros signos son comunes como letargo, falta de apetito, intolerancia al ejercicio, anormalidades en el comportamiento: bajo estado de alerta y desempeño de tareas, pérdida de peso; empero la mayoría de caninos no demuestran estar enfermos. (The Center for Food Security and Public Health, 2009). La eliminación de organismos por semen, en el macho se da en períodos prolongados o durante toda la vida, existiendo riesgo en la monta, en el olfato hacia este e inseminación artificial así como en la orina y no de cantidad importante en las heces (Wanke, 2015).

En hembras y machos se puede dar linfadenitis (inflamación de ganglios linfáticos), rigidez, dolor de espalda o cojera por la discoespondilitis (infección del disco intervertebral y de las vértebras adyacentes) de vértebras torácicas y/o lumbares, se han presentado casos de endoftalmitis (infección al globo ocular), uveítis (inflamación lámina entre esclerótica y retina del ojo), dermatitis granulomatosa (inflamación granulomatosa de la piel) y endocarditis meningoencefalitis (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

La *B. suis*, *B. melitensis* y *B. abortus* se transmite al canino mediante la ingesta de sus placenta, descargas vaginales, líquidos fetales, membranas mucosas así como por piel lastimada o intacta (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

El periodo de incubación es variable, la bacteremia (presencia de bacterias en la sangre) se desarrolla por lo general de 2 o 3 semanas después de la exposición oral, sin presentar signos, en cachorros infectados duró experimentalmente 36 meses y en adultos 72 meses (Carmichael L. , 1981).

Los caninos seropositivos hace referencia a los animales que en su sangre presentan anticuerpos positivos frente a un antígeno que proviene del agente infeccioso (bacteria *Brucella sp.*) al cual ha sido expuesto (Secretaría de Salud de México, 2012).

### **2.1.2. Infección en humanos**

La infección en el humano se da con una dosis masiva de bacterias, a través del contacto sin protección personal con secreciones y abortos de caninos infectados, accidentes de laboratorio, vía oral con la ingesta de leche no pasteurizada, cárnicos y derivados contaminados (Sánchez, Giraldo, & Olivera, 2013).

La incubación se estima entre 5 días y 3 meses, siendo evidentes a las 2 semanas siendo una enfermedad de amplio espectro en síntomas variables como fiebre, gripe, malestar, dolor de cabeza, de espalda, dolor muscular y generalizados, así como sudoraciones en exceso en especial en las noches, presentándose en algunos casos tos, dolor del pecho, hepatomegalia (aumento patológico del hígado) y esplenomegalia (aumento del bazo). Otros síntomas son gastrointestinales como diarrea, estreñimiento, vómitos con mayor frecuencia en adultos que en niños (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

La infección aguda en el humano se da entre 3 a 12 meses, presentándose en diversos casos recaídas meses después de los primeros síntomas mientras que la crónica se presenta con poca frecuencia. (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

En adultos existen varios síntomas extras como cambios de personalidad, encefalitis, uveítis, neuritis óptica, neuropatía periférica, endocarditis con alta probabilidad de muerte, nefritis (inflamación de los tejidos del riñón), dermatitis, vasculitis, anemia, leucopenia, entre otros (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

En niños adquiridos de manera congénita son la baja de peso al nacer, fiebre, ictericia (aumento de bilirrubina en la sangre), hepatomegalia, esplenomegalia, dificultad respiratoria, vómitos, signos de septicemia e hipotensión. Algunos niños son asintomáticos o presentan síntomas leves (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

### 2.1.3. Diagnóstico

Las técnicas estandarizadas para el diagnóstico de brucelosis en el canino son diferentes entre *B. canis* y otras especies, puesto que son cepas diferentes (rugosas y lisas). Un diagnóstico definitivo se da por aislamiento de la bacteria a partir de la sangre, leche, descargas vaginales, placenta en caso de abortos y tejidos de estos. En caso de sospecha de enfermedad realizar análisis de laboratorio usando la serología confirmando con diversas pruebas en un intervalo de tiempo, ya que en general los animales infectados presentan niveles altos de anticuerpos circulantes que persisten varios meses luego de cesada la bacteremia. La serología se da con la recolección del suero en sangre, en otros casos para mayor certeza se toma muestras de la descargas vaginales y/o semen de presuntos infectados, ya que los sueros con títulos bajos de aglutinación son generalmente “falsos positivos”, señal de que el animal se encuentra en recuperación, o que la bacteria está en ciertos tejidos donde no se produce estimulación al sistema inmune (Ardoino, Baruta, & Toso, Brucelosis canina, 2006).

En humanos, el diagnóstico definitivo es por cultivo o serología. En diferentes casos la bacteria se recupera del líquido cefalorraquídeo, orina o tejidos. Generalmente se requiere la elevación de títulos cuatro veces, siendo la brucelosis crónica difícil de diagnosticar (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

### 2.1.4. Procedimientos de laboratorio para brucelosis

Los procedimientos son directos e indirectos, los directos evidencian la presencia de la bacteria o componentes en los tejidos del humano o animales a través del aislamiento con monocultivos. Los indirectos detectan los individuos infectados usando como antígenos suspensiones para *Brucella sp.* según la cepa bacteriana (S o R) (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005). Los antígenos *B. abortus 1119-3* o *99S* según organismos internacionales son recomendados para la detección de anticuerpos anti *B. abortus*, *suis* y *melitensis*, y antígenos específicos de especie para anticuerpos anti *B. canis*, *B. ovis* (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005).

Las pruebas serológicas para el diagnóstico son: Aglutinación lenta en tubo de Wirth (SAT) usada desde 1897 en el diagnóstico de la enfermedad en animales y humanos observando la presencia de aglutinación luego de la incubación, sus antígenos son *B. abortus 1119-3* al 4,5% y anticuerpos: IgM, IgG1 e IgG2; la prueba de aglutinación con o sin 2-mercaptuetanol (2-ME)

inactiva anticuerpos de clase IgM con suspensión de *B. abortus* 1119-3 al 4,5%; Rosa de Bengala es usada como tamiz, se pone en contacto 30 µL de suero con 30 µL de antígeno para detectar la presencia de aglutinaciones, es una prueba rápida placa con suspensión de *B. Abortus* al 8,5%, con agregado del colorante Rosa de Bengala y ajustadas a pH ácido (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005) .

El Antígeno Tamponado en Placa (BPA) es una prueba tamiz realizada en placa, se coloca 80 µL de suero con 30 µL de antígeno observando la presencia de aglutinación, el antígeno es *B. abortus* al 11% con cristal violeta y verde brillante, la prueba de aglutinación en tubo para la detección de anticuerpos completos o incompletos es la de Coombs, que incuba *B. abortus* 1119-3 al 4,5% para una aglutinación mediada por anticuerpos completos, los incompletos se miden con aglutinación a diluciones mayores lavadas y agregando suero antiespecie (Coombs) (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005).

La fijación de complemento es una prueba de referencia internacional altamente específica, incubando diluciones del suero inactivado con el antígeno usado en la reacción de Huddleson o preparada con una suspensión bacteriana tratada conjuntamente con un complemento (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005).

La Inmunodeficiencia indirecta incuba diluciones del suero sobre impronta de *Brucella* como prueba de interacción rápida, observándose en un microscopio de fluorescencia, el antígeno son bacterias fijadas en un portaobjetos, la prueba ELISA, sensible, versátil y específica emplea antígeno que fijado a placas incuba el suero y con anti-especie conjugado con una enzima desarrolla un color con una longitud de onda, existen también ELISA indirecto (ELISA-I) y ELISA competitivo (ELISA-C).

La polarización de fluorescencia (FPA) es usada en sangre entera y leche, siendo la incidencia de un haz de luz la detectora del anticuerpo usando como antígeno *B. abortus* (45, 46), la prueba de inmunodifusión en agar (IDAG) es de doble difusión en geles, observando las reacciones de identidad con el suero investigado y un suero control (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005).

La Organización Mundial de la Sanidad Animal (OIE) sugiere los siguientes métodos para el estudio de brucelosis en distintas especies son los siguientes:

**Tabla 4***Pruebas de laboratorio para Brucelosis*

| <b>Especie</b> | <b>Prueba</b>                                                                                                                               |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bovinos        | BPA, Rosa de Bengala, fijación de complemento ELISA-I, ELISA-C, FPA                                                                         |
| Caprino        | Rosa de Bengala, fijación de complemento                                                                                                    |
| Ovinos         | Fijación de complemento, ELISA-I, IDAG                                                                                                      |
| Porcinos       | BPA, fijación de complemento, ELISA-C, ELISA-I, FPA                                                                                         |
| Caninos        | Huddleson, aglutinación con y sin 2-ME, aglutinación lenta en tubo, ELISA-I, IDAG                                                           |
| Humano         | Pruebas tamices BPA, Rosa de Bengala o Huddleson, y pruebas de aglutinación lenta en tubo con o sin 2-ME, Coombs y fijación de complemento. |

Fuente: (Organización Mundial de la Sanidad Animal, 2004)

**2.1.5. Prueba de Huddleson para caninos**

Es una prueba en reacción de aglutinación rápida en placa, observando su presencia o no con la combinación del suero a investigar y cantidades de antígeno adjunto una escala establecida de títulos por convención para la expresión de resultados (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005).

El antígeno utilizado es una suspensión de *B. abortus* al 3-10% de gérmenes en fenol, con verde brillante y cristal violeta, los anticuerpos son IgM, IgG<sub>1</sub>, IgG<sub>2</sub>, IgA. El título para positivo es mayor a 1:40, siendo los falsos resultados negativos ocasionados por la prozona (fenómeno) donde puede estar ausente la aglutinación en títulos más alto, causa de exceso de anticuerpos (38) (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005).

**2.1.6. Tratamiento**

En caninos el tratamiento es con antibióticos, la desaparición de anticuerpos se da entre 30 y 60 días, siendo extenso en algunos casos. Es costoso, y no es 100% efectivo ya que pueden recaer después del mismo, empero en casos los caninos se recuperan en forma espontánea en tres o cuatro años después de adquirir la infección, presentando títulos bajos de anticuerpos >1:25 al ser desafiados por la cepa patógena, con lo que existe una estimulación constante al sistema inmune (Ardoino, Baruta, & Toso, 2007).

En humanos, la base del tratamiento son los antibióticos, en caso de la endocarditis como forma localizada de la enfermedad puede requerir cirugía, puesto que junto a la meningitis es causante de un índice de mortalidad entre 2% y 5%, siendo mortal en casos donde no existe tratamiento (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo DATABiO, 2014).

Los caninos de todas las razas son susceptibles a brucelosis canina, con una tasa de seroprevalencia del 30% en América Central y del Sur. Las infecciones se presentan especialmente en perros callejeros. y se propaga rápidamente en poblaciones hacinadas, en especial durante la reproducción o al generarse abortos (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

#### **2.1.7. Prevención**

La Brucelosis se controla de diversas formas, en caso del canino es a través de la higiene, el sacrificio de animales infectados y castración si se aplica tratamiento (Center for Food Security and Public Health, 2009). Para el canino no existe vacuna y como medidas de desinfección se usa etanol al 70%, hipoclorito sódico al 1%, soluciones de alcohol/yodo, glutaraldehído, xileno, formaldehído. La inactivación física se da por calor húmedo a 121°C por lo menos en 15 minutos, los antimicrobianos son con tetraciclinas (doxiciclina) y como medidas generales se debe considerar la ventilación, el aseo diario de los espacios físicos y protección personal en laboratorio. En cuestión de contagio por alimentos, evitar la ingesta de productos lácteos no pasteurizados, así como de cárnicos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo DATABiO, 2014). La Dra. M. M. Wanke en una Conferencia Veterinaria de Brucelosis canina en 2015 recomienda como técnica de prevención específica la desinfección con cloruro de benzalconio (Wanke, 2015).

#### **2.1.8. *Brucella sp.* en el entorno**

La *Brucella* se puede propagar por fómites (objetos o sustancia carente de vida vehículo de contaminación) como: alimentos, el agua a bajas temperaturas, humedad alta y poca luz solar, materiales de trabajo, ropa, en material orgánico puede resistir la desecación, polvo y suelo.

En condiciones de temperaturas bajas especialmente debajo del punto de congelación, la supervivencia de estos organismos es prolongada (The Center for Food Security and Public Health, 2009).

La *Brucella sp.* sobrevive en el agua más de dos meses a 20°C, en el suelo y pasto en ambiente húmedo dos meses, en orina, polvo y equipos de trabajo hasta 8 meses.

En carcasas de animales, en sus órganos o en sangre a 4°C sobreviven meses, en la carne conservada en temperaturas bajas sobreviven por años, por tal no recomendable su ingesta (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo DATABiO, 2014).

**Tabla 5**  
*Supervivencia de Brucella sp. en el medio ambiente*

| <b>Material</b>                         | <b>Tiempo de supervivencia</b> |
|-----------------------------------------|--------------------------------|
| Suelo y estiércol                       | 80 días                        |
| Polvo                                   | 15-40 días                     |
| Agua a 37° y pH 7,5                     | Menos de 1 día                 |
| Agua a 8° y pH6,5                       | Más de 57 días                 |
| Tierra húmeda a temp. ambiente          | 66 días                        |
| Tierra disecada a temp. Ambiente        | 4 días                         |
| Descargas vaginales mantenidas en hielo | 7 meses                        |
| Fluidos y secreciones en verano         | 10-30 minutos                  |
| Fetos mantenidos en sombra              | 6-8 meses                      |
| Leche a temp. Ambiente                  | 2-4 días                       |
| Carne                                   | 110 días                       |

Fuente: (Castro, Gonzáles, & Prat, 2005)

## 2.2. Canino

*Canis lupus familiaris* (Linnaeus, 1758). Mamífero de la familia de los cánidos (Canidae) con rasgos anatómicos propios, caminan sobre los dedos de los pies, tienen complexión fuerte y sus uñas nos son punzantes, retráctiles o cortantes a diferencia de los félidos.

Poseen dentadura poderosa y para su defensa utilizan su boca; son animales veloces y resistentes que viven en mandas jerarquizadas con el más fuerte como el dominante (Paradais Sphynx, 2014).

El canino (específicamente, el perro), respecto a otras especies, ha acompañado más tiempo al ser humano, su domesticación inició en Europa hace 18 000 y 32 000 años aproximadamente.

Su cuerpo es relativamente alto y peludo, patas largas y cola cilíndrica con una glándula odorífera en su base, presentan pupilas redondas ante luz fuerte y su cráneo está conformado por senos frontales grandes y crestas temporales unidas comúnmente para formar una cresta sagital, la región facial craneal es menor a la del género *Vulpes* y *Pseudalopex* (Nowak, 1991).

El ciclo estral de las hembras se da cada 6 meses con una duración de 12 días aproximadamente y consta de proestro, estro, diestro y anestro, reproduciéndose hasta dos veces al año. Poseen 6 pares de mamas y el número de crías es variable hasta 10 o más con un tiempo de gestación de 63 días.

Los machos son animales territoriales y tienden a ser robustos y más grandes que las hembras, manteniendo un comportamiento de dominancia y en ciertos casos agresiva. Las crías amamantan 6 semanas aproximadamente y entre 6 y 24 meses alcanzan la madurez sexual (Nowak, 1991).

Su alimentación se basa en desperdicios orgánicos del humano, sin embargo, son buenos cazadores de otros animales. Su hábitat deriva de la interacción con el humano, empero gustan de la presencia de cuerpos de agua, en general son activos en el día, pero aquellos silvestres más bien son nocturnos y evitan el calor protegiéndose o escondiéndose en zanjas o en abundante vegetación (Nowak, 1991).

Esta especie puede vivir en ciertos casos hasta 20 años, con un promedio de 12 años. Han sido considerados portadores y transmisores de diversas enfermedades y parásitos a otras especies incluidas el humano (Álvarez, 2005).

### **2.2.1. Categorías biológicas**

La edad aproximada de un canino se puede determinar teniendo en cuenta el desarrollo de su dentadura. Estos poseen incisivos (parte delantera), caninos (más atrás), premolares (junto a molares) y molares (en los lados), así como dientes primarios (incisivos, caninos y premolares) y permanentes (incisivos, caninos, premolares y molares) (Asociación Veterinarios Españoles Especialistas en Pequeños Animales, 2016). Las principales características se detallan a continuación:

En el Ecuador existen 67 razas reconocidas como pedigree, y la mezcla de ellas o de aquellas no reconocidas se denomina mestiza. Pedigree es el producto de la selección artificial antrópica y presentan particularidades para cada raza como el color y tamaño, son animales vulnerables a diversas enfermedades. Los caninos mestizos, poseen características propias de la combinación entre razas diferentes, manteniendo colores y tamaños que los hacen diferenciables de los pedigree, son animales resistentes a enfermedades por su código genético único (SCRIB, 2016).

### **2.2.2. Características morfológicas**

Los caninos poseen un manto, estructura que recubre el pelo, generando un tipo de aislamiento para el resguardo de la piel, la clasificación según su color se da respecto al pigmento denominado melanina, los colores característicos son: negro, marrón chocolate y amarillo. Los tipos de colores depende de la melanina formada en cualquier parte de cuerpo y de un solo par de genes: B y b, dominante y recesivo respectivamente (Riddle, 2016). Se puede presentar colores simples (un solo color), binarios (mezcla de grises, blancos o negros), compuestos (mezcla de rojizos), entre otros característicos de cada raza, los caninos mestizos adquieren colores de acuerdo a sus descendientes (Barrero, 2014).

### **2.2.3. Etiología canina**

El comportamiento del canino se fundamenta en la interacción con el humano y la influencia con el entorno, se determina en campo con el primer contacto que el visualizador establece con el animal, como indica la siguiente descripción:

El canino agresivo gruñe, ladra, muestra los dientes, mantiene las pupilas dilatadas y una postura corporal tensionada; el miedoso se encuentra ligeramente agachado con patas flexionadas, cola entre las piernas y orejas hacia abajo, el canino afable mueve la cola, mantiene una postura corporal relajada y orejas parcialmente levantadas, el estresado presenta exceso de actividad, ladra y muestra movimientos repetitivos.

La coprofagia se presenta cuando el canino se alimenta de heces de otros animales o del humano.

Las estereotipias se muestran cuando el canino da vueltas persiguiendo su cola, salta varias veces o corre repetidamente, el calmado muestra orejas hacia atrás, ojos entrecerrados, cabeza ligeramente agachada, el excitado no escucha disposiciones del humano, mantiene constante jadeo, mueve la cola, el consistente tiene una postura de descanso, se mantiene inmovilizado con la mirada fija en un solo lugar.

El inseguro mantiene las orejas hacia abajo, cola entre las patas, pupilas contraídas, el sociable muestra las orejas levantadas, un movimiento de cola e interactúa con el humano y otros animales y el no determinado en casos de no identificar ningún comportamiento en el canino (Asociación Veterinarios Españoles Especialistas en Pequeños Animales, 2016).

Sierra, N., (2012), psicólogo especialista en el comportamiento animal, menciona en sus obras literarias, que el comportamiento depende de la educación y del entorno social, más no de su raza.

Los genotipos, carácter y temperamento se distingue según cada especie pero el linaje aporta características psíquicas en contacto con el entorno, determinándose así una actitud agresiva del canino de acuerdo a la sociedad en la que se desenvuelve (Sierra, 2012).

#### **2.2.4. Caninos callejeros y callejizados**

Los caninos callejeros son aquellos animales que no tienen ‘dueño’ o nacen en la calle, deambulan en distintos sitios donde encuentren alimento y/o abrigo, los callejizados poseen ‘dueño’, pasan parte del día fuera de su casa, ya sea por libertad de sus acompañantes o por abandono, en ambas situaciones pueden formar colonias (Vaca, 2015).

De acuerdo a datos de Protección Animal Ecuador (PAE), tres de cada cinco caninos callejeros tuvieron ‘dueño’ mientras que los callejeros propiamente nacieron o sobreviven en las condiciones de interperie. (Ulloa, 2016).

En ambos casos pueden formar colonias generando estrategias de defensa contra el humano como atacar o alejarse, evitando acercamientos, otros actúan de manera amistosa llegando así a convivir con los humanos. Estudios internacionales estiman con un 60% de hogares la tenencia de uno o más caninos (‘mascotas’) (Ulloa, 2016).

### **2.2.5. Bienestar animal**

Los caninos tanto callejeros como callejizados tienen un alto riesgo de morir o ser maltratados por diferentes causas, para ello el Consejo para el Bienestar de Animales de Granja en el Reino Unido desarrolló las “Cinco Libertades del Bienestar Animal”: Libres de hambre y sed, de dolor, enfermedades y posibles lesiones, angustias y miedo, incomodidad y libres de expresar su comportamiento natural (Ulloa, 2016).

### **2.2.6. Estructura del desplazamiento**

La estructura de desplazamiento del canino es el modo como este se desplaza en un ambiente espacial durante un período de tiempo, es decir si tiende a mantenerse solo o en conjunto con otros caninos (manada).

El desplazamiento individual del canino se presenta en una zona específica, siendo solitario en las actividades que realiza dentro de la misma y tiende a ser territorial ya que realiza acciones rutinarias en la zona donde se desplaza, los mismos marcan su territorio mediante sus orines (Navarrete, 2004).

La estructura de desplazamiento en manada está determinada por un grupo específico de caninos, pueden aparearse libremente en diferentes áreas, expandiéndose y ganando territorio. Generalmente son residentes y no permiten fácilmente que otro canino ingrese a la manada (Mech, 1999).

### **2.2.7. Estado nutricional**

El estado nutricional del canino describe la condición de un animal en conocimiento a su alimentación, el impacto negativo de una nutrición inadecuada conlleva a la proliferación de enfermedades.

Una alimentación apropiada durante la vida de un canino ayuda a que el mismo no presente ciertas características nutricionales como son animales con desnutrición y obesidad (Baldwin, y otros, 2010).

Los caninos con desnutrición por lo general son aquellos que no tienen la alimentación recomendada, por lo cual padecen de enfermedades intestinales por la condición de insalubridad en la que viven, existen animales con desnutrición elevada que se les denomina raquíticos ya que se los puede identificar de forma visual porque se les observa las costillas pegadas a la piel (Meslin & Beyene).

Los caninos con sobrepeso u obesidad tienen problemas cardiacos y su condición se debe al exceso de alimento que consumen, valiéndose fundamentalmente de la inspección y palpación se puede determinar cuándo un animal está excedido de peso, a medida que aumenta la edad, la frecuencia de la obesidad es semejante en ambos sexos (Hutter, 1999).

### **2.2.8. Patologías caninas**

Una patología se define como un padecimiento anatómico o fisiológico de los tejidos y órganos enfermos de diferente nivel jerárquico y complejidad así también como signos y síntomas a través de los cuales se manifiestan las enfermedades y las causas que lo producen (Zoetis Spain, 2013).

Entre las principales patologías que un canino puede padecer son las siguientes:

Garrapatas presentes en la piel del canino son ectoparásitos que se fijan con su mandíbula en la misma y se alimentan de la sangre mediante succión. Son de gran importancia para el estado sanitario de los caninos ya que en ciertas ocasiones las mismas absorben microorganismos que pueden causar alguna enfermedad en el canino. Algunas garrapatas pueden causar graves enfermedades y hasta la muerte del animal (Zoetis Spain, 2013).

Las pulgas son un parásito que frecuentemente se encuentran en animales de compañía, aunque no parezcan peligrosas puede llegar a ser potenciales vectores de transmisión de enfermedades. Tienen un ciclo de vida de semanas y un mes, en menos de 48 horas pueden poner numerosos huevos que caen del animal, una sola hembra puede llegar a poner hasta 50 huevos al día esto hace que las pulgas sean potencialmente peligrosas (Zoetis Spain, 2013).

La sarna en el canino se presenta por infecciones en la piel, que empeoran según el medio ambiente en donde este se encuentre, pueden presentarse como protuberancias rojizas que pueden infectarse y llegar a ser muy dolorosas (Harvey & McKeever, 1998).

El moquillo es una enfermedad contagiosa causada por un virus que ataca al sistema respiratorio y nervioso tanto a caninos adultos como a cachorros, el primer síntoma es la secreción ocular, posteriormente desarrollan fiebre, descarga nasal, tos, letargia, vómito y diarrea. El moquillo es a menudo mortal. La vacunación y el contacto con animales infectados son las medidas preventivas para esta enfermedad (Association American Veterinary Medical, 2009).

La influenza canina es una enfermedad por un virus que ataca al sistema respiratorio, a diferencia del moquillo esta no es mortal, pero puede producir signos como tos, letargia y vómito. La influenza se trata con antibióticos y para prevenir se recomienda vacunar de manera periódica al canino (Institute for International Cooperation in Animal Biologics, 2009).

### **2.2.9. Población y muestra**

La población es un todo la cual posee alguna característica o propiedad común. El estudio de toda la población constituye un censo, puede ser finita o infinita en relación al tamaño. En la finita, se conoce la dimensión, en ocasiones es tan grande que se comportan como infinita, existe un marco muestral donde se puede hallar las unidades de análisis. La infinita, no conoce el tamaño y no se cuenta con un marco muestral (Robledo, 2004).

La muestra es una parte o un subconjunto de la población, es representativa y permite inferir resultados de la población a partir de datos muestrales. No hay un método que garantice que la muestra sea lo suficientemente representativa para una verdadera realidad de la población pero si para una perspectiva general de la misma (Robledo, 2004).

Para calcular el tamaño de la muestra se utiliza la siguiente ecuación (Robledo, 2004):

$$\mathbf{n} = \frac{Nz^2p(1-p)}{(N-1)e^2 + z^2p(1-p)} \quad (1)$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra a calcular

N: Tamaño de la población

z: Desviación del valor medio para el nivel de confianza deseado

En función del nivel de confianza que se busque, el valor determinado viene dado por la forma que tiene la distribución de Gauss. Los valores más frecuentes son:

Nivel de confianza 90%  $\rightarrow z = 1,645$

Nivel de confianza 95%  $\rightarrow z = 1,96$

Nivel de confianza 99%  $\rightarrow z = 2,575$

e: Margen de error máximo que admito

p: Proporción que esperamos encontrar

### **2.2.10. Estimación de la población canina**

Un método es el de captura, durante el día este exige mantener un ritmo relativamente constante para el marcaje a lo largo de todo el estudio. A partir de ahí, se representa gráficamente el número diario de caninos marcados frente al total acumulado, es posible extrapolar el valor correspondiente a los caninos que hay en la zona de estudio (OIE, 2011).

El segundo método, más utilizado en el estudio de poblaciones de animales salvajes, es el de marcaje y recaptura (índices de Peterson-Jackson, Lincoln): tras capturar, marcar y acto seguido liberar a los caninos, se muestrea la población por observación directa registrando el número de marcados y sin marcar. Para obtener una estimación de la población total se multiplica el valor de caninos marcados y liberados al principio por el de caninos observados posteriormente, dividido por los marcados que se han observado en la segunda fase (OIE, 2011).

En las citadas directrices de la OMS y la WSPA se ofrecen ejemplos de ambos tipos de métodos.

Toda vez que las poblaciones caninas de un país, estado, provincia o incluso de una ciudad entera son demasiado grandes para evaluarlas en su totalidad, se debe aplicar estos métodos a ciertas áreas de muestra, que se elegirán aleatoriamente de manera que después sea posible extrapolar los resultados a zonas más extensas (OIE, 2011).

### 2.2.11. Detección de *Brucella sp.* en caninos

La confirmación de brucelosis se da con la toma de muestras sanguíneas, el proceso inicia con la captura del canino, mediante los siguientes métodos detallados a continuación:

- Método de captura con jaula trampa: La jaula trampa es un rectángulo de estructura metálica, con una puerta y base de madera. El procedimiento consiste en el ingreso y encierro de animales vivos a través de la colocación de alimento en su interior (Doganzo, 2015).
- Método de captura con lazo percha: El lazo percha es un mango tubular de aluminio con un cabo trenzado para sujetar el rededor del cuello del canino, todas las partes en contacto con este debe estar forradas de plástico para evitar posibles lesiones (Sobrinó, 2015)
- Método de captura manual: Se puede ejercer con el uso de un cabo o con la sujeción directa, el primer procedimiento es para caninos que se desplazan intentando huir, y el segundo es aplicable en animales sociables (Villegas, Andrea, 2014).
- Método con kennel: Kennel es una herramienta para el manejo de caninos, son estructuras rectangulares de plástico con puertas tipo malla de metal, simula una cueva, por ello el canino ingresa y se siente seguro (Villaroel, 2016).

La sujeción, es el grupo de métodos para restringir el movimiento del paciente, sea de una zona del cuerpo o de distintas extremidades, permite desarrollar la toma de muestras sanguíneas, con las medidas de seguridad correspondientes para el operador y el canino; evitando a este molestias, irritación, tensión, intranquilidad y dolor que pueden imposibilitar la exploración.

La extracción de muestras de sangre se puede ejecutar en la vena cefálica, vena safena o en la yugular, con lo que el operador deberá cumplir el procedimiento de sujeción correspondiente a cada caso, el objetivo es generar estenosis venosa (torniquete) (Superarse, 2016) .

La toma de muestras sanguíneas se puede realizar para hematología y/o química sanguínea según el caso, en el primero la sangre se mezcla con el anticoagulante y en el segundo se obtiene el suero sin este, el utilizado para el análisis de Brucelosis es de química sanguínea, en los dos se utiliza sangre periférica (Superarse, 2016).

El manejo, identificación y transporte de muestras sanguíneas se estableció en base a las técnicas y métodos del Instructivo INT/DA/019 para Toma y Envío de muestras en animales domésticos de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la calidad del Agro (AGROCALIDAD).

El manejo contempla el método para evitar la hemólisis en la sangre, la identificación los criterios de registro de muestras y el transporte las consideraciones de almacenamiento y conservación (temperatura) para sangre y suero sanguíneo (AGROCALIDAD, 2016)

### **2.3. Modelo Autómata Celular**

El modelo Autómata Celular (AC) es una técnica de modelamiento espacial el cual a través operaciones analíticas y comandos interactivos identifican la magnitud y distribución espacial de cambios en una determinada temática, permite proyectar y representar cartográficamente la probabilidad de ocurrencia de un suceso en un futuro cercano (Padilla, Pérez, Cruz, Huilcamaigua, & Astudillo, 2015).

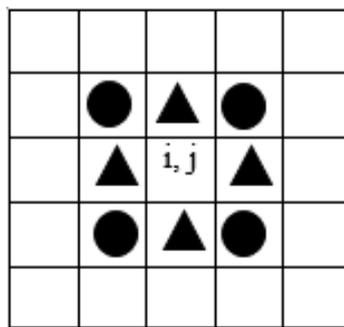
La representación del modelo AC se da mediante un modelo matemático, un sistema dinámico y discreto, ya que expresa los fenómenos de la vida real de manera matemática aproximando a una realidad física y predictiva para la generación de escenarios futuros, se presenta como un sistema dinámico por ser complejo y demostrar evoluciones o cambios de un estado inicial en un tiempo, es discreto por la medición en intervalos pequeños de tiempo, espacio y valores de estado (Padilla, Pérez, Cruz, Huilcamaigua, & Astudillo, 2015).

Tiene sus bases en los años 40 como autómatas celulares y propuestos por Von Neumann, para proporcionar una teoría acerca de investigación del comportamiento de sistemas complejos. Se entienden como sistemas referidos a una matriz que representa el estado y cercanía de cada celda relacionado con un conjunto de reglas de transición.

Al ser un sistema discreto interacciona al interior con áreas locales antes que por pares de celdas, por ello se puede aplicar en trabajos con el uso de grillas con miles de celdas como en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Rovira & Lavanderos, 2008).

Este modelo está formado por un número finito de unidades denominadas células de tal manera que en cada instante de tiempo cada célula tiene un estado, este estado va cambiando en el transcurso del tiempo de acuerdo a una regla de transición local cuyas variables son los estados en el instante anterior de la propia célula y sus vecinas (Ching Fu & Milne, 2003).

Autómata Celular es un arreglo uniforme de: celdas, tésales o células que contienen bits de información ocupando una posición  $(i, j)$  en un tiempo en pasos discretos y espacio (ver figura 2) tomando en consideración que sus leyes son locales y uniformes, número de estados por celda (arbitrario o finito) y reglas de determinación del estado de una celda fundamentados por la configuración del vecindario (Padilla, Pérez, Cruz, Huilcamaigua, & Astudillo, 2015).



*Figura 2* Espacio AC

Donde:

$i, j$ : Célula central ( $i$ : filas,  $j$ : columnas)

●: Vecindad circundante

▲: Vecindad próxima ( $i, j + 1$ ;  $i - 1, j$ ;  $i, j - 1$ ;  $i + 1, j$ )

AC pueden tener  $N$  dimensiones, bordes cerrados con un valor “0” y periódicos en los que los vecinos de los bordes superior e izquierdo son bordes inferiores y derechos; su vecindad se representa como el conjunto finito de células encargadas de recopilar información de ellas mismas y de las de su alrededor en cercanías de una central encargada de realizar los cálculos.

El modelamiento con AC es un conjunto de elementos simples distribuidos espacialmente y conectados de forma local. Lo importante de este tipo de modelos radica en que puede representar fenómenos en los que las variables cambien en forma discreta dependiendo de su estado y no de manera continua en dependencia de una función matemática.

Se podría plantear la proposición de que las celdas más contiguas tendrán mayor influencia que las que se encuentran en las diagonales o más alejadas de la celda central. Es decir un vecino que tenga el mismo estado pero que se encuentre en la diagonal tendrá una regla de transición adicional y diferente a la de un vecino que se encuentre inmediatamente continuo, en la que se incluirá su estado de vecindad (Padilla, 2005).

El modelamiento con Autómata Celular requiere una condición inicial específica o aleatoria para la determinación de valores futuros, su clasificación por clase fue propuesta por Wolfram, en que la de clase I: homogeneidad en el que todas las células adoptan un mismo valor, clase II: periodicidad donde se forman estructuras que se repiten en diferentes tiempos, clase III: caos donde las estructuras formadas son impredecibles y la de clase IV: complejidad en que las estructuras no son caóticas ni periódicas. Posee muchas aplicaciones, que dependen de las áreas y problemáticas propias, una de ellas es el modelamiento y simulación de enfermedades como la Brucelosis (Sánchez L. , 2009).

El modelo AC crea analogías entre un mundo real y simulado para mejorar las condiciones del primero a base de su comprensión en un tiempo y con recursos determinados. En ese sentido para el caso de la epidemiología los autómatas celulares implementan características de una enfermedad infecciosas en relación a su contacto, trayectoria, vecindad y transmisibilidad. El aporte de la aplicación del modelo autómata celular en este proyecto busca aplicar información científica y simular eventos de la enfermedad (Cuesta, Trueba, & Ruiz, 2012).

### **2.3.1. Modelamiento con Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Un modelo espacial es todo aquel que relaciona el medio ambiente y su entorno teniendo en cuenta la interacción y aplicación que el mismo da a ciertos ambientes geográficos y tomando en cuenta las aplicaciones de los sistemas de información geográfica como una herramienta de análisis geoespacial, pudiendo el mismo desarrollarse en entornos tan complejos, determinando así áreas de influencia en la cual la población es el fundamento para el análisis. Las variables que se tomen en cuenta dentro de un modelamiento ayudarán a un mejor entendimiento del resultado que se obtenga así también un modelamiento ya sea básico o complejo ayuda a la toma de decisiones de los diferentes niveles de gobierno en la temática que se esté analizando (Zarate, 2012).

El modelo Autómata Celular es dinámico que puede cambiar su connotación dependiendo de los factores que se le incluye dentro de su estructura (Lippmann, Rouchal, & Wilck, 2006), los más usados relacionadas al ambiente geográfico son:

- Social es la relación del humano y su entorno, están estrictamente relacionadas con la población o cierta característica de la misma, dentro de un área urbana o rural están interrelacionadas con la tenencia de mascotas, como compañía al ser humano o vigilancia de la casa, el aumento desmedido de mascotas en las ciudades empieza a plantear problemas de cohabitación y salud pública (Gómez, Atehortua, & Orozco, 2007).

- Subsistencial es aquella que relaciona las necesidades básicas de cierto individuo sea animal o humano para sobrevivir diariamente, como es el alimento, descanso y necesidades biológicas. En el canino la subsistencia diaria consiste en las actividades indispensables o rutinarias que realiza en un área específica (Gómez, Atehortua, & Orozco, 2007).

- Entorno se pueden definir como todo el medio físico y natural donde se desarrolla cierto evento. El canino depende mucho de su entorno para poder desplazarse y siempre busca su bienestar (Gómez, Atehortua, & Orozco, 2007).

### **2.3.2. Modelamiento matemático epidemiológico**

La Organización Mundial de la Salud (OMS), menciona a la epidemiología como el estudio de la distribución y determinantes de estados o eventos (enfermedades) relacionados con la salud y aplicación al control de estos y otros problemas relacionados.

Algunos de los métodos para investigaciones epidemiológicas son: la vigilancia, los estudios descriptivos, en lo que se estudia la distribución y aquellos analíticos que permiten analizar factores determinantes (OMS, 2013).

El interés de la epidemiología se centra en el conocimiento de incidencia de enfermedad en la población, lugar donde esta se genera, el tiempo y la razón de su distribución y frecuencia geográfica, así como su aplicación hacia el control de problemas sanitarios (Ibáñez, 2007).

La epidemiología tiene características demográficas (edad, sexo y grupo étnico), biológicas y genéticas (niveles de anticuerpos sanguíneos, productos químicos, enzimas, grupo sanguíneo, entre otras), factores sociales, económicos y hábitos personales (consumo de productos) (Ibáñez, 2007).

Los modelos epidemiológicos comparten una característica que la simulación que se desarrolla es uno aproximado a la realidad. Esto se da por la dificultad de incorporar todas las variables que se presentan en la naturaleza en una simulación que sea precisa y tratable. Al modelar un sistema complejo hay que tomar en cuenta el grado de abstracción de los detalles o variables que no afecten, al momento de realizar el modelamiento (Ching Fu & Milne, 2003).

Uno de los modelos más utilizados dentro de la epidemiología es el modelo SIR, el más simple para capturar características de los brotes epidemiológicos, fue creado por Kermack y McKendrick basado en ecuaciones diferenciales. (Fresnadillo, García, García, Martín del Rey, & García, 2013).

En el modelo SIR el tamaño de la población permanece constante y se consideran variables dependientes del tiempo: el número de individuos susceptibles  $S(t)$ , el número de individuos infectados  $I(t)$  y el número de individuos recuperados  $R(t)$ . Ya que la población permanece constante entonces  $S(t) + I(t) + R(t) = N$  donde  $t$  en un instante del tiempo y  $N$  representa en número total de individuos de la población (Fresnadillo, García, García, Martín del Rey, & García, 2013).

El modelo SIR viene dado por el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales (Fresnadillo, García, García, Martín del Rey, & García, 2013):

$$S'(t) = -\beta \cdot S(t) \cdot I(t) \quad (2)$$

$$I'(t) = \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t) \quad (3)$$

$$R'(t) = \gamma \cdot I(t) \quad (4)$$

Donde:

$\beta$ : Índice de transmisión (tasa, por unidad de tiempo, de que un individuo susceptible se contagie al estar en contacto con un individuo infectado)

$\gamma$ : Índice de recuperación (tasa, por unidad de tiempo, de que un individuo infectado se recupere)

### **2.3.3. Riesgo epidemiológico**

Olli Miettinen, en 1985 formuló al riesgo epidemiológico como el efecto o la probabilidad de ocurrencia de una patología en una determinada población, a través del indicador paradigmático de incidencia.

El objetivo de la epidemiología en relación al riesgo epidemiológico se establece como la medida de la ocurrencia a un determinante (s) denominado relación o función de la ocurrencia (Almeida, Castiel, & Ayres, 2009) .

El riesgo epidemiológico puede desarrollarse en diferentes ambientes y factores, depende de los componentes que intervengan en la dispersión de la enfermedad lo que hace que la población sana sea susceptible a infectarse y que la probabilidad de contagio aumente en las zonas donde los factores son favorables a la proliferación de la enfermedad (Filho, Castiel, & Ayres, 2009).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló en dos fases: campo y gabinete, la fase de campo se realizó en los periodos 2015 y 2017, el primer periodo con el levantamiento de información piloto permitió añadir datos en la ficha del 2017.

En la fase de gabinete se digitalizó los datos obtenidos en campo para el modelamiento del riesgo epidemiológico.

#### **3.1. Levantamiento de información 2015**

La planificación constó de 27 zonas delimitadas dentro del área de estudio.

El criterio para definir el tamaño de cada una fue tomado de la Word Animal Protection (WSPA, 2016), en las que la suma de distancias de las calles dentro de la zona sea manejable en caminata para el observador, para el estudio WSPA fue de 2km, para este caso fue de 1,66 km lineales y 0,059 km<sup>2</sup> de área aproximadamente.

La información utilizada para el desarrollo del estudio fue el mapa base escala 1:5000 con calles principales, secundarias y predios, formato digital shape (.shp) Proyección UTM Zona 17 Sur, elipsoide WGS84, tomado del Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui 2013.

Cada zona se digitalizó e identificó con números arábigos del 1 al 27 y gama de colores distintiva con el uso del Software ArcGis. La digitalización se realizó a partir de las vías formando zonas irregulares contiguas, diferenciando con colores para su visualización (ver figura 3):

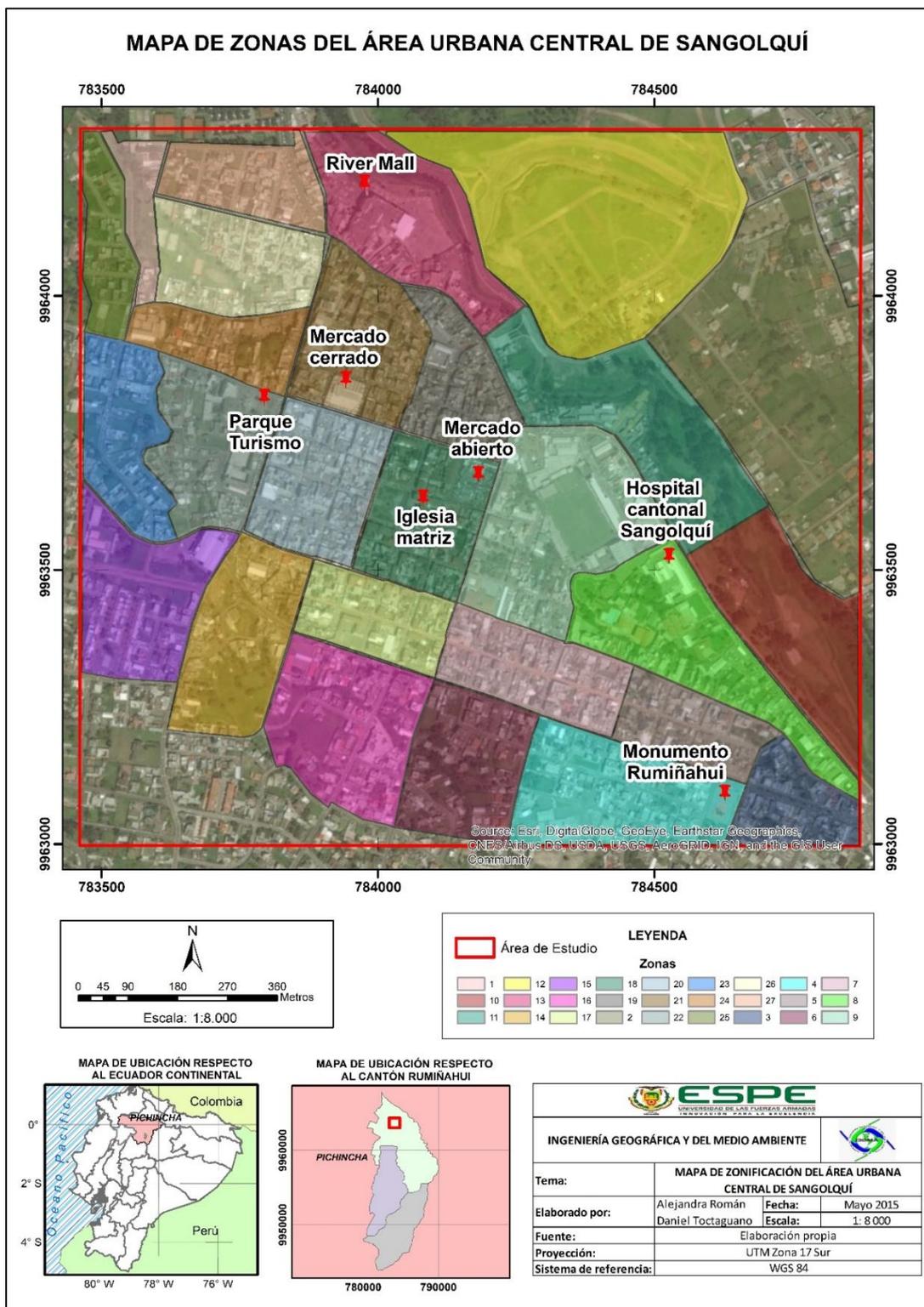


Figura 3 Distribución de zonas en el área de estudio

El levantamiento se ejecutó con un equipo de trabajo conformado por 56 estudiantes de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, distribuidos por 2 y 3 personas en el área de estudio de 1,8 km<sup>2</sup>, cubriendo así las 27 zonas (ver tabla 6).

**Tabla 6***Características de cada zona*

| Zona | Coordenada central (UTM 17Sur) |         | N° de personas | Área aprox. de la zona (km <sup>2</sup> ) | Total distancia de calles (km) | Calle / Avenida de referencia |
|------|--------------------------------|---------|----------------|-------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|      | X                              | Y       |                |                                           |                                |                               |
| 1    | 783576                         | 9964151 | 2              | 0,016                                     | 1,42                           | Río Cononaco                  |
| 2    | 784640                         | 9963800 | 3              | 0,16                                      | 2,21                           | Atuntaqui                     |
| 3    | 784732                         | 9963096 | 2              | 0,02                                      | 1,31                           | Abdón Calderón                |
| 4    | 784317                         | 9963133 | 2              | 0,06                                      | 1,90                           | Abdón Calderón y Quito        |
| 5    | 784484                         | 9963231 | 2              | 0,03                                      | 1,48                           | García Moreno y Rocafuerte    |
| 6    | 784169                         | 9963128 | 2              | 0,05                                      | 1,49                           | Calderón y Cotacachi          |
| 7    | 784124                         | 9963326 | 2              | 0,04                                      | 1,52                           | García Moreno y España        |
| 8    | 784513                         | 9963408 | 2              | 0,09                                      | 2,23                           | Hospital de Sangolquí         |
| 9    | 784333                         | 9963588 | 2              | 0,09                                      | 1,84                           | España y Carlos Larco         |
| 10   | 784714                         | 9963495 | 2              | 0,06                                      | 1,64                           | Hospital de Sangolquí         |
| 11   | 784486                         | 9963741 | 2              | 0,08                                      | 1,87                           | Atuntaqui                     |
| 12   | 784182                         | 9964276 | 3              | 0,17                                      | 2,04                           | Leopoldo Mercado              |
| 13   | 784079                         | 9964038 | 2              | 0,07                                      | 1,73                           | San Luis                      |
| 14   | 783751                         | 9963331 | 2              | 0,06                                      | 1,19                           | Abdón Calderón                |
| 15   | 783587                         | 9963471 | 2              | 0,06                                      | 1,69                           | Cotopaxi y García Moreno      |
| 16   | 783870                         | 9963228 | 2              | 0,06                                      | 1,82                           | Abdón Calderón y Panecillo    |
| 17   | 784050                         | 9963355 | 2              | 0,04                                      | 1,61                           | Leopoldo Mercado y Riofrío    |
| 18   | 784089                         | 9963604 | 2              | 0,05                                      | 1,93                           | Mercado abierto               |
| 19   | 784129                         | 9963810 | 2              | 0,05                                      | 1,58                           | Luis Cordero y Venezuela      |
| 20   | 783915                         | 9963609 | 2              | 0,05                                      | 1,96                           | Pichincha y Montúfar          |
| 21   | 783947                         | 9963858 | 2              | 0,05                                      | 1,65                           | Mercado cerrado               |
| 22   | 783769                         | 9963763 | 2              | 0,05                                      | 1,68                           | Parque Turismo                |
| 23   | 783529                         | 9963821 | 2              | 0,04                                      | 1,58                           | Río Marañón                   |
| 24   | 783722                         | 9963908 | 2              | 0,03                                      | 1,23                           | Venezuela y Río Chinchipe     |
| 25   | 783510                         | 9964146 | 2              | 0,05                                      | 1,45                           | Venezuela y Río Cononaco      |
| 26   | 783738                         | 9964019 | 2              | 0,05                                      | 1,42                           | Río Amazonas y Chinchipe      |
| 27   | 783870                         | 9964191 | 2              | 0,03                                      | 1,35                           | Río Amazonas y Sucumbíos      |

La jornada de trabajo inició a las 8 de la mañana y finalizó dependiendo a la cantidad de caninos encontrados, el tiempo del levantamiento de la ficha y el desplazamiento del observador. El recorrido fue en el orden como indica la figura 4, circundando y tomando en cuenta a todos los caninos presentes de la zona.



**Figura 4** Desplazamiento del observador

El levantamiento de información consistió en observar a los caninos encontrados durante el recorrido, para registrar sus datos en la ficha, toma de fotografía y coordenada GPS correspondiente a cada individuo (ver figura 5).



**Figura 5** Levantamiento de la ficha

La ficha para la toma de datos en campo consideró los siguientes aspectos relevantes: datos puntuales, características diferenciales, datos morfométricos y observaciones como indica el anexo 1.

### 3.2. Socialización del proyecto

La socialización se realizó con el fin de dar a conocer a la población del centro urbano de Sangolquí acerca de la aplicación de una metodología para la detección y modelamiento del riesgo epidemiológico por *Brucella sp.*, constó de una invitación en formato del Ministerio de Ambiente Ecuador para proyectos, en el que se especifica el conocimiento del lugar, fecha y hora de presentación del proyecto, un registro de entrega de dichas invitaciones y difusión de la charla a través de publicidad (ver anexo 2, 3 y 4).

La exposición del proyecto se dio con las siguientes temáticas:

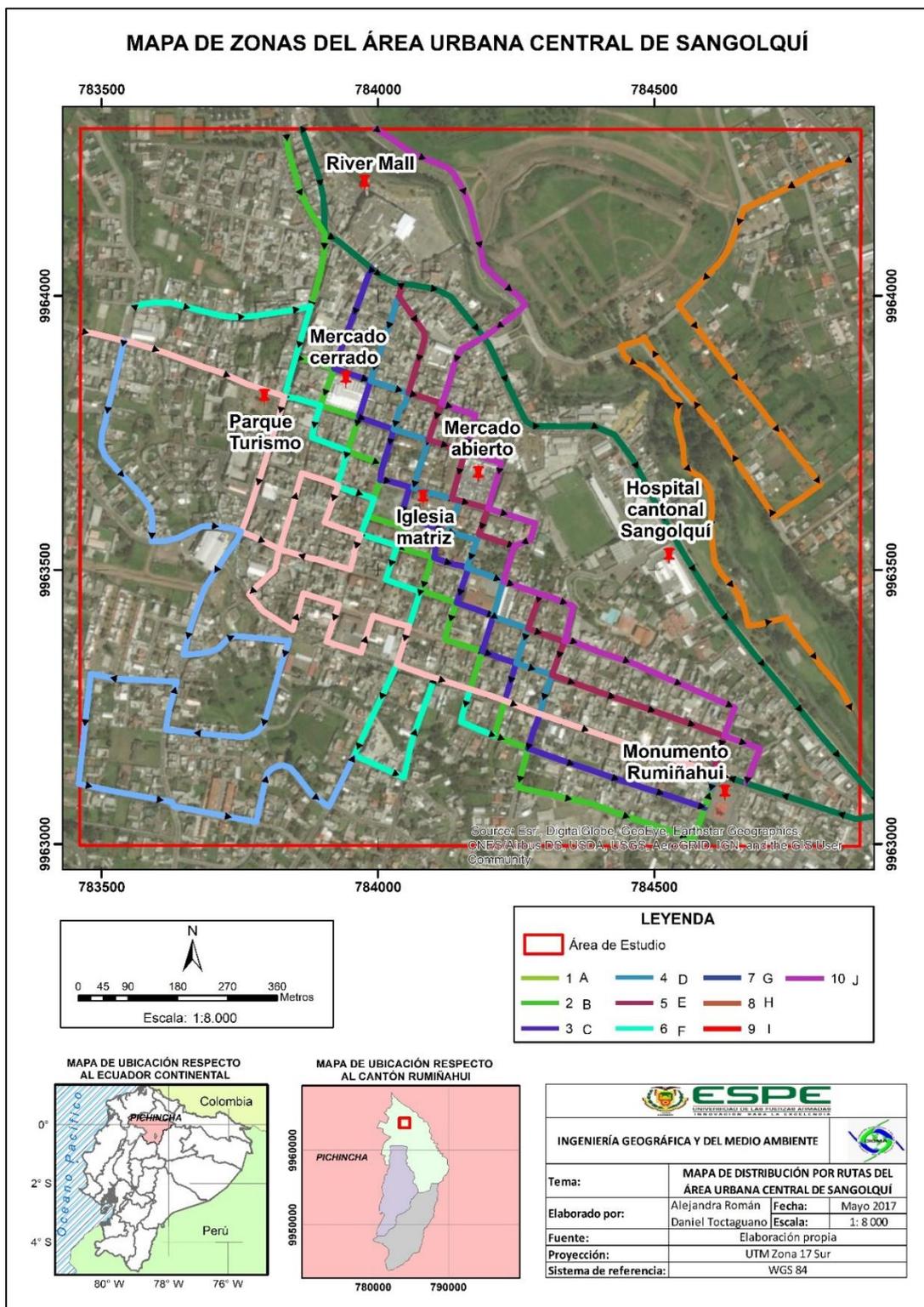
- Sanidad animal (vacunas, desparasitación, enfermedades zoonóticas)
- Modelamiento del riesgo epidemiológico por *Brucella sp.* mediante el modelo Autómata Celular
- Tenencia responsable de animales domésticos y Ordenanza 007 Fauna urbana Rumiñahui
- Control de fauna urbana: esterilizaciones, se finalizó el evento con la entrega de material didáctico y el registro del personal asistente (ver anexo 5, 6 y 7)

### 3.3. Levantamiento de información 2017

En la planificación se estableció el levantamiento de información por rutas a diferencia del 2015 ya que se observó que es más práctico hacerlo por rutas y se evita repetitividad en los caninos levantados entre zonas contiguas.

El mapa base utilizado para la digitalización de las rutas codificadas de la A a la J fue proporcionado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui 2013 escala 1:5000 constó de calles principales, secundarias y predios en formato digital shape (.shp), proyección UTM Zona 17 Sur, elipsoide WGS84.

Se determinaron 10 rutas considerando como criterio la velocidad de desplazamiento del observador, partiendo del Centro Comercial River Mall (Av. Luis Cordero 377 y Gral. Enríquez, Sangolquí) hasta el Monumento a Rumiñahui (Av. Abdón Calderón). Las rutas establecidas se observan en la figura 6:



**Figura 6** División del área de estudio por rutas

El equipo de observadores constó de 46 personas, distribuidos con dos supervisores (tesistas), 20 líderes con sus respectivos ayudantes y 4 colaboradores para todo el grupo, estos últimos tomaron fotografías del proceso y revisaron el cumplimiento del trabajo realizado por los observadores.

Las 10 rutas fueron distribuidas cada una a equipos de 2 personas y con distancia promedio de 2 km aproximadamente, para mantener equidad en el desplazamiento en todos los observadores (ver tabla 7).

**Tabla 7**

*Ubicación de las rutas*

| Ruta       | Coordenada inicial<br>(UTM 17Sur) |         | Coordenada final<br>(UTM 17Sur) |         | Distancia aprox.<br>de recorrido<br>(km) | Punto de referencia      |
|------------|-----------------------------------|---------|---------------------------------|---------|------------------------------------------|--------------------------|
|            | X                                 | Y       | X                               | Y       |                                          |                          |
| <b>1A</b>  | 783862                            | 9964304 | 784634                          | 9963121 | 2,03                                     | Hospital de Sangolquí    |
| <b>2B</b>  | 783834                            | 9964294 | 784600                          | 9963094 | 2,08                                     | Olmedo y Venezuela       |
| <b>3C</b>  | 783989                            | 9964049 | 784591                          | 9963066 | 1,62                                     | Iglesia matriz Sangolquí |
| <b>4D</b>  | 784042                            | 9964022 | 784601                          | 9963096 | 1,53                                     | Iglesia matriz Sangolquí |
| <b>5E</b>  | 784042                            | 9964022 | 784626                          | 9963123 | 1,46                                     | Mercado abierto          |
| <b>6F</b>  | 783558                            | 9963979 | 784213                          | 9963196 | 1,91                                     | Parque Turismo           |
| <b>7G</b>  | 783465                            | 9963935 | 784635                          | 9963121 | 2,60                                     | Supermercado TÍA         |
| <b>8H</b>  | 783540                            | 9963918 | 783957                          | 9963161 | 2,49                                     | General Enríquez         |
| <b>9I</b>  | 784854                            | 9964249 | 784857                          | 9963243 | 2,28                                     | Boulevard Santa Clara    |
| <b>10J</b> | 783995                            | 9964304 | 784666                          | 9963111 | 1,93                                     | Mercado abierto          |

La distribución de los equipos de trabajo se realizó en dos jornadas: diurna y nocturna, de 6:00 a 8:00 y de 18:00 a 20:00 respectivamente, con una duración de dos horas aproximadamente, considerando la velocidad de caminata de cada persona y la abundancia de caninos.

Los horarios elegidos aseguraron la presencia de caninos, ya que la WSPA recomienda que la toma de información sea antes que la basura sea recolectada y las calles transitadas.

La visualización se realizó en espacios ocultos como madrigueras y abiertos como plazas, parques, etc., considerando a cualquier canino en ruta y sin monitorear a individuos perteneciente a la ruta de otro visualizador (ver figura 7).



**Figura 7** Desplazamiento del observador

El levantamiento de información poblacional 2017 se realizó con la reformulación de la ficha 2015 e inició con la capacitación a los observadores a través de una guía metodológica (ver anexo 8) para la posterior aplicación de la ficha con los siguientes aspectos relevantes: datos generales, perfil del canino, características morfológicas, etiología canina, estructura del desplazamiento, estado nutricional, patologías caninas y variables epidemiológicas en relación a brucelosis (ver anexo 9).

La toma de datos para la ficha inició con el acercamiento al canino, contemplando las siguientes estrategias y medidas de seguridad para el visualizador:

Las estrategias de acercamiento utilizadas fueron:

- Acercarse sin disturbios y de manera silenciosa.
- Tomar una postura en cuclillas para no mostrar superioridad.
- Uso de ropa oscura para no ahuyentar al canino.
- Tener seguridad de sí mismo y empatía para no causarle malestar.
- Proveer de alimento (croquetas, pan, etc.) (ver figura 8).



**Figura 8** Provisión de alimento

Las medidas de seguridad aplicadas fueron:

- Evitar mirar a los ojos al canino.
- No asustar al canino ya que lo pondrá alerta o morderá.
- Si se visualiza que es agresivo, mantener cierta distancia.
- Si se detecta signos de rabia, no acercarse.
- Usar ropa apta para la condición climática del lugar.

El levantamiento de la ficha inició con la toma de coordenadas GPS y fotografía, como evidencia para llenar los datos si este huía, una vez llenada la ficha se marcó con spray la grupa del canino, evitando así que otro observador lo registre.

Dentro de las categorías biológicas, la diferenciación entre cachorro y adulto se hizo con el reconocimiento de las piezas dentales, a continuación, se muestra en el anexo 10 dos ejemplares de piezas dentales de caninos.

Las razas fueron distinguidas entre mestizo y pedigree de acuerdo a las características propias de cada canino observado en campo, como indica el anexo 11.

Entre las características morfológicas el color de pelaje predominante fue aquel que ocupó la mayor parte de su cuerpo (grupa, lomo, cuello, nuca), el secundario generalmente ocupó extremidades como patas, pecho, vientre, en campo se identificaron los siguientes colores (ver anexo 12).

La etiología canina fue levantada en referencia al comportamiento mostrado en campo: agresividad, miedo, afabilidad, estrés, coprofagia, estereotipias, calmado, excitabilidad, consistencia, inseguridad, sociabilidad y no determinado en caso de no expresar ninguno de los mencionados anteriormente.

La estructura del desplazamiento, el estado nutricional, las patologías caninas y variables epidemiológicas en relación a Brucelosis fueron establecidas con la observación en campo.

### 3.4. Toma de muestras sanguíneas

#### 3.4.1 Captura del canino

La captura se realizó en las zonas de mayor densidad poblacional identificadas y se seleccionó el número de caninos para las pruebas serológicas mediante la ecuación 1, la cual correspondió a una muestra aleatoria del total de caninos levantados en el periodo 2017, como se indica a continuación:

$$n = \frac{Nz^2p(1-p)}{(N-1)e^2 + z^2p(1-p)}$$

Donde:

N: Número de caninos levantados 2017

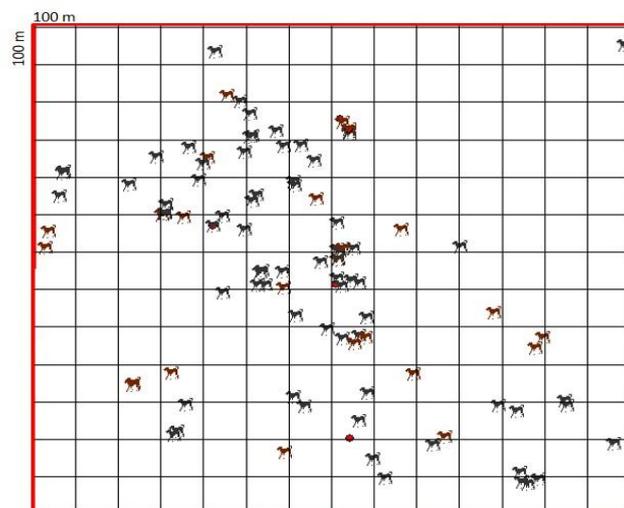
n: Número de muestra para seropositividad

p: Probabilidad de seropositivos (0,5)

z: Nivel de confianza (95% z=1,96)

e: Nivel de error dispuesto a cometer (10%)

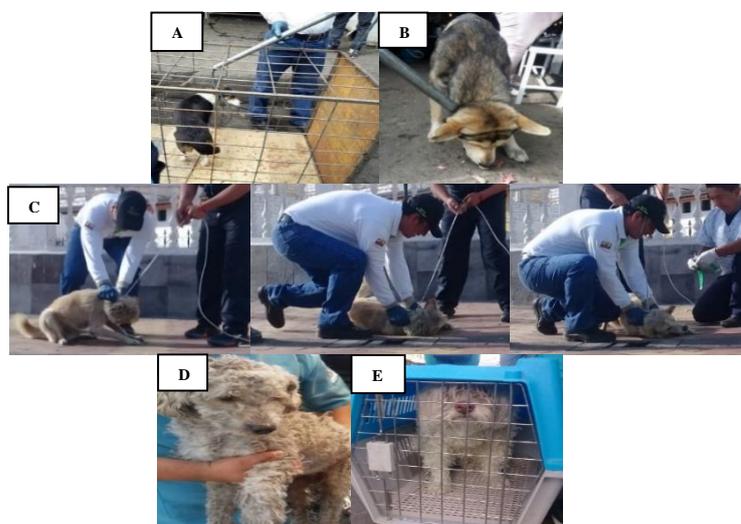
Las zonas de mayor densidad poblacional canina para el muestreo se determinaron geográficamente mediante una grilla de 100 m (cuadrados de 1 hectárea) en el área de estudio en la que se contabilizó el número de caninos en cada cuadrante (ver figura 9).



**Figura 9** Distribución densidad poblacional

En la toma de muestras se contó con 2 técnicos para iniciar con la captura aleatoria a 55 caninos correspondientes a la muestra calculada dentro de la zona de estudio, se empezó en el mercado abierto en la plaza César Chiriboga de Sangolquí, continuando hacia el Parque Turismo y finalizando en la calle Venezuela y Viñedos, lugares elegidos por la alta densidad de caninos (ver figura 17). Los métodos de captura (ver figura 10) se detallan a continuación:

- Método jaula trampa (A): Los diámetros de la jaula fueron de 155 x 0,55 x 0,55 (cm), la comida colocada dentro de la jaula permitió que el canino ingrese y que la puerta se cierre, el tiempo estimado fue de 15 a 20 minutos aproximadamente.
- Lazo percha (B): El diámetro de la soga (lazo) fue de 2 cm y 3m de largo, se envolvió el cuello del canino y se estiró hacia atrás con el mango tubular de 8 cm de diámetro, para que el cuello quede seguro y pueda ejecutarse la sujeción.
- Método manual: (C) Se realizó con una soga trenzada de 2 cm de diámetro y 2 m de largo, se dispuso alrededor del cuello del canino y se estiró de manera que quede asegurado, presionando la cabeza evitando así mordeduras. (D) En caninos con comportamiento afable, la sujeción manual se desarrolló sin el uso de las herramientas mencionadas anteriormente, ya que bastó el acercamiento al canino para su sujeción y posterior toma de muestras.
- Método con kennel (E): Las dimensiones varían de acuerdo al tamaño del canino, en este caso fue de 80 x 60 x 80 (cm), se ingresó al canino y se cerró la puerta, se aplicó en individuos a los que se les transportó de un lugar a otro. Los métodos (A), (B), (D) y (E) son aplicables en caninos con comportamiento miedoso, agresivo, estresado y/o inseguro.



**Figura 10** Métodos de captura canina

La medida de seguridad para evitar mordeduras al personal fue realizar un bozal auxiliar, atando una cinta sobre nariz, dando una vuelta bajo la mandíbula y formando un lazo tras las orejas del canino como indica el anexo 13.

### 3.4.2. Sujeción de caninos

El proceso de sujeción consistió en la preparación del individuo para la toma de muestras, en caninos miniaturas, pequeños y medianos hasta 60 cm arrodillarse a nivel del suelo, en grandes y gigantes hasta 1 m mantenerse con entre piernas parcialmente flexionadas y con el animal entre ellas, en ambos casos colocar el brazo derecho alrededor del cuello y el otro en el torso con el fin de inmovilizar al para brindar condiciones de seguridad al personal médico (ver figura 11).



*Figura 11* Sujeción canina

### 3.4.3. Punción

Los materiales utilizados fueron: vestimenta quirúrgica, guantes de látex o nitrilo, torniquete elástico, jeringuillas, aguja calibre 20 – 22/ 1,5 pulgadas de longitud, algodón, alcohol, tubos de 1 ml tapa roja sin anticoagulante, recipientes plásticos para separación de residuos, fundas plásticas rojas.

En la toma de muestras, participó un Médico Veterinario Zootecnista responsable de la extracción de sangre a los 55 caninos y 15 Auxiliares de Veterinaria del Instituto de Innovación e Investigación “SUPERARSE” de la sujeción del grupo objetivo.

La punción de la vena cefálica se dio en el centro del antebrazo del animal con el uso de un torniquete, cuando la vena se inmovilizó con el dedo pulgar del veterinario, se limpió el área sin rasurar (a elección) con alcohol y algodón.

Se extrajo 1 ml de sangre (cantidad para especies pequeñas) insertando la aguja con el bisel hacia arriba y una vez obtenida se retiró el torniquete para sacar la aguja (ver figura 12).



*Figura 12* Toma de muestra sanguínea

Los residuos generados en esta etapa se depositaron en dos recipientes para residuos corto punzantes (ver anexo 14), para ser enviados a la Clínica Veterinaria Tu Huella Mi Huella (Valle de los Chillos) para su posterior envío a un gestor de tratamiento.

#### **3.4.4. Manejo, identificación, almacenamiento y transporte de la muestra**

Los materiales empleados fueron: caja térmica (cooler) de dimensiones 50 x 50 cm, gel refrigerante, gradilla plástica, esferográfico o marcador.

La sangre extraída del canino se transfirió al tubo de muestra para química sanguínea (tapa roja) dejándola caer suavemente por su pared evitando así la hemólisis (desintegración glóbulos rojos) y errores en los resultados. Una vez depositada, cerrar el tubo ejerciendo presión para impedir derrames en el transporte (ver anexo 15).

La identificación y almacenamiento de las muestras fue de acuerdo al Instructivo INTD/DA/019, en este caso se etiquetó cada tubo con la letra T: Testigo y números arábigos del 1 al 55, ej.: T1 correspondiente al testigo 1 (canino 1). Las muestras se colocaron en la gradilla e ingresaron en la caja térmica con el gel refrigerante para ser enviadas al laboratorio hasta 48 horas.

Las etiquetas de peligrosidad tipo 6 y dirección (ver anexo 15 y 16) se colocaron en la parte delantera de la caja térmica, registrándola, así como una sustancia infecciosa y su sentido de dirección (ver figura 13).



**Figura 13** Identificación y almacenamiento de la muestra

Adicional se adjuntó una hoja de datos del remitente: nombre del responsable del envío, dirección, teléfonos, tipo, número de muestras, indicar si contiene agentes zoonóticos. (ver anexo 18).

El transporte se ejecutó manteniendo la cadena de frío para muestras líquidas según el Instructivo INT/DA/019 de AGROCALIDAD, con una temperatura entre 2 a 8 (°C) y envoltura de material absorbente para evitar derrames, en caso de existir no utilizar los artículos y/o vehículo antes de ser desinfectados o descontaminados según el procedimiento de limpieza del Instructivo (ver anexo 19).

### **3.4.5. Análisis de laboratorio**

Las 55 muestras fueron analizadas en el Laboratorio V/R Clínico Bacteriológico e Histopatológico de la Clínica San Rafael, Valle de los Chillos, Ecuador; categorizado según el Instructivo INT/DA/019 como Laboratorio de diagnóstico rápido habilitado por su experiencia y capacitación por AGROCALIDAD para tal efecto.

La técnica usada fue seroaglutinación rápida en placa según método Huddleson, elegida por la pronta revelación de aglutininas anti – *Brucella* con suspensión antigénica generando posteriormente una aglutinación microscópica positiva o negativa. Es una prueba de tamizaje sujeta a errores operacionales y de baja especificidad usada en países de América Latina incluido Ecuador.

### **3.5. Modelo Autómata Celular**

El modelo Autómata Celular se diseñó con tres etapas: seguimiento de individuos seropositivos para determinación de factores, el modelo espacial con el software ArcGis detallados a continuación:

#### **3.5.1. Seguimiento de individuos seropositivos**

El seguimiento se realizó al canino seropositivo N°03, a partir de las 7 am hasta las 5 pm, con el fin de registrar geográficamente la ruta del canino con el uso de GPS navegador marca GARMIN. Los factores fueron levantados a partir de la ruta de seguimiento, en la jornada se registró el contacto del canino con el humano y con otros animales, así como la interacción con su entorno como demuestra el anexo 20.

#### **3.5.2. Modelamiento espacial**

Para el modelamiento espacial se definieron tres factores sociales, subsistenciales y de entorno, cada una con sus respectivas variables se tomaron en cuenta las variables dependiendo de la información disponible y levantada, las cuales involucran el riesgo de contagio de la enfermedad en la zona de estudio ver tabla 8.

Los factores sociales en este estudio se consideraron como única variable la afluencia de personas a mercados, debido a la disponibilidad de información en el Estudio de Impacto Ambiental del mercado cerrado de Sangolquí en donde indica el área de influencia directa de 50 metros, definido a partir de su área implantada es decir el polígono que define su contorno.

Los factores subsistenciales en este estudio se consideraron 3 variables: relación canino-canino, alimentación y generación de excretas líquidas.

Para la relación canino-canino se tomó en cuenta un área de influencia de  $0,175 \text{ km}^2$  contacto del canino seropositivo en la dispersión de la enfermedad con otros; para la alimentación se tomó en cuenta el estudio realizado por Font, 1987 que el desplazamiento canino en busca de alimento en áreas urbanas es de  $0,015 \text{ km}^2$  y el área de influencia de excretas líquidas se definió a partir del promedio de distancias donde el canino seropositivo las realizó.

Las variables definidas en los factores de entorno fueron densidad poblacional canina y área de marcación territorial del canino seropositivo.

**Tabla 8**

*Factores sociales, subsistenciales y de entorno*

| <b>Factores Sociales (FS)</b>                 |                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Variables</b>                              | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                |
| Afluencia de personas a mercados (SaP)        | Área de influencia directa 50 m <sup>2</sup> de acuerdo al estudio de impacto ambiental ex post del mercado cerrado parroquia Sangolquí.                          |
| <b>Factores Subsistenciales (FSub)</b>        |                                                                                                                                                                   |
| <b>Variables (Puntos de contacto)</b>         | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                |
| Relación canino - canino (Cca)                | El área de influencia se determinó mediante la ruta de seguimiento equivalente a 0,175 km <sup>2</sup>                                                            |
| Alimentación (a)                              | Área de influencia basada en un estudio de Font, 1987: desplazamiento canino en busca de alimento en áreas urbanas es de 0,015 km <sup>2</sup>                    |
| Generación de excretas líquidas (NB)          | La distancia de influencia fue 54,45 m lineales, determinada a partir de un promedio de las distancias entre cada punto donde el canino generó excretas líquidas. |
| <b>Factores de Entorno (FE)</b>               |                                                                                                                                                                   |
| <b>Variables</b>                              | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                |
| Densidad poblacional canina (dPc)             | Con una grilla de 1 ha obteniendo un ráster de densidad poblacional de #individuo/ha.<br>A mayor densidad mayor riesgo epidemiológico.                            |
| Área de marcación territorial del canino (At) | Con la ruta de seguimiento ya que el canino marcó su territorio a través de sus orines.                                                                           |

Todas las variables fueron normalizadas a valores de 0 al 1 tomando en cuenta que el valor 0 representa un riesgo epidemiológico nulo y el 1 un riesgo alto siendo las variables definidas las condiciones ideales para el riesgo de contagio de la enfermedad.

Los factores fueron ponderados a partir de una matriz de priorización o jerarquización de riesgos para la Brucelosis tomando en cuenta el análisis bibliográfico sobre cuál es el factor que mayor y menor riesgo epidemiológico produce, según la doctora Laura Castrillón Veterinaria

de la Universidad de Antioquia en una entrevista realizada en agosto de 2010 dice que al ser el canino un animal de alto contacto con los humanos, el mayor riesgo para contagiarse una persona es por los orines y contacto con el animal infectado (ver tabla 9):

**Tabla 9**

*Matriz de priorización de riesgos para brucelosis*

| <b>Factores</b> | <b>Sociales</b> | <b>Subsistenciales</b> | <b>Entorno</b> | <b>Suma de factores</b> | <b>Ponderación de factores</b> |
|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| Sociales        |                 | 1                      | 1,51           | 2,51                    | <b>0,33</b>                    |
| Subsistenciales | 1               |                        | 3,03           | 4,03                    | <b>0,54</b>                    |
| Entorno         | 0,66            | 0,33                   |                | 0,99                    | <b>0,13</b>                    |
| <b>Total</b>    | <b>1,66</b>     | <b>1,33</b>            | <b>4,54</b>    | <b>7,53</b>             | <b>1</b>                       |

Las ecuaciones que se utilizaron para la identificación de las zonas de mayor riesgo epidemiológico fueron:

$$\mathbf{FS} = \text{SaP} \quad (5)$$

$$\mathbf{FSub} = \text{Cca} + a + \text{NB} \quad (6)$$

$$\mathbf{FE} = \text{dPc} + \text{At} \quad (7)$$

$$\mathbf{AC} = (0,33 \times \text{FS}) + (0,54 \times \text{FSub}) + (0,13 \times \text{FE}) \quad (8)$$

### 3.5.3. Modelo matemático epidemiológico SIR

El modelo Autómata Celular aplicado matemáticamente, requirió de ciertos parámetros iniciales obtenidos en la etapa de campo y análisis de laboratorio. Para estimar el número total de la población canina se utilizó el método de recaptura aplicando la siguiente fórmula:

$$\frac{M}{N} = \frac{x}{n} \quad (9)$$

Donde:

M: Total de caninos levantados

N: Población total

x: Caninos repetidos entre el levantamiento inicial y la muestra para las pruebas serológicas.

n: Total individuos 2da captura

Para el cálculo del índice de transmisión  $\beta$  se utilizó la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{\text{Nº de infectados}}{\text{Nº total de población}} \quad (10)$$

Para el índice de recuperación  $\gamma$  se aplicó la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{\text{Nº de recuperados}}{\text{Nº total de población}} \quad (11)$$

Las ecuaciones 9, 10 y 11 se aplicaron con el uso del software Matlab (ver anexo 21).

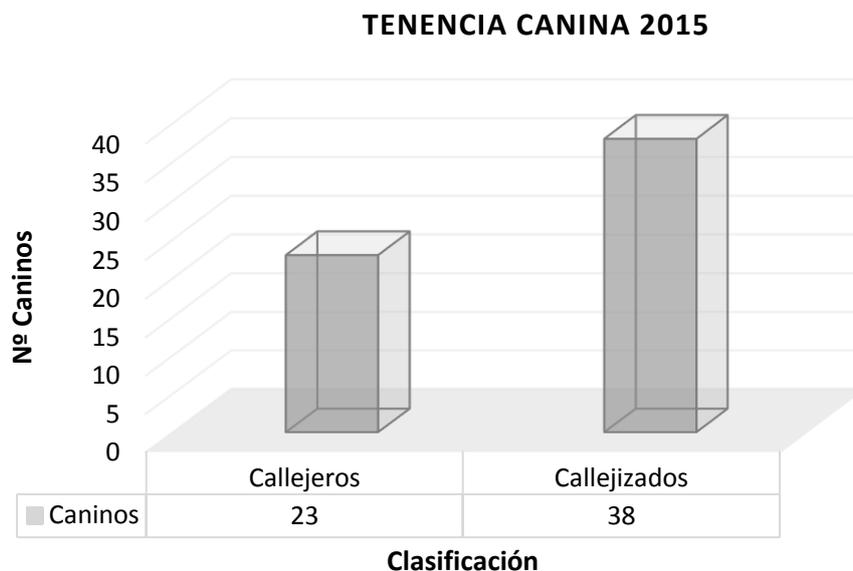
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Levantamiento poblacional canino

El levantamiento poblacional 2015 muestreó 61 individuos, la clasificación de tenencia se observa en la figura 14.

El 38% son callejeros y el 62% callejizados.



**Figura 14** Clasificación de tenencia canina

En la distribución por sexo se obtuvieron 38 machos, 21 hembras y 2 caninos sin tipificación por dificultad en la visualización en la etapa de campo.

Mencionados valores corresponden al 62%, 34% y 4% respectivamente.

La frecuencia y dispersión de individuos en las 27 zonas se detalla a continuación en la tabla 10:

**Tabla 10**  
*Distribución zonal de caninos*

| <b>Nº de zona</b> | <b>Machos</b> | <b>Hembras</b> | <b>N/D</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Dispersión</b> |
|-------------------|---------------|----------------|------------|-------------------|-------------------|
| <b>1</b>          | 0             | 0              | 0          | 0                 | Nula              |
| <b>2</b>          | 1             | 0              | 0          | 1                 | Solitario         |
| <b>3</b>          | 1             | 0              | 0          | 1                 | Solitario         |
| <b>4</b>          | 1             | 3              | 0          | 4                 | Manada            |
| <b>5</b>          | 0             | 1              | 0          | 1                 | Solitario         |
| <b>6</b>          | 0             | 0              | 0          | 0                 | Nula              |
| <b>7</b>          | 3             | 2              | 0          | 5                 | Manada            |
| <b>8</b>          | 3             | 0              | 0          | 3                 | Manada            |
| <b>9</b>          | 4             | 1              | 0          | 5                 | Manada            |
| <b>10</b>         | 1             | 0              | 0          | 1                 | Solitario         |
| <b>11</b>         | 0             | 1              | 0          | 1                 | Solitario         |
| <b>12</b>         | 3             | 2              | 0          | 5                 | Manada            |
| <b>13</b>         | 1             | 0              | 0          | 1                 | Solitario         |
| <b>14</b>         | 2             | 1              | 0          | 3                 | Manada            |
| <b>15</b>         | 1             | 0              | 0          | 1                 | Solitario         |
| <b>16</b>         | 0             | 0              | 0          | 0                 | Nula              |
| <b>17</b>         | 0             | 0              | 0          | 0                 | Nula              |
| <b>18</b>         | 2             | 0              | 1          | 3                 | Manada            |
| <b>19</b>         | 0             | 0              | 0          | 0                 | Nula              |
| <b>20</b>         | 1             | 1              | 0          | 2                 | Manada            |
| <b>21</b>         | 0             | 0              | 0          | 0                 | Nula              |
| <b>22</b>         | 6             | 3              | 0          | 9                 | Manada            |
| <b>23</b>         | 2             | 1              | 0          | 3                 | Manada            |
| <b>24</b>         | 6             | 3              | 0          | 9                 | Manada            |
| <b>25</b>         | 1             | 0              | 0          | 1                 | Solitario         |
| <b>26</b>         | 0             | 0              | 0          | 0                 | Nula              |
| <b>27</b>         | 1             | 1              | 0          | 2                 | Manada            |
| <b>TOTAL</b>      | <b>40</b>     | <b>20</b>      | <b>1</b>   | <b>61</b>         |                   |

En las zonas 4, 7, 8, 9, 12, 14, 18, 20, 22, 23, 24 y 27 la dispersión de los caninos fue en manada, obteniendo en campo aproximadamente de 2 a 9 individuos, mientras que en la 2, 3, 5, 10, 11, 13, 15, 25 de forma individual es decir a 1 individuo, en ambas zonas la distribución fue de forma aleatoria (ver figura 15).

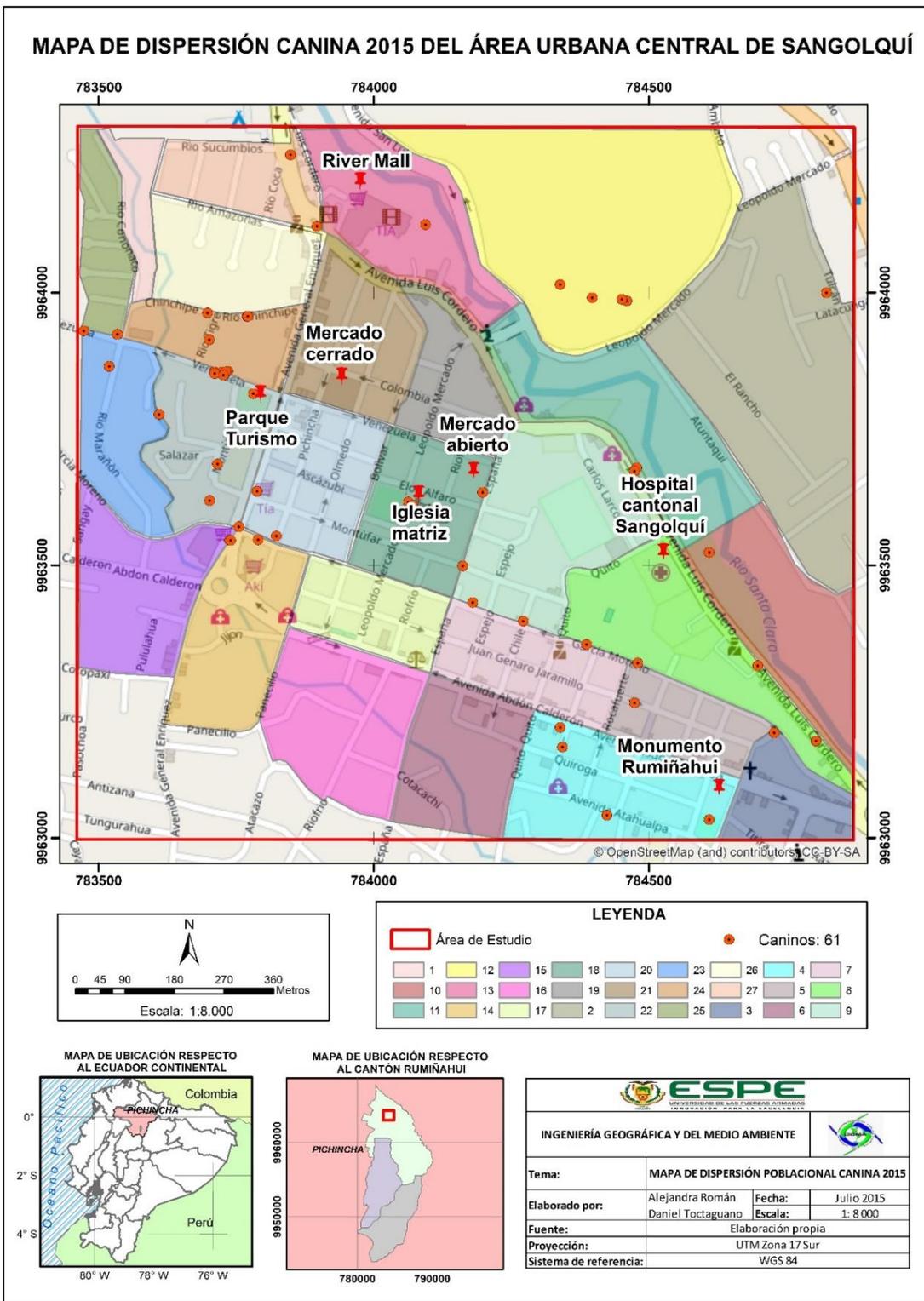


Figura 15 Distribución poblacional canina 2015

El estado sanitario de los caninos se resume en la tabla 15, presentando el 84% un enfermedad o traumatismos, mientras el 16% un buen estado.

**Tabla 11.**

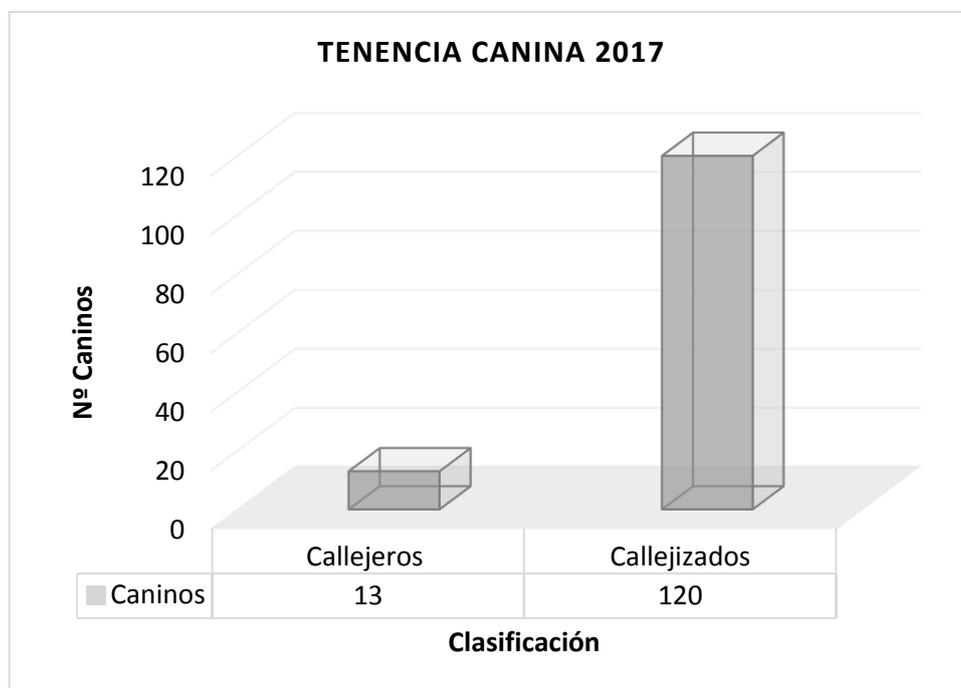
*Estado sanitario canino*

| Tipo de enfermedad y/o Traumatismo | Frecuencia |
|------------------------------------|------------|
| Sarna                              | 9          |
| Parásitos                          | 45         |
| Cortes corporales                  | 7          |
| Total                              | 61         |

La base de datos total del levantamiento 2015, se presenta en el anexo 22.

El levantamiento poblacional canino 2017 arrojó 133 individuos, la jornada diurna 68 individuos, 11 eran callejeros, 57 callejizados y en la nocturna 72 individuos, 16 callejeros y 56 callejizados.

La clasificación total de tenencia canina total se detalla en la figura 16, donde 10% son callejeros y 90% callejizados:



**Figura 16** Clasificación de tenencia canina

En la distribución por género se obtuvo 88 machos, 40 hembras y 5 no identificados, que corresponden a 66%, 30% y 4% respectivamente, la frecuencia y dispersión de individuos en las 10 rutas se detalla a continuación:

**Tabla 12**  
*Distribución de caninos por rutas*

| <b>Ruta</b>  | <b>Machos</b> | <b>Hembras</b> | <b>N/D</b> | <b>Frecuencia</b> |
|--------------|---------------|----------------|------------|-------------------|
| <b>1A</b>    | 10            | 6              | 0          | 16                |
| <b>2B</b>    | 10            | 1              | 0          | 11                |
| <b>3C</b>    | 9             | 2              | 0          | 11                |
| <b>4D</b>    | 9             | 3              | 0          | 12                |
| <b>5E</b>    | 12            | 0              | 1          | 13                |
| <b>6F</b>    | 4             | 0              | 2          | 6                 |
| <b>7G</b>    | 12            | 4              | 0          | 16                |
| <b>8H</b>    | 7             | 12             | 0          | 19                |
| <b>9I</b>    | 2             | 3              | 0          | 5                 |
| <b>10J</b>   | 13            | 9              | 2          | 24                |
| <b>TOTAL</b> | <b>88</b>     | <b>40</b>      | <b>5</b>   | <b>133</b>        |

La densidad poblacional canina se concentró de 4 a 10 caninos en 5 zonas o focos (ver figura 17):

- Sector River Mall
- Parque Turismo
- Mercado abierto de Sangolquí
- Sector Santa María
- Monumento a Rumiñahui

De ellos el Mercado abierto de Sangolquí y Parque Turismo presentó mayor densidad, por la provisión de alimento y/o abrigo, cualidades observadas en campo al momento tanto del levantamiento de información como de toma de muestras sanguíneas.

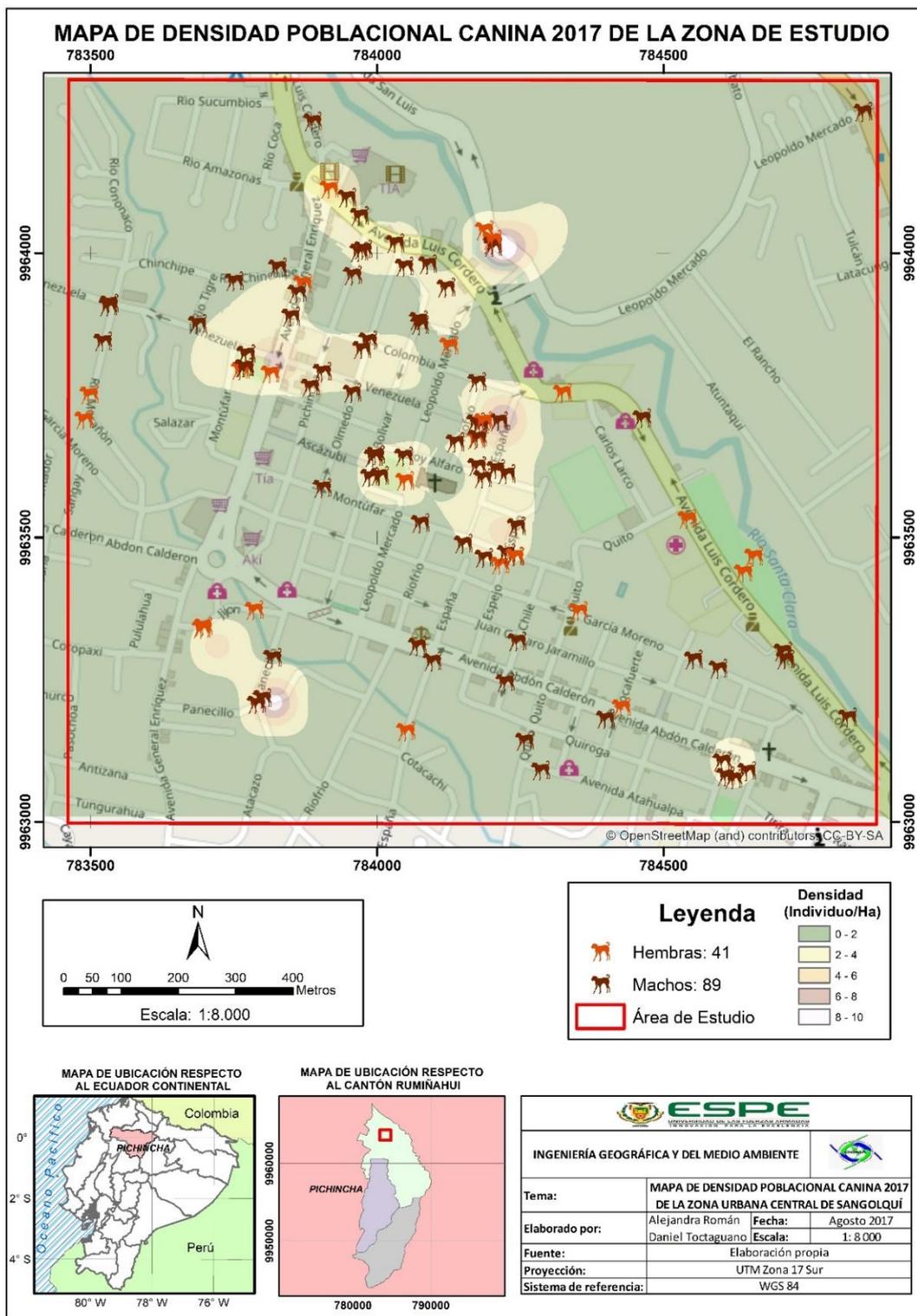
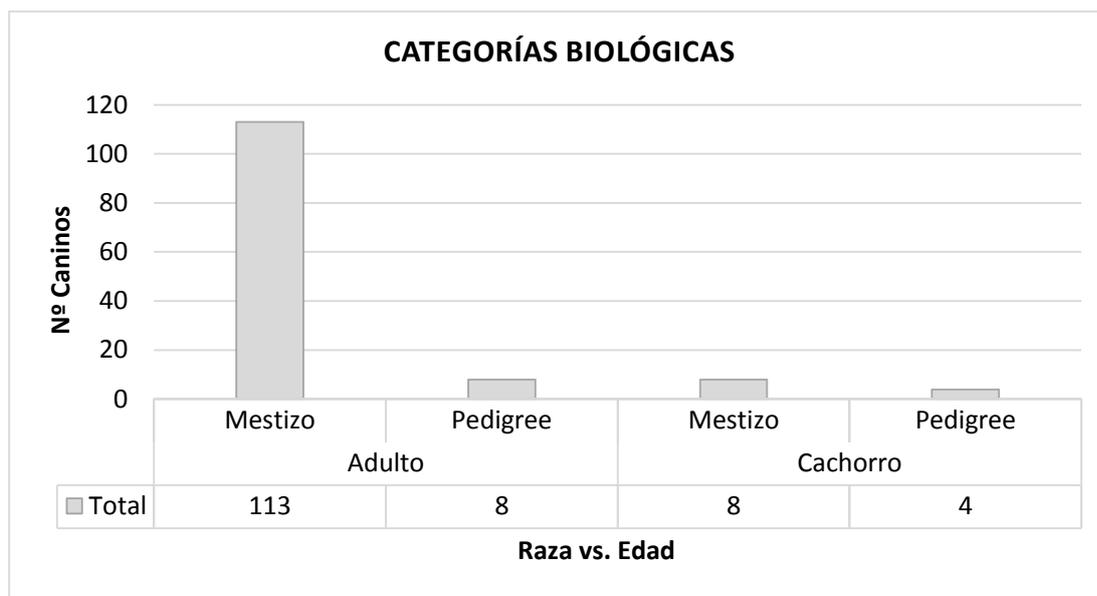


Figura 17 Densidad poblacional canina 2017

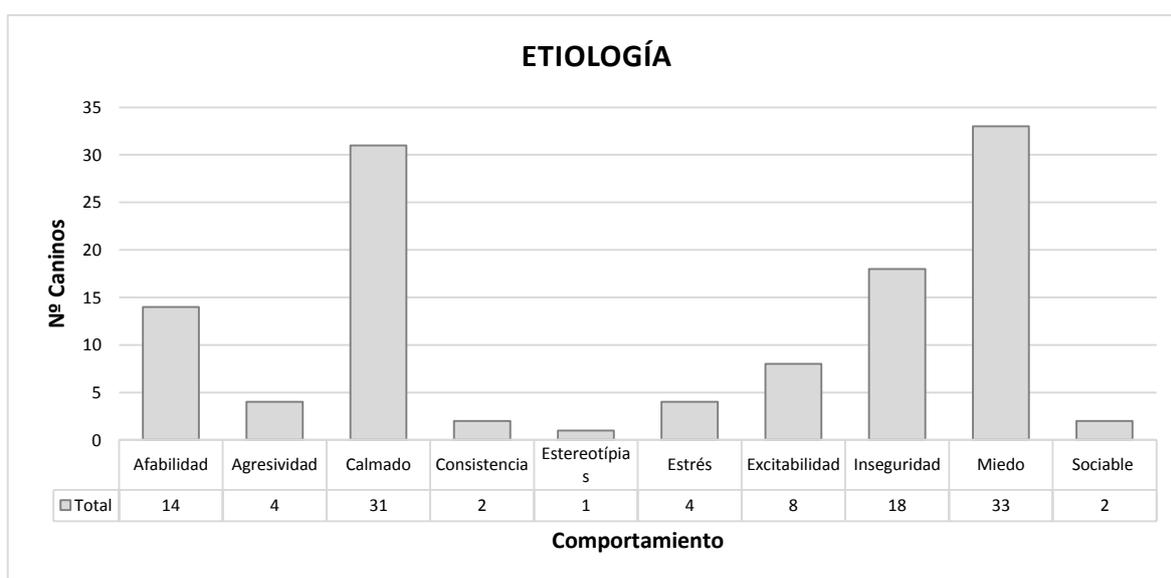
En las categorías biológicas, 121 individuos fueron adultos y 12 cachorros, los valores de distinción entre mestizo y pedigree se presentan en la figura 18.

En los adultos 93% fueron mestizos mientras que el 7% pedigree y en cachorros el 6% mestizos y 3% pedigree.



*Figura 18* Categorías biológicas caninas

En el área de estudio, los tipos de comportamientos de los caninos se detallan en la figura 19, los individuos calmados y miedosos reflejaron el mayor porcentaje con 24% y 25% respectivamente.



*Figura 19* Comportamiento canino

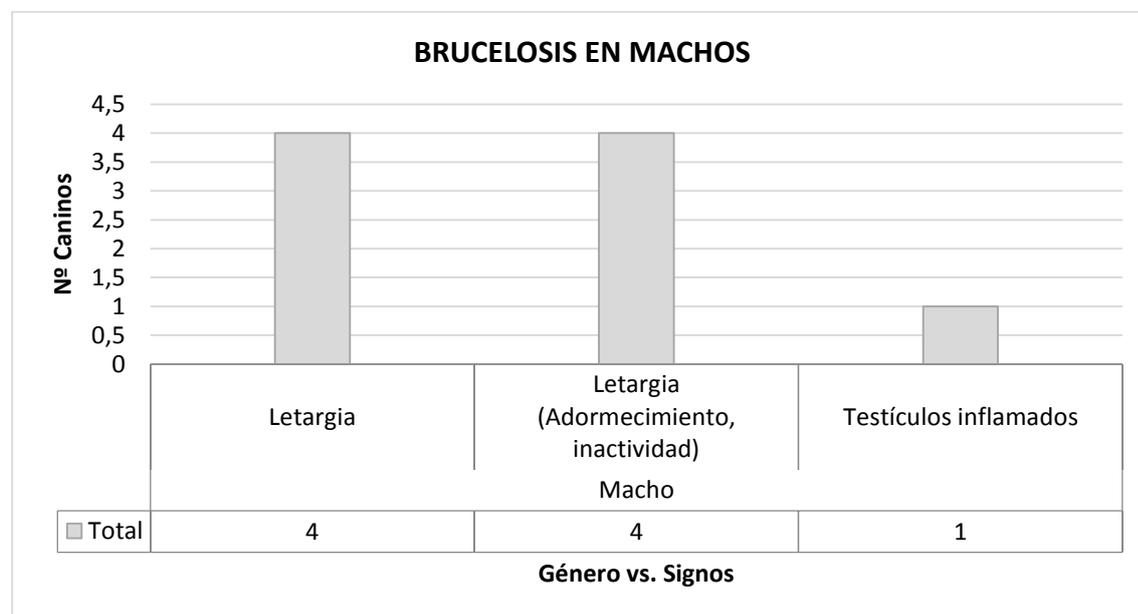
Las patologías de los caninos se resumen en la tabla 13, presentando el 70% una patología, mientras el 30% un buen estado, del total 59 (43%) son delgados, 9 (7%) gordos, 1 (1%) obeso, 2 (2%) raquíuticos y 62 (47%) con apariencia normal.

**Tabla 13.**

*Estado sanitario canino*

| Patología            | Frecuencia |
|----------------------|------------|
| Sarna                | 9          |
| Garrapatas           | 7          |
| Pulgas               | 69         |
| Temblores            | 3          |
| Exceso de salivación | 2          |
| Secreción acuosa     | 1          |
| Nariz seca           | 2          |
| Ninguna              | 40         |
| <b>Total</b>         | <b>133</b> |

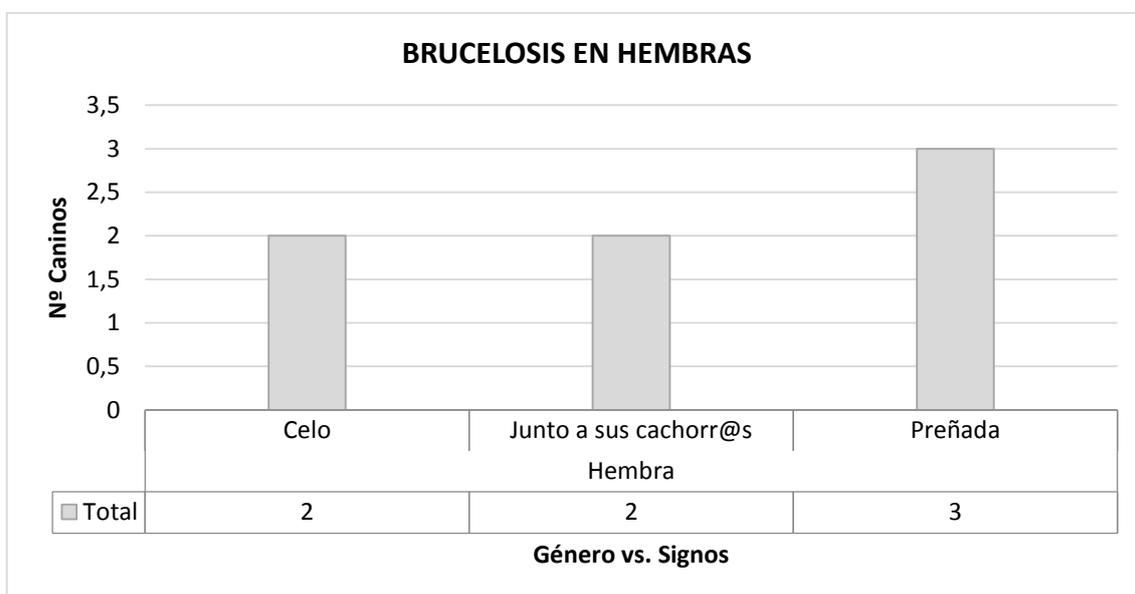
Los signos de Brucelosis diferenciados por género se muestran en la figura 20 y 21. Letargia indica 5% de manera general y 1% en testículos inflamados.



**Figura 20** Signos de Brucelosis en machos

De los datos presentados, el 89% de los machos no presentan signos de brucelosis.

El 5% presenta celo, 5% se muestran junto a sus cachorros y el 8% están preñadas.



**Figura 21** Signos de Brucelosis en hembras

El 82% de hembras no muestran signos de la enfermedad.

El 1% ingirió placenta de fetos de vaca, el 2% vísceras y el 4% huesos de res, pollo y/o cerdo, el 81% se alimentaba de basura, tomando en cuenta que la bacteria *Brucella sp.* puede estar presente en estos desperdicios si están incluidos los alimentos mencionados en la tabla 5.

La base de datos total del levantamiento 2017, se presenta en el anexo 23.

#### **4.2. Ruteo de vectores seropositivos por *Brucella sp.***

Los 55 caninos designados como testigos para la toma de muestras sanguíneas, se observa en el registro fotográfico del anexo 24. La prueba de laboratorio reveló los siguientes resultados: 53 caninos negativos y 2 con resultado positivo, los exámenes de laboratorio identificados por individuo y el resultado de seropositividad, se encuentra en el anexo 25. En el seguimiento de los individuos seropositivos se obtuvieron 79 sitios con coordenadas GPS (ver figura 22), de los cuales 9 el canino tuvo contactos con el ser humano, 8 con otros caninos, 5 se alimentó, 50 marcó territorio con orines y 7 descansó (ver anexo 26).

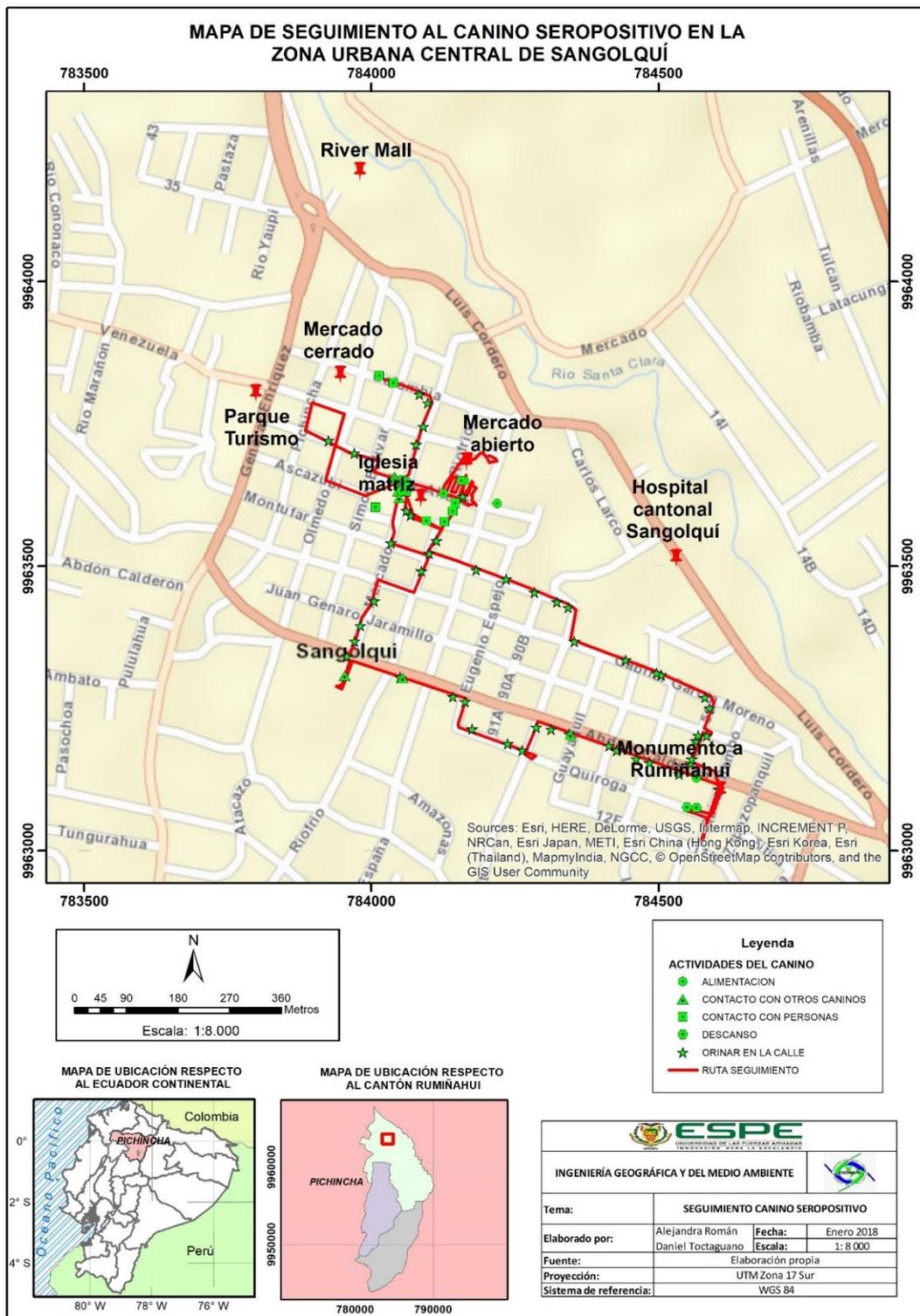


Figura 22 Puntos y ruta de seguimiento al canino infectado

### 4.3. Geolocalización de factores

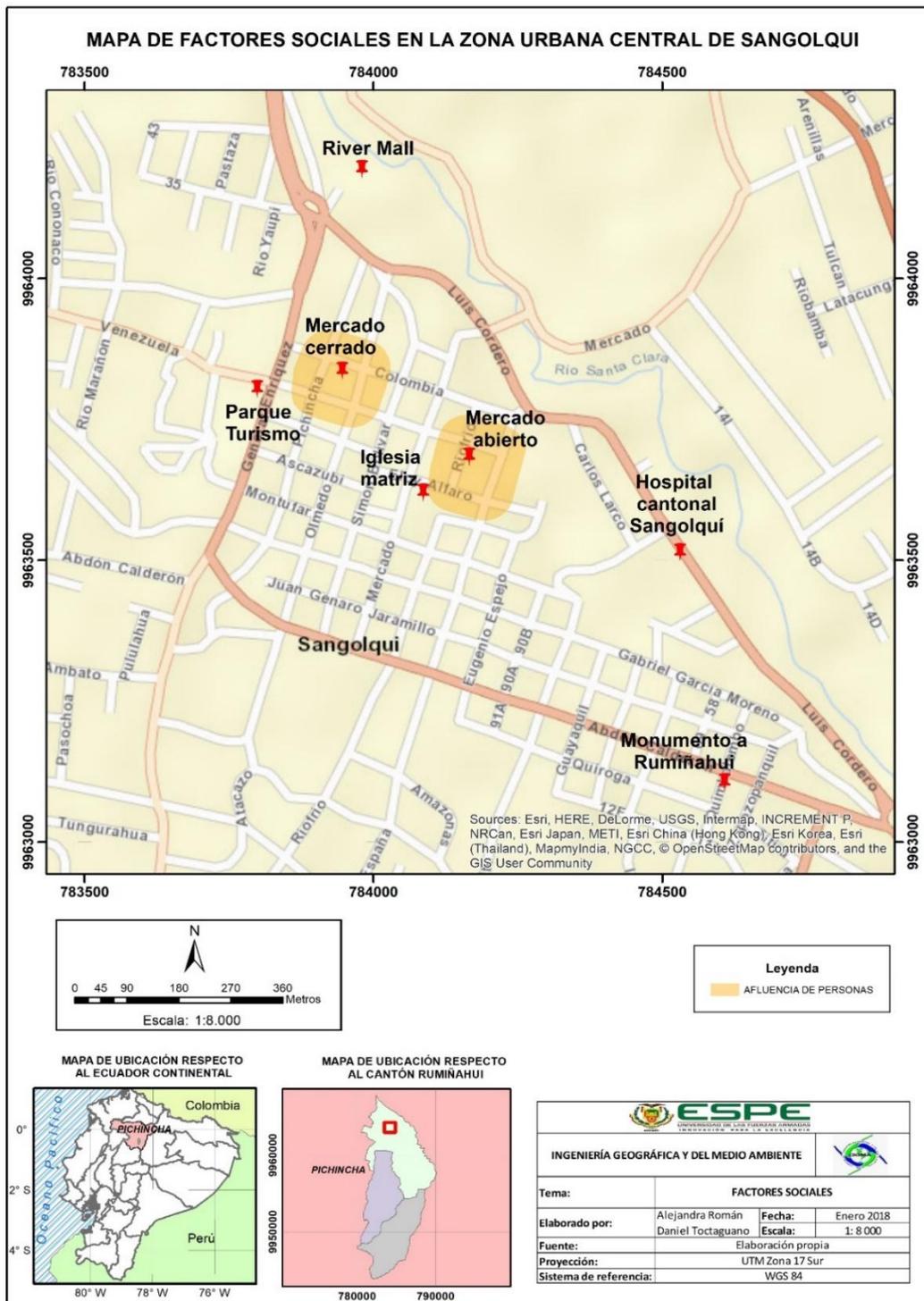
Los factores sociales fueron los sitios de mayor afluencia de personas, los lugares definidos fueron: Mercado cerrado de Sangolquí y Mercado abierto de Sangolquí debido a la información bibliográfica del área de influencia directa, aunque en el estudio de impacto ambiental se define un área de influencia indirecta solamente se tomó en cuenta el área de influencia directa. El área directa definida fue en base al área implantada (ver figura 23).

La base implantada se definió a partir del área física de construcción del mercado del cual se tomó una distancia de 50 metros para formar el área de afluencia de personas con la cual se definió el área de influencia del mercado abierto, el área de afluencia directa se refiere donde permanecen mayor tiempo las personas en días de feria.

Existen varios sitios de afluencia de personas que no se consideraron dentro del modelamiento para el riesgo epidemiológico debido a la falta de información y estudios del área de influencia directa para parques, centros comerciales, etc.

Con la información anterior se permitiría en el modelamiento identificar nuevas zonas donde existe riesgo de contagio de la enfermedad en estudio.

Las dos zonas definidas para el modelamiento son zonas de alto impacto social ya que la afluencia de personas en estos lugares es muy alta teniendo una población variable en diferentes horas del día, el mercado abierto presenta mayor variabilidad en la cantidad de personas que acuden al mismo a realizar sus compras o en su defecto a comer.



*Figura 23* Factores sociales

Los factores subsistenciales fueron: la alimentación con  $0,015 \text{ km}^2$ , el contacto con otros caninos con  $0,175 \text{ km}^2$  como áreas de influencia respectivamente y las necesidades biológicas con 54,45 metros lineales.

En el análisis que realiza Font de acuerdo a la alimentación se presenta un área de  $0,015 \text{ km}^2$  que significa a aquella que está dispuesto un canino a desplazarse en busca de alimentos en zonas rurales, en el seguimiento realizado en este estudio se obtuvo un área mayor a la de Font debido a la disponibilidad de alimento áreas urbanas y el (ver figura 24).

El contacto con otros caninos se definió a partir del área que está dispuesto a desplazarse el canino al que se realizó el seguimiento, así se determinó que los caninos son territoriales por ende si tiene contacto un canino con otro el área será similar al canino seguido, en el cual se obtuvieron ciertos lugares donde el canino tuvo contacto con otros a partir de esto se realizó un buffer de influencia de  $0,175 \text{ km}^2$ .

Las necesidades biológicas se definieron a partir de los sitios donde el canino marco su territorio a través de sus orines, tomando un área de influencia a partir del promedio entre las distancias entre cada punto donde el mismo realizó el marcaje con sus orines.

La variable orines es una de las más influyentes en el riesgo epidemiológico ya que a partir de los orines del canino infectado existe mayor riesgo de contagio ya sea para otros caninos como para las personas ya que si una persona tiene contacto con los orines del canino esta puede infectarse de la enfermedad lo que hace que el riesgo epidemiológico en esta zona aumente.

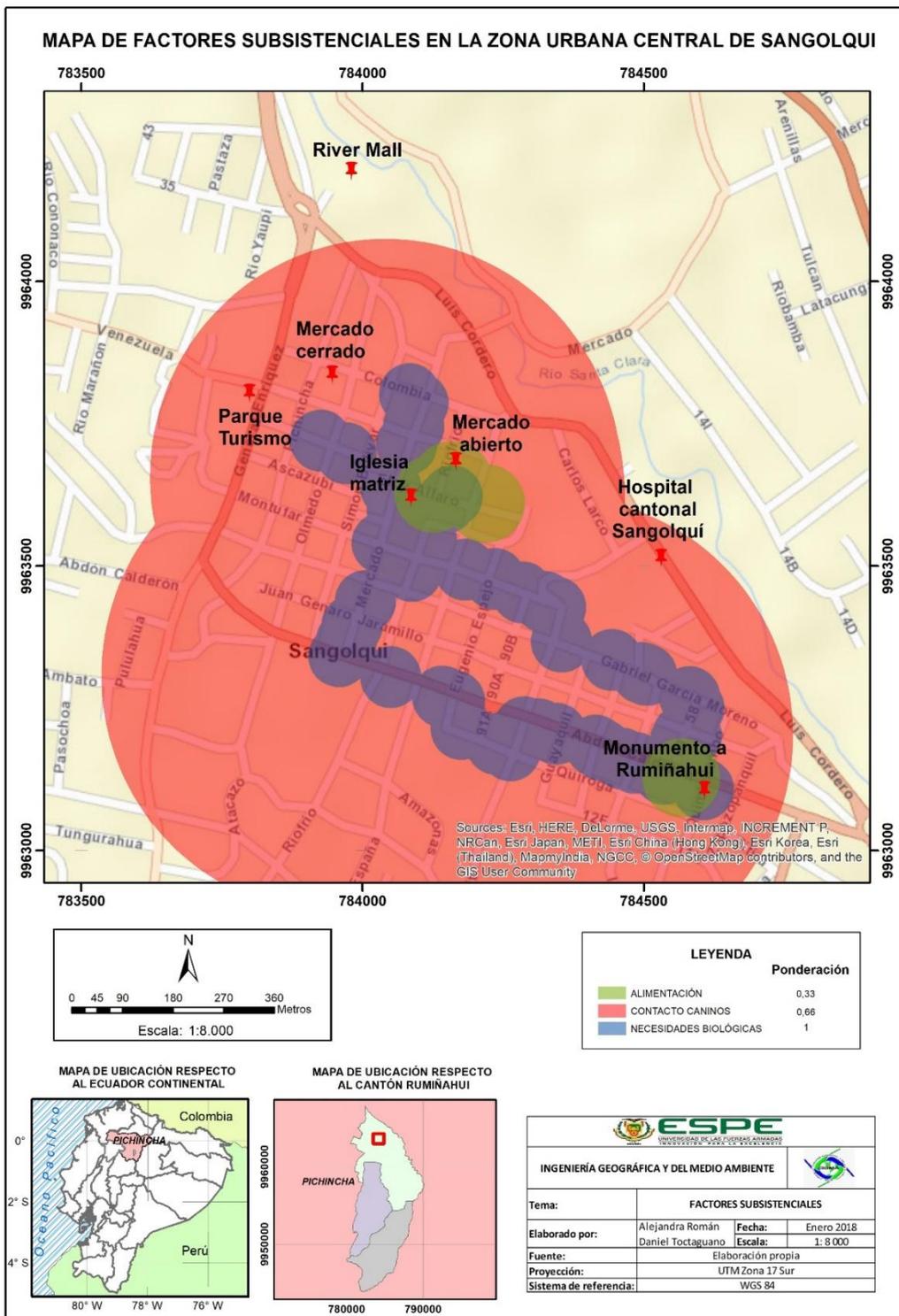


Figura 24 Factores subsistenciales

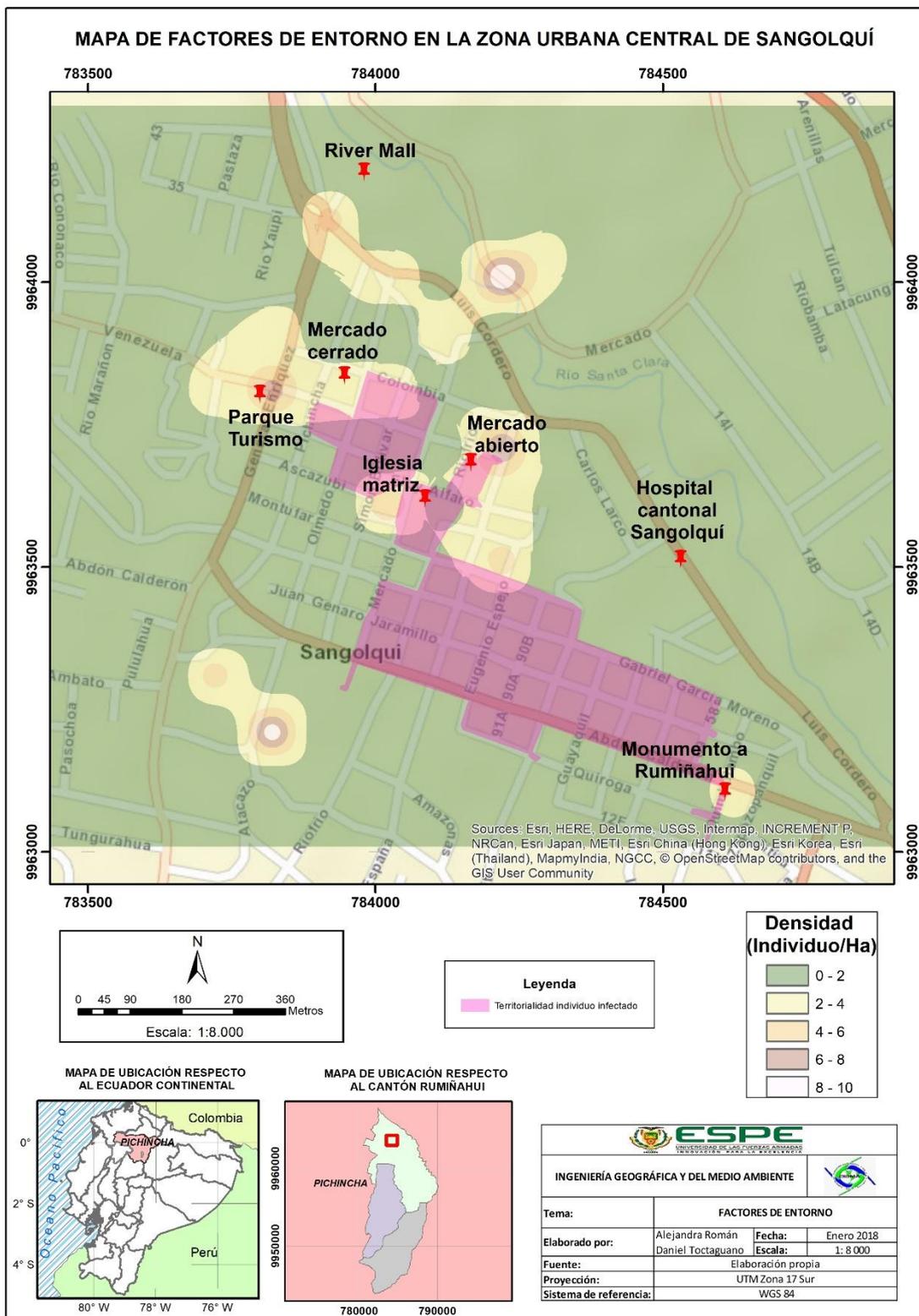
Los Factores de entorno fue la densidad poblacional canina y área de influencia donde el canino se desplazó en el seguimiento, el área total de territorialidad fue de 0,17 km<sup>2</sup>, misma que es mayor riesgo epidemiológico (ver figura 25).

Se pudo identificar de una manera preliminar las zonas con mayor densidad canina donde se debería realizar un estudio para ver la situación en esta zona ya que a partir del seguimiento se puede realizar un control de fauna urbana para una mejor planificación y reestructuración de estas zonas.

La aplicación de medidas relacionadas con salud pública es de importancia para el control de enfermedades que los caninos pueden transmitir entre ellos y a la población directa en estas zonas.

El área del seguimiento del canino infectado con brucelosis da una perspectiva del área donde se debería tomar medidas directas de mitigación de la enfermedad, aunque lo ideal para controlarla es sacrificar al canino infectado, para que el animal no prolifere el problema en la zona afectada.

Hay que estar seguro que el canino esté infectado con la bacteria confirmando con una segunda prueba para que no se sacrifique al animal de manera errada o se aplique el tratamiento en vano.



**Figura 25** Factores de entorno

#### **4.4. Aplicación del modelo Autómata Celular**

Las zonas de alto riesgo epidemiológico fue el mercado abierto de Sangolquí y el monumento a Rumiñahui, con riesgo medio el municipio de Rumiñahui, el mercado cerrado de Sangolquí y el Colegio Rumiñahui sin dejar de lado al riesgo bajo ya que ocupa la mayor parte del área de estudio (ver figura 26).

El riesgo epidemiológico fue reflejado a partir de áreas de influencia ponderados a partir de revisión bibliográfica en la cual se definió el o los factores que mayor riesgo que representaba en el contagio de la enfermedad, obteniendo a partir del modelamiento las zonas donde se necesita una intervención inmediata por parte de las autoridades responsables en medio ambiente y salud pública para la toma de decisiones.

Los lugares de mayor afluencia fueron aquellos donde las personas acuden diariamente a realizar diferentes actividades, una es la iglesia central de Sangolquí siendo un atractivo turístico tanto para personas de los lugares aledaños, provincias o extranjeros. Y el mercado abierto un lugar comercial donde se venden productos de consumo humano como carnes, lácteos, verduras, etc., lo que provoca un inminente riesgo epidemiológico y sanitario para las personas del sitio y los barrios y sectores aledaños.

El riesgo medio representó un 10% del área total de la zona de estudio en la cual muestra las áreas de influencia donde el canino realizó necesidades biológicas en toda la ruta de seguimiento, uno de los lugares dentro del área de riesgo medio es el municipio de Rumiñahui, lo que significa que se debería controlar y hacer un seguimiento de la fauna urbana y el riesgo que esta produce en razón a las enfermedades que pueden transmitir los animales.

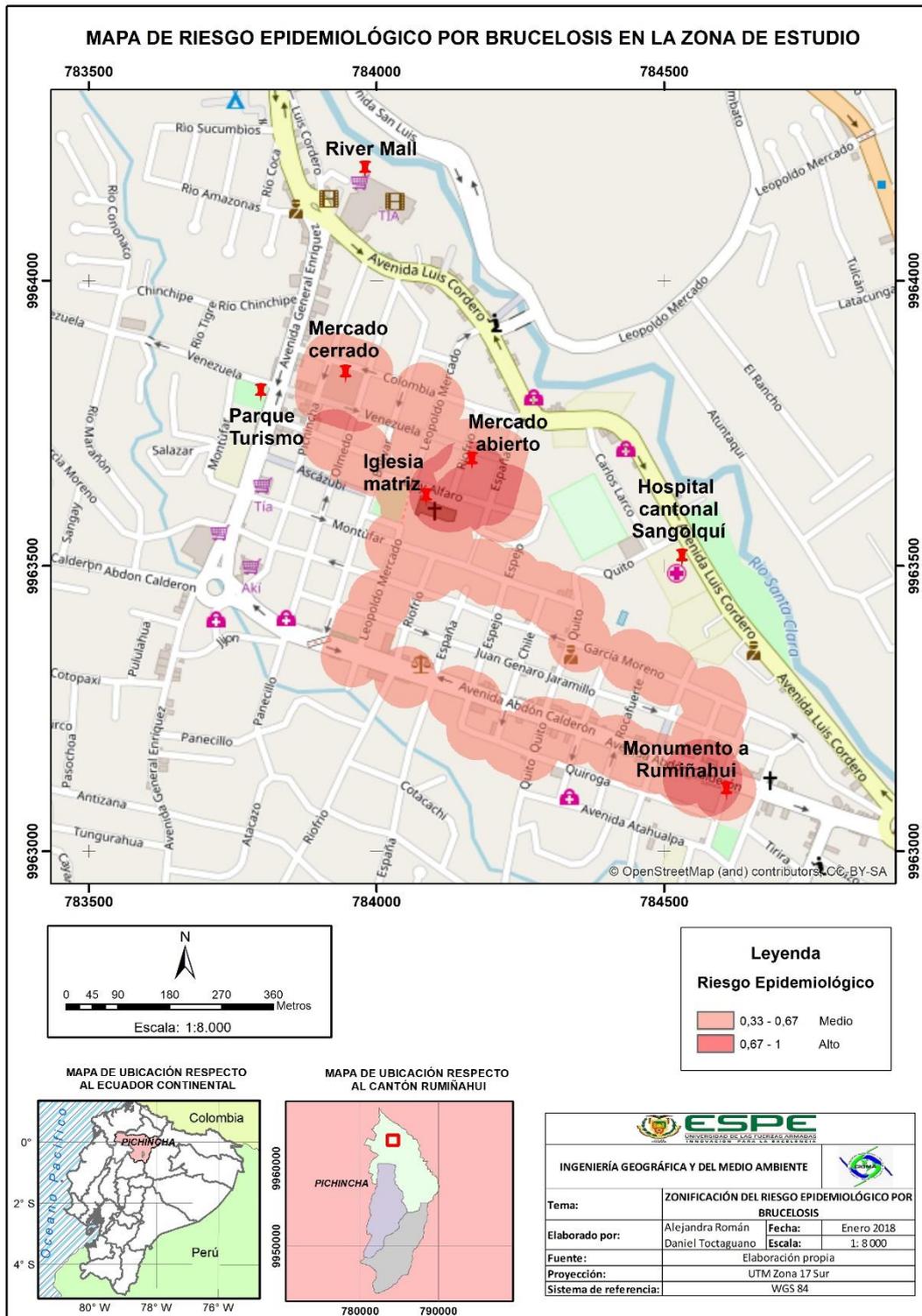
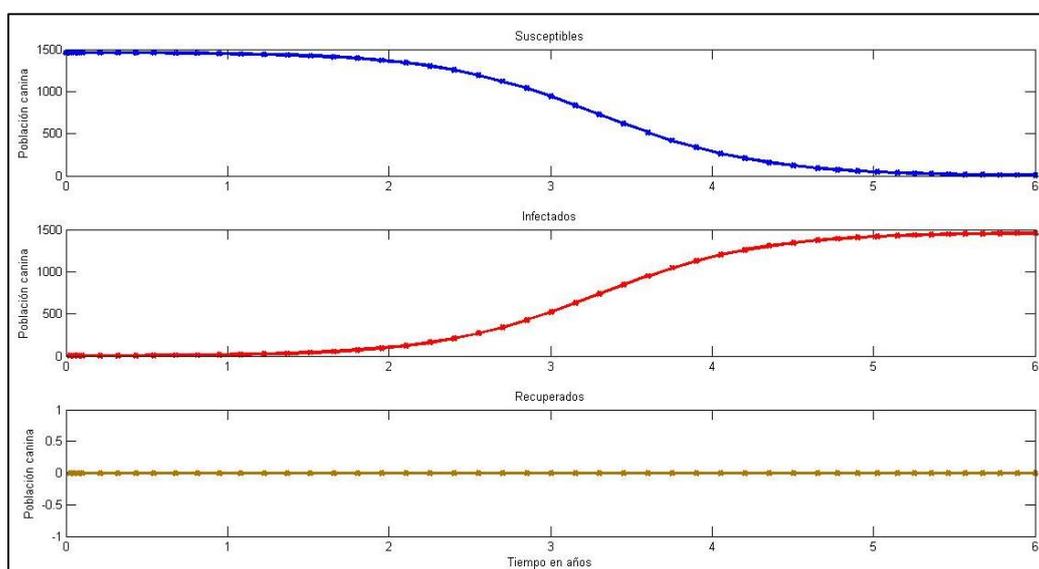


Figura 26 Riesgo epidemiológico de Brucelosis

#### 4.5. Modelo matemático SIR

La población total estimada dentro del área de estudio fue 1463, el número de recapturados fueron 5 de los 55 muestreados para las pruebas serológicas, el índice de transmisión y recuperación: 0,001367 y 0, respectivamente.

El modelamiento estimó el número de infectados en un periodo de tiempo de 1 hasta 6 años, el primer año existen dos infectados, a diferencia del segundo que aumenta considerablemente a 100 individuos, lo que representa que en 6 años 600 individuos se encontrarán infectados (ver figura 27).



**Figura 27** Modelo SIR para Brucelosis

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

El levantamiento piloto 2015 dio un total de 61 caninos, el mayor porcentaje de ellos tienen “dueño” y pasan la mayor parte del día en la calle; en el año 2017 se obtuvo una población de 133 individuos, denotando una eficacia en el levantamiento de información con la aplicación de la técnica de campo (evitando la repetibilidad de individuos), la distribución espacial y la división en jornada en relación con el 2015. Los individuos se encuentran distribuidos tanto en manada como solitarios.

En la planificación de del trabajo se esperaba que los caninos sean callejeros, en campo se evidenció que en su mayoría tenían “dueño”, el riesgo epidemiológico no discrimina la tenencia del individuo y más aún si es parte de una familia con la que mantiene una constante interacción.

La diferencia en patologías presentadas en los individuos en 2015 y 2017 fue del 14%, presentándose en el 2017 un mejor estado de salud de los caninos, recalcando que en este año se amplió los criterios de signos en machos y hembras para la obtención de información destacada para la determinación de individuos potenciales en seropositividad de Brucelosis.

El monitoreo de campo y el procesamiento preliminar de resultados permitió que la captura de los animales sea direccionada a las zonas de mayor densidad poblacional canina encontrando también individuos con comportamientos adecuados para este trabajo utilizando las fichas de identificación previas.

El seguimiento al canino en campo en la jornada establecida permitió identificar la rutina diaria del mismo y las principales actividades que realiza, siendo las más frecuentes y las que causan mayor impacto social y ambiental aquellas tomadas en cuenta para el modelamiento.

Entre los factores analizados el de mayor peso fue el de necesidades biológicas, específicamente el marcaje de territorio por orines, en relación con la prevalencia de la enfermedad representa que el mayor contagio se puede generar por este tipo de actividad diaria del vector ya que se queda permanente en el ambiente.

Las zonas de mayor riesgo epidemiológico son el mercado abierto de Sangolquí con un riesgo epidemiológico de 98% y en el monumento a Rumiñahui un 67% debido a condiciones de alta densidad, alta interacción con el humano y caninos, oportunidades de alimentación, abrigo y conformación de manadas.

La certeza del modelo AC depende de la inclusión de más variables o exclusión de alguna en los factores de riesgo y para esta investigación presentó diferentes limitaciones ya que no tomó en cuenta al tiempo, ya que no consideró una proyección de individuos infectados, por lo cual fue necesario manejarlo conjuntamente con un modelo matemático como SIR, cabe mencionar que los modelos varían de acuerdo a la temática investigada.

De acuerdo a estudios varios se creería que el riesgo por *Brucella sp.* se encuentra solo en áreas rurales, empero en este caso se evidenció que en zonas urbanas puede existir especialmente por la presencia de camales clandestinos en los que no se mantiene un control constante en el faenamiento de los animales mal llamados de consumo, por ende, la ingesta de productos derivados de los mismos (vísceras, carne, etc.) esencialmente el característico caldo de ville (ternero), sería la principal causa de la enfermedad tanto en el humano como en los caninos.

La aplicación del modelo SIR permitió una proyección de la cantidad de individuos infectados, representando aquellos que transitan y/o son adoptados por la comunidad en la zona urbana de Sangolquí un alto riesgo epidemiológico por la alta densidad poblacional humana; en 6 años el recorrido de los infectados se aproxima a 96,36 km lineales traduciéndose estos datos a un crecimiento exponencial de los individuos infectados.

En la investigación no se consideró el contagio por caninos neonatos, tomando en cuenta que en caso de existir hembras madres seropositivas los recién nacidos contraerán la enfermedad y el número de infectados será mayor, la susceptibilidad se presenta en todos los caninos que tengan contacto con los individuos seropositivos y con aquellas madres infectadas con sus cachorros.

En cuestión de bienestar animal, los habitantes de Sangolquí no mantienen una conciencia acerca de la temática, puesto que la mayoría de caninos observados en campo evidenció algún tipo de maltrato físico sea por las personas o por los propios caninos, esto por la disposición de alimentos o por territorio propiamente.

## 5.2. Recomendaciones

En el seguimiento al vector se puede utilizar las aplicaciones androides Geotracker y Wikiloc para la generación de la trayectoria, herramientas digitales utilizadas en caso de no contar con un GPS navegador para tracking. La precisión tanto del GPS como de las aplicaciones es aceptable puesto que el canino es un vector móvil que se desplaza constantemente.

En estudios posteriores se recomienda monitorear lugares de hembras paridas (cerca de ríos) y refugios de animales rescatados puesto que también representan un riesgo potencial para las familias en caso de estar infectados.

Se recomienda utilizar herramientas geográficas como parte de planificación para el manejo de fauna urbana y el riesgo epidemiológico (Geo salud), aplicado por entes internacionales como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Panamericana de la Salud (PAHO/WHO).

Aplicar esta herramienta metodológica por parte de las autoridades resulta un insumo para la toma de decisiones en el fortalecimiento de las capacidades técnicas para una gestión local en salud pública y generación respuesta inmediata en reducción de la vulnerabilidad humana.

Se recomienda el análisis de otras enfermedades zoonóticas, puesto que la Brucelosis es una de las existentes en caninos que influyen directamente al humano.

Se recomienda confirmar la Brucelosis con una segunda prueba de laboratorio aplicando un método diferente, para evitar de esta manera la presentación de falsos positivos o negativos.

Las variables que se utilicen dentro de los factores dependerán estrictamente de la experticia del modelador ya que se toma en cuenta la importancia de la variable a incluir y excluir.

Las instituciones que consideren esta metodología deben desarrollar un método estadístico para establecer fiabilidad en sus resultados, ya que en la mayoría de investigaciones consultadas no se plantea dicho procedimiento por lo cual los resultados obtenidos netamente dependen de esto y de la fiabilidad de la información utilizada y obtenida de estas fuentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROCALIDAD. (2016). *Instructivo INT/DA/019*. Quito.
- Agudelo, P., Castro, B., Rojo, R., & Henao, S. (2012). Seroprevalencia y factores de riesgo para brucelosis canina en perros domésticos de once comunas de la ciudad de Medellín-Colombia. *Revista de Salud Pública*.
- Almeida, N., Castiel, L., & Ayres, J. (2009). Riesgo: concepto básico de epidemiología. *SciELO*, 6.
- Álvarez, J. (2005). *Canis lupus Linnaeus 1758*. México. D.F.: SNIB-CONABIO.
- Ardoino, S. M., Baruta, D. A., & Toso, R. E. (2007). Brucelosis canina. *Ciencia Veterinaria*, 50-61.
- Ardoino, S., Baruta, D., & Toso, R. (2006). Brucelosis canina. *Ciencia Veterinaria*, 50-61.
- Ardoino, S., Baruta, D., & Toso, R. E. (2006). Brucelosis canina. *Ciencia veterinaria*, 50-61.
- Argentina beta. (2012). *Enfermedades zoonóticas*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/ayuda>
- Asociación Veterinarios Españoles Especialistas en Pequeños Animales. (2016). *Dentición en cachorros: determinación de su edad*. Barcelona: AVEPA.
- Association American Veterinary Medical. (Diciembre de 2009). *ebusiness.avma.org*. Obtenido de [https://ebusiness.avma.org/files/productdownloads/distemper\\_brochure\\_spanish.pdf](https://ebusiness.avma.org/files/productdownloads/distemper_brochure_spanish.pdf)
- Baldwin, K., Bartges, J., Buffington, T., Freeman, L. M., Grabow, M., Legred, J., & Ostwald, D. (2010). Guías para la Evaluación Nutricional de perros y gatos de la Asociación Americana Hospitalaria de Animales (AAHA). *Journal of the American Animal Hospital Association*, 285-297.
- Barreira, P., Gómez, M., & Aguilera, F. (2015). Simulación del crecimiento urbano y modelos basados en autómatas celulares: el uso de parcelas catastrales vectoriales a partir de la

teoría de grafos. *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*, 511-520.

Barrero, M. (2014). *Tipos de manto en los perros*. Obtenido de <http://www.mascotea.net/es/blog/2014/05/21/tipos-de-manto-en-los-perros>

Carmichael. (1996). Canine brucellosis: A diagnostician's Dilemma. *Semin. Scielo Chile*, 161-165.

Carmichael, L. (1981). *Brucelosis causada por Brucella canis*. Ithaca, Nueva York.

Castro, H., Gonzáles, S., & Prat, M. (2005). Brucelosis: una revisión práctica. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 203-216.

Castro, R. F. (1981). Brucelosis causada por Brucella Canis. *Ciencia Veterinaria*, 177-197.

Center for Food Security and Public Health. (2009). *Brucelosis*. Iowa.

Ching Fu, S., & Milne, G. (2003). Epidemic Modelling Using Cellular Automata. *ACAL2003: The First Australian Conference on Artificial Life*.

Cuesta, H., Trueba, A., & Ruiz, J. (2012). *Autómata Celular Estocástico paralelizado por GPU aplicado a la simulación de enfermedades infecciosas en grandes poblaciones*. Guanajuato: UAEM.

Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica. (2016). *Gaceta Epidemiologica N°49*. Quito: MSP.

Doganzo. (9 de diciembre de 2015). *Jaula trampa*. Obtenido de <http://doganzo.org/como-puedo-colaborar/>

EFE, A. (10 de julio de 2017). Sistema de información del Ministerio de Salud Pública. *El Comercio*.

Filho, N. d., Castiel, L. D., & Ayres, J. R. (2009). Riesgo: concepto básico de la epidemiología. *Salud Colectiva*, 323-344.

- Fresnadillo, M. J., García, E., García, E., Martín del Rey, Á., & García, J. E. (2013). Modelización matemática de la propagación de enfermedades infecciosas: de dónde venimos y hacia dónde vamos. *Rev Esp Quimioter*, 81-91.
- GADMUR. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de [http://www.ruminahui.gob.ec/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&id=2&Itemid=159&lang=es](http://www.ruminahui.gob.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=2&Itemid=159&lang=es)
- Gil, A., Piaggio, J., Suanes, A., Núñez, Á., Garín, A., Silva, M., . . . Huertas, S. (2009). Brucelosis bovina. *Investigación Agropecuaria*, 13-17.
- Gómez, L., Atehortua, C., & Orozco, S. (2007). La influencia de las mascotas en la vida humana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 377-386.
- Halling, S. M. (2009). Diagnostic characterization of a feral swine herd enzootically infected with Brucella. *J Vet Diagn Invest*, 227-237.
- Harvey, R. G., & McKeever, P. J. (1998). *A Colour Handbook of Skin Diseases of the Dog and Cat*. GRASS Edicions.
- Hutter, H. R. (1999). *Veterinariosenweb.com*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de <http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/AlimentosAlimentacion/images/Documentos/2015/Nutricion%20en%20caninos%20y%20felinos%20-%20Dr%20Hutter.pdf>
- Ibáñez, C. (8 de abril de 2007). *Salud pública y algo más*. Obtenido de [http://www.madrimasd.org/blogs/salud\\_publica/2007/04/08/63013](http://www.madrimasd.org/blogs/salud_publica/2007/04/08/63013)
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INSPI. (19 de Enero de 2016). *Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública*. Obtenido de <http://www.investigacionsalud.gob.ec/>
- Institute for International Cooperation in Animal Biologics. (2009). Influenza canina. *The Center for Food Security & Public Health*, 1-7.

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo DATABiO. (2014). *Brucella spp.* España.
- Jaramillo, V., & Yépez, C. (2013). *Determinación de seroprevalencia de Brucelosis.* Quito.
- Linnaeus, C. (1758). *Canis Lupus.* Estocolmo: Reformata.
- Lippmann, J., Rouchal, M., & Wilck, M. (2006). Obtenido de [http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node24\\_mn.html](http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node24_mn.html)
- López, N. (2015). *Estudio preliminar sobre el manejo reproductivo y la presencia de Brucela Canis en dos centros de crianza de caninos de la raza Mastín Napolitano de las ciudades de Quito y Lasso.* Quito.
- Luna, L. (2015). *Detecting Brucella species in Ecuador.* Quito.
- Mech, D. (1999). Alpha status, dominance, and division of labor. *Canadian Journal of Zoology* 77, 1196-1203.
- Meslin, F. X., & Beyene, T. J. (s.f.). *World Animal Protection.* Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de [https://www.worldanimalprotection.cr/sites/default/files/cr\\_files/manejohumanitariopoblacioncanina.pdf](https://www.worldanimalprotection.cr/sites/default/files/cr_files/manejohumanitariopoblacioncanina.pdf)
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2012). *MSP.* Obtenido de <https://aplicaciones.msp.gob.ec/salud/archivosdigitales/documentosDirecciones/dnn/archivos/NORMA%20sive%208-04-2013.pdf>
- MSAL. (2013). *Enfermedades Infecciosas: Brucelosis.* Buenos Aires: ISSN.
- MSP. (16 de enero de 2016). *Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica.* Obtenido de <http://www.salud.gob.ec/direccion-nacional-de-vigilancia-epidemiologica/>
- MSPE. (2012). *Modelo de atención integral del sistema nacional de salud.* Quito.
- Navarrete, A. (2004). *cybertesis.uach.cl.* Recuperado el 17 de Mayo de 2017, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fvn321p/doc/fvn321p.pdf>

- Nowak, R. M. (1991). *Walker's mammals of the world*. Baltimore : The Johns Hopkins University Press.
- OIE. (2011). *OIE*. Obtenido de [http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health\\_standards/tahc/2011/es\\_chapitre\\_1.7.7.htm](http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/2011/es_chapitre_1.7.7.htm)
- OMS. (2013). *Inocuidad de los alimentos*. Obtenido de Zoonosis y medio ambiente: [http://www.who.int/foodsafety/areas\\_work/zoonose/es/](http://www.who.int/foodsafety/areas_work/zoonose/es/)
- OMS. (2013). *Temas de Salud*. Obtenido de Epidemiología: <http://www.who.int/topics/epidemiology/es/>
- Organización Mundial de la Sanidad Animal. (2004). *Manual de las pruebas de diagnóstico y de las vacunas para los animales terrestres*. París: office international des epizooties.
- Pacheco, J., & Tepú, J. (2013). *repositorio.utm.edu.ec*. Obtenido de <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/6569/1/PACHECO%20JY%20TEPU.pdf>
- Padilla, O. (2005). Autómatas Celulares: una solución a la geosimulación. *Revista GeoEspacial*, 76.
- Padilla, O., Pérez, P., Cruz, M., Huilcamaigua, S., & Astudillo, S. (2015). Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal. *Ciencias Espaciales* , 1-17.
- Paradais Sphynx. (2014). Cánidos o familia Canidae: características y especies. *Mamíferos*, 1-4.
- Riddle, M. (2016). La Herencia del Color. *Scanley Dagerfield*, 1-3.
- Rivers, R., Andrews, E., González, S., Donoso, G., & Oñate, A. (2006). Brucella abortus: immunity, vaccines and prevention strategies based on nucleic acids. *Scielo*, 7-18.
- Robledo, J. (Noviembre de 2004). *Nure Investigacion*. Recuperado el Octubre de 2017, de <http://areaprivada.semmap.org/Members/pages/biblioteca/investigacion/11.%20POBLA>

CION% 20DE% 20ESTUDIO% 20Y% 20MUESTREO% 20ROBLEDO% 20J% 20NUR  
E% 202004;10.pdf

Rojas, D. (2015). *dspace.udla.edu.ec*. Obtenido de  
<http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4639/1/UDLA-EC-TMVZ-2015-09-.pdf>

Ron, J., Saegerman, C., Minda, E., Benítez, W., Brandt, J., & Douce, R. (2012). First Report of Orchitis in Man Caused by *Brucella abortus* Biovar 1 in Ecuador. *US National Library of Medicine National Institutes of Health*, 524-528.

Rovira, A., & Lavanderos, L. (2008). Generación de escenarios futuros para la región de Aisen (Chile) aplicando autómatas celulares. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 27-41.

Sánchez, L. (2009). *Modelación y simulación de la dinámica de un fármaco usado para la infección del VIH*. México DF: IPN.

Sánchez, M., & Borie, C. (2000). Detección de anticuerpos contra *Brucella canis* en perros y en dos casos humanos. *Scielo*, 81.

Sánchez, M., Giraldo, C., & Olivera, M. (2013). *Infección por Brucella canis en humanos: propuesta de un modelo teórico de infección a través de la ruta oral*. Medellín: Elsevier Doyma.

Schütz, E., & Moreno, A. (2015). Salud y medio ambiente. Metodología GEO Salud. En J. Castro, M. Palacios, M. Paz, G. García, & L. Moreno, *Salud, Ambiente y Trabajo*. New York: McGraw-Hill Global Education Holdings, LLC. .

SCRIB. (2016). *Razas de perros*. Obtenido de  
<https://es.scribd.com/document/239261641/Razas-de-perros-pdf>

Secretaría de Salud de México. (2012). *Manual de Procedimientos Estandarizados para la vigilancia epidemiológica del SIDA*. México, Distrito Federal: ISBN.

Sierra, N. (2012). *Tengo un perro. Y ahora, ¿qué?* Madrid : PLANETA.

Sobrino, J. (2015). *Equipos para intervenciones con animales*. Guadalajara: Griker Orgemer.

Superarse. (2016). *Curso de certificación para formación de Auxiliares Veterinarios*. Quito: San Gabriel.

- The Center for Food Security and Public Health. (29 de Julio de 2009). Obtenido de [http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/brucella\\_canis-es.pdf](http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/brucella_canis-es.pdf)
- Ulloa, F. (28 de enero de 2016). *Perros callejeros y callejizados*. Obtenido de <http://panchoullloaenriquez.blogspot.com/2016/01/perros-callejeros-y-callejizados.html>
- Vaca, O. (2015). *Perros callejeros y callejizados*. Quito.
- Villaroel, R. (2016). *Beneficios del Uso de Kennel*. USA.
- Villegas, Andrea. (2 de diciembre de 2014). *Técnicas para acercarse a un perro o gato que queremos rescatar*. Obtenido de <http://www.petrescuegt.org/tecnicas-para-acercarse-un-perro-o-gato-que-queremos-rescatar/>
- Wanke, M. M. (2015). Brucelosis canina. *Conferencia para el Dogs Worldwide FCI*. Buenos Aires.
- World Society of the Protection of Animals. (2016). WSPA. Obtenido de [infoLA@worldanimalprotection.org](mailto:infoLA@worldanimalprotection.org)
- Zarate, L. A. (Marzo de 2012). *Modelación de Enfermedades Infecciosas*. Obtenido de [mat.izt.uam.mx](http://mat.izt.uam.mx):  
[http://mat.izt.uam.mx/mat/documentos/produccion\\_academica/toda\\_la\\_produccion/Tesis%20dirigidas-12-136.pdf](http://mat.izt.uam.mx/mat/documentos/produccion_academica/toda_la_produccion/Tesis%20dirigidas-12-136.pdf)
- Zoetis Spain. (2013). Recuperado el 16 de Abril de 2017, de Zoetis Spain: <https://www.zoetis.com.ec/species/mascotas.aspx>