

Ocurrencia de la Tuberculosis Bovina en Chile (2000-2014)



Alejandro Rivera - Analista de Riesgo Sanidad Animal

Marcia Vega - Coordinadora Plan de Control y

Erradicación de Tuberculosis

Servicio Agrícola y Ganadero

Agosto de 2014

Contenido

Contenido	1
Índice de Cuadros.....	2
Índice de gráficos.....	2
Índice de Ilustraciones.....	3
Índice de Mapas	3
Introducción	4
Material y Métodos	5
Resultados	6
Descripción general de Tuberculosis Bovina.....	6
Tuberculosis Bovina a Nivel Predial.....	10
Tuberculosis Bovina a nivel Intra-predial.....	13
Tuberculosis Bovina a nivel Comunal.....	14
Detección de Agrupamientos de Tuberculosis a nivel predial	17
Discusión y Conclusiones.....	23
Anexos	28

Índice de Cuadros.

Cuadro N° 1 : Establecimientos clasificados por región. (2000-2014)	7
Cuadro N° 2: Censo bovino y rebaños y bovinos chequeados para clasificación de estatus de tuberculosis bovina	7
Cuadro N° 3: Predios, Bovinos, Media y Mediana de Bovinos según tamaño del rebaño chequeado.....	9
Cuadro N° 4 : Predios según estatus sanitario de Tuberculosis Bovina por región.....	10
Cuadro N° 5: Predios según estatus sanitario según tamaño del rebaño	11
Cuadro N° 6 : Predios según estatus sanitario de Tuberculosis Bovina por tamaño del rebaño Bovino en la Zona de Control	12
Cuadro N° 7 : Predios según estatus sanitario de Tuberculosis Bovina por tamaño del rebaño Bovino en la Zona de Erradicación.	12
Cuadro N° 8: Comunas, Provincias y Regiones con Exceso de Riesgo de Predios Infectados por Tuberculosis Bovina.....	33
Cuadro N° 9: Comunas, Provincias y Regiones con Exceso de Riesgo de Bovinos Reaccionantes a Tuberculosis Bovina.....	35
Cuadro N° 10: Comunas, Provincias y Regiones con Exceso de Riesgo de Bovinos Expuestos a Tuberculosis Bovina.....	37

Índice de gráficos.

Gráfico N° 1: Establecimientos bovinos con estatus de tuberculosis bovina clasificado por año	6
Gráfico N° 2 : Predios chequeados para clasificación de estatus de tuberculosis bovina según tamaño del rebaño bovino chequeado.	9
Gráfico N° 3 : Proporción de Animales Reaccionantes en los Predios con estatus sanitario de Infectado, según zona epidemiológica y tamaño de rebaño bovino.	13

Índice de Ilustraciones

Ilustración 3 : Incidencia Acumulada a nivel Predial (a), Proporción de Bovinos Reaccionantes (b) y Expuestos por Comunas (c). 2007-2013.	14
Ilustración 2: Serie de mapas de Exceso de Riesgo de Tuberculosis Bovina a nivel Comunal de a) Predios Infeclados por Comuna, b) Bovinos Reaccionantes por Comuna y c) Bovinos Expuestos por comuna.	16
Ilustración 3: Serie de Mapas con Predios Chequeados (a), y Densidad kernel de Bovinos chequeada (b) Bovinos Reaccionantes (c) y Proporción de Reactores en Rebaños con Tuberculosis Bovina (d).	18
Ilustración 4: Serie de mapas con exploraciones espaciales para la búsqueda de agrupamientos según los modelos Poisson y Bernoulli (SatScan TM)	21

Índice de Mapas

Mapa N° 1 : Incidencia Acumulada de Tuberculosis a nivel predial según comunas. 2007-2013	29
Mapa N° 2: Proporción de Bovinos Reactores a Tuberculosis Bovina. 2007-2013	30
Mapa N° 3: Proporción de Bovinos Expuestos a Tuberculosis Bovina según Comuna. 2007-2013	31
Mapa N° 4: Mapa Exceso de Riesgo Predios Infeclados por Comuna – 2007-2013	32
Mapa N° 5: Mapa Exceso de Riesgo de Bovinos Reaccionantes por Comuna.	34
Mapa N° 6: Mapa Exceso de Riesgo de Bovinos Expuestos por Comunas.....	36
Mapa N° 7: Predios Chequeados para diagnóstico de Tuberculosis Bovina.	38
Mapa N° 8: Mapa de Densidad de Población Bovina Chequeada para Tuberculosis Bovina.....	39
Mapa N° 9: Mapa de Densidad de Bovinos Reactores a las pruebas de tuberculina.....	40
Mapa N° 10: Mapa de Densidad de la Proporción de Bovinos Reactores en los rebaños con Tuberculosis Bovina.....	41
Mapa N° 11: Análisis Exploratorio de Datos de Predios con diagnóstico de Tuberculosis bovina según el modelo Poisson.....	42
Mapa N° 12: Análisis Exploratorio de Datos de Predios con estatus sanitario de Tuberculosis bovina según el modelo Bernoulli.....	42
Mapa N° 13: Análisis Exploratorio de Datos de Predios de la Zona de Control con estatus sanitario de Tuberculosis bovina según el modelo Bernoulli.....	44

Introducción

Entre los años 2000 y 2014, se ha realizado un extenso diagnóstico de tuberculosis bovina en 12.168 predios bovinos del país y que ha alcanzado a una población de 868.240 bovinos. Este trabajo ha comprendido al 9,4% de los predios bovinos y el 22,9% de la población bovina del país.



El diagnóstico de campo fue realizado por las oficinas locales del SAG, y fue motivado para conocer la condición sanitaria de los rebaños bovinos en las regiones del país, con el fin de obtener información sanitaria y las bases técnicas para definir una estrategia de control de la enfermedad. Resultado de ello, se ha podido disponer de un registro digital del diagnóstico de tuberculosis bovina, lo que ha permitido realizar una caracterización de la ocurrencia histórica de la tuberculosis bovina. Los datos comprenden el registro de la información de diagnóstico de campo que ha sido ingresada en una aplicación computacional en uso en el servicio veterinario oficial desde el año 2005.

Las razones por las cuales, predios y bovinos fueron examinados para tuberculosis durante ese período no obedecieron a un plan único y específico de diagnóstico dirigido a conocer la condición de tuberculosis en el país, sino que formaron parte de varias encuestas masivas realizadas a los predios registrados en las oficinas del SAG con miras a obtener datos básicos a nivel territorial para elaborar una propuesta de Plan de Control y Erradicación. En algunos casos fueron encuestas dirigidas a la confirmación de la infección en rebaños de mayor riesgo y en otros, al conocimiento del estatus en áreas, zonas o en predios de una particular condición productiva. También fue el producto del seguimiento de sospechas de infección detectadas en la inspección post-mortem realizada en mataderos. Cualquiera haya sido la motivación por la cual se hizo el diagnóstico de tuberculosis en el período, en todos los casos se utilizó el procedimiento estandarizado de clasificación de rebaños definido en el Plan.

El diagnóstico permite estimar una incidencia acumulada de infección en el período, y que al contar con una referencia geográfica, ayuda a explorar la ocurrencia de tuberculosis en su dimensión espacial, en la perspectiva de descubrir patrones de presentación de la tuberculosis bovina que puedan ser útiles en la evaluación de riesgo y en la definición de las medidas de gestión de riesgo para su control y erradicación.

Material y Métodos

Los datos disponibles son los ingresados al sistema de datos sanitarios de la División de Protección Pecuaria (INTERTRACE), y que comprenden la actividad denominada: Clasificación del estatus sanitario de los rebaños bovinos. El registro contiene los siguiente datos: Identificación del establecimiento ganadero definida por su RUP; propiedad del establecimiento, localización definida por la georeferencia¹, comuna y región, oficina SAG y Médico Veterinario responsable. Con relación al diagnóstico de tuberculosis, los datos poblacionales han sido agrupados por establecimiento y son: población bovina total, población chequeada y reaccionante a las pruebas tuberculínicas diagnósticas. Atributos tales como: superficie ganadera del establecimiento, orientación productiva, prácticas de manejo sanitario del rebaño, o de los animales tales como: raza, edad y clase, no están disponibles en la base de datos de forma consistente, por lo que fueron excluidos para el análisis.

Primeramente se hará una descripción general del diagnóstico realizado a nivel de predios y bovinos, agrupados por regiones y según el tamaño del rebaño. La estimación de la incidencia acumulada de tuberculosis bovina se realizará con los datos agrupados a nivel de comunas, tanto a nivel de establecimientos como poblacional y que será representada en mapas de riesgo, con el apoyo del programa de exploración de datos espaciales GeoDa².

Con los datos georeferenciados de los predios con estatus sanitario definido, se realizará un suavizamiento del tipo Kernel para representar los datos de la población chequeada, reaccionantes y de la tasa de reaccionante a nivel predial en el programa para el manejo de datos espaciales ArcGIS³.

Para la búsqueda de patrones de agrupamientos (*clusters*) se realizará un análisis retrospectivo puramente espacial basado en los modelos probabilísticos de Bernoulli y Poisson, utilizando el programa computacional SatScan⁴.

¹ Datos espaciales en coordenadas UTM husos 18 y 19.

² GeoDa Center for Geospatial Analysis and Computation. [www.geodacenter.asu.edu]. GeoDa™ 2011-2014 by Luc Anselin version:1.6.0 17 June 2014

³ ESRI© ArcMap™ 9.3.

⁴ Software: Kulldorff M. and Information Management Services, Inc. SaTScan™ v9.3: Software for the spatial and space-time scan statistics. [www.satscan.org], 2013.

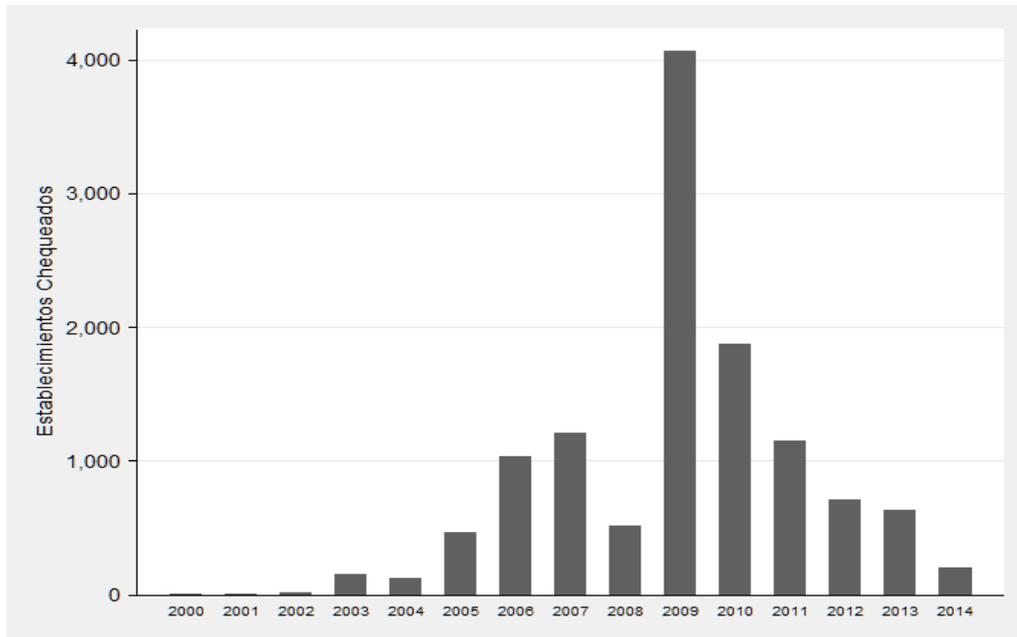
Resultados

Descripción general de Tuberculosis Bovina.

Los registros que componen la base de datos corresponden a 12.168 predios chequeados para diagnóstico de tuberculosis, entre mayo del 2000 y abril del 2014.

El gráfico N° 1, muestra los establecimientos bovinos que recibieron la clasificación de su estatus de tuberculosis bovina por año.

Gráfico N° 1: Establecimientos bovinos con estatus de tuberculosis bovina clasificado por año



En el gráfico N° 1, se puede apreciar la progresividad del diagnóstico de campo, que desde año 2006 y en particular el año 2009, se intensificó en la perspectiva de una formalización de una estrategia para su control y erradicación.

Una desagregación por regiones de los establecimientos chequeados para el período, se entrega en el cuadro N° 1.

Cuadro N° 1 : Establecimientos clasificados por región. (2000-2014)

Región	Establecimientos	Porcentaje
Arica Parinacota	1	0.01
Iquique	9	0.07
Antofagasta	4	0.03
Atacama	55	0.45
Coquimbo	36	0.30
Valparaíso	40	0.33
Metropolitana	256	2.10
O'Higgins	121	0.99
Maule	507	4.17
Bio Bio	2,472	20.32
Araucanía	1,321	10.86
Los Ríos	2,276	18.70
Los Lagos	4,675	38.42
Aysén	249	2.05
Magallanes	146	1.20
Total	12,168	100.00

El trabajo más intenso de diagnóstico fue realizado entre las regiones del Biobío y Los Lagos, lo que es consistente con las zonas donde se concentra la población bovina del país. Un 88,3% de los rebaños examinados pertenecen a esta zona.

Con el objeto de contrastar el trabajo de clasificación de estatus con los datos que entrega el censo agropecuario realizado el año 2007, se entrega el cuadro N° 2.

Cuadro N° 2: Censo bovino y rebaños y bovinos chequeados para clasificación de estatus de tuberculosis bovina

Región	Censo 2007		Chequeados		Porcentaje	
	Informantes	bovinos	Rebaños	Bovinos	Rebaños	Bovinos
Arica Parinacota	163	2,268	1	86	0.61	3.79
Iquique	39	123	9	35	23.08	28.46
Antofagasta	76	278	4	16	5.26	5.76
Atacama	176	7,148	55	1,119	31.25	15.65
Coquimbo	2,527	41,276	36	1,007	1.42	2.44
Valparaíso	3,145	102,695	40	8,631	1.27	8.40
Metropolitana	2,636	101,275	256	14,151	9.71	13.97
O'Higgins	3,709	83,350	121	7,099	3.26	8.52
Maule	10,522	258,228	507	15,995	4.82	6.19
Bio Bio	23,972	449,398	2,472	88,514	10.31	19.70
Araucanía	37,641	668,140	1,321	94,028	3.51	14.07
Los Ríos	12,240	621,598	2,276	245,229	18.59	39.45
Los Lagos	25,904	1,047,194	4,675	359,098	18.05	34.29
Aysén	2,208	193,802	249	11,387	11.28	5.88
Magallanes	450	141,759	146	21,845	32.44	15.41
Totales	125,408	3,718,532	12,168	868,240	9.70	23.35

La comparación entre el Censo Agropecuario y los datos de predios chequeados no es estrictamente correcta, debido a que el censo, no entrega el número de rebaños bovinos sino que de informantes con bovinos; es decir de tenedores de animales, mientras que los datos del SAG, están referidos a los RUP de los predios bovinos, en los cuales, puede localizarse más de un tenedor de animales. Sin embargo, para este trabajo se considerarán estos datos como similares, teniendo en cuenta que en la gran mayoría de los casos se mantiene en binomio un predio un propietario. En el plano poblacional por su parte, la población bovina de los predios en los datos de tuberculosis, corresponde a los animales chequeados y no a la población bovina existente al momento del chequeo, debido a que este último dato era incompleto o faltante en una alta proporción de los registros. Es muy probable entonces, que la población bovina en los predios clasificados esté subestimada, dado que la subpoblación elegible para diagnóstico de tuberculosis es aquella mayor de 18 meses.

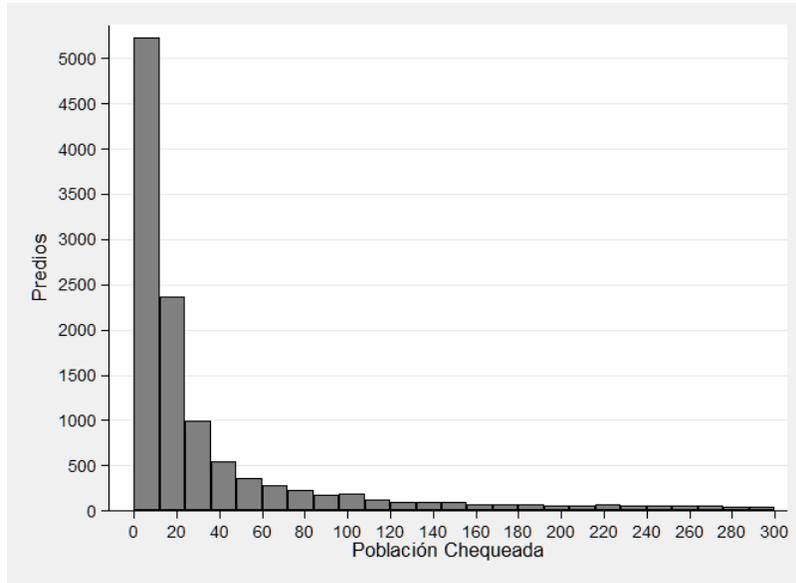
No obstante las reservas indicadas, la comparación nos revela que desde la región del Biobío al sur, con excepción de la Araucanía, el trabajo de diagnóstico ha cubierto sobre el 10% de los informantes del censo y en el plano poblacional sobre el 14% de los bovinos, con excepción de la región de Aysén. Destacan las regiones de los Ríos y de Los Lagos, donde el trabajo de clasificación ha cubierto sobre el 34 % de los bovinos existentes.

De acuerdo a los datos del censo agropecuario, Chile destaca por el pequeño tamaño promedio de sus unidades agrícolas. Poco menos de tres cuartos de las explotaciones, es decir, el 72,8%, son de un tamaño inferior a 20 hectáreas, mientras que el 19% se ubica entre 20 y 100 hectáreas. Sólo el 8,2% presenta tamaños superiores a 100 hectáreas⁵.

El censo no entrega una descripción de la demografía bovina por tamaño de explotación, sino que sólo lo hace con relación al tamaño de la propiedad agrícola y por lo tanto, no hay una referencia nacional con la cual comparar los datos epidemiológicos. No obstante, los datos de diagnóstico de tuberculosis evidencian que el tamaño del rebaño bovino, tiene un patrón similar al descrito para las unidades agrícolas. En efecto, si se consideran los predios con menos de 300 bovinos, que comprenden el 94,2% de los predios chequeados por tuberculosis bovina, y se representa el número de predios según los bovinos chequeados en un histograma se obtiene el gráfico N° 2.

⁵ Apey A; Lopez I: Agricultura Chilena: Información Social y Productiva según Tamaño del Productor y Localización Geográfica. Santiago de Chile, 2011. 18 páginas.

Gráfico N° 2 : Predios chequeados para clasificación de estatus de tuberculosis bovina según tamaño del rebaño bovino chequeado.



Se puede constatar que el tamaño de rebaño bovino evidencia una clara asimetría a izquierda con una alta proporción de rebaños con menos de 20 bovinos, de manera similar al tamaño de los predios agrícolas informados por el censo. Por lo anterior, se han definido seis categorías de predios según el tamaño de rebaño bovino chequeado, con el objeto de contar con grupos que permitan conocer el efecto del tamaño de rebaño en la descripción de la tuberculosis. Esta categorización es arbitraria y solo para efectos de este trabajo, con el objeto de disponer de grupos que tengan una población de rebaños robusta en cada categoría para el análisis estadístico. EL cuadro N° 3 muestra las categorías de tamaño de rebaño y el número de rebaño y población bovina.

Cuadro N° 3: Predios, Bovinos, Media y Mediana de Bovinos según tamaño del rebaño chequeado.

Tamaño Rebaño	Total Predios	Total Bovinos	Media Bovinos	Mediana Bovinos
< 5 bov	2,875	7,014	2.4	2.0
5 - 10 bov	2,044	16,099	7.9	8.0
10 - 30 bov	3,327	59,968	18.0	17.0
30 - 100 bov	2,008	112,736	56.1	51.0
100 - 300 bov	1,198	215,965	180.3	172.5
> 300 bov	716	456,458	637.5	467.5
Total	12,168	868,240	71.4	15.0

La mediana general de los bovinos chequeados en los predios fue de 15 bovinos. Los predios con rebaños menores a 30 bovinos chequeados representan alrededor de dos tercios del total de predios chequeados, mientras que la categoría de predios con más de 300 bovinos chequeados, (5,8% del total) tiene un poco más de la mitad de la población bovina chequeada.

Tuberculosis Bovina a Nivel Predial.

La clasificación de tuberculosis es un proceso diagnóstico que incluyen pruebas tuberculínicas simple y comparadas aplicadas en serie a los animales, acompañada de la verificación de lesiones y/o detección de genoma o aislamiento del *M. bovis* de animales sospechosos, lo que permite constatar la presencia de infección en el rebaño y así determinar el estatus sanitario con relación a tuberculosis bovina. En la base de datos se informa la fecha de la clasificación del estatus del rebaño realizada por el Médico Veterinario Oficial (MVO) a cargo, junto al chequeo poblacional que reveló la presencia de animales reaccionantes. Esta fecha más los datos de la población chequeada y reaccionante en el chequeo de campo, serán utilizados en el análisis de la ocurrencia, independiente del tiempo que se habría tomado en algunos casos, el proceso de clasificación para comprobar el estatus sanitario del rebaño.

Dos son los estatus sanitarios en tuberculosis bovina: Negativo o Infectado. Transitoriamente, se informa un estatus sanitario denominado “pendiente”, que se aplica a aquellos rebaños en los cuales hay sospecha de infección, pero en los cuales, aún no se ha realizado o completado, el proceso de diagnóstico que constata la infección en los animales. El cuadro N° 4 muestra los predios que han sido clasificados según el estatus sanitario por región.

Cuadro N° 4 : Predios según estatus sanitario de Tuberculosis Bovina por región

Región	Estatus Sanitario TB			Total
	Infectado	Negativo	Pendiente	
Arica Parinacota	0	1	0	1
Iquique	0	9	0	9
Antofagasta	0	4	0	4
Atacama	4	42	9	55
Coquimbo	29	7	0	36
Valparaíso	18	13	9	40
Metropolitana	85	70	101	256
O'Higgins	27	87	7	121
Maule	59	367	81	507
Biobío	326	2,046	100	2,472
Araucanía	40	1,238	43	1,321
Los Ríos	114	2,084	78	2,276
Los Lagos	210	4,436	29	4,675
Aysén	11	234	4	249
Magallanes	36	109	1	146
Total	959	10,747	462	12,168

Un total de 11.706 predios (96,2%) tiene un estatus sanitario clasificado por un MVO. Un 3,8% de los predios tiene estatus “pendiente”, en los cuales el proceso de verificación de infección no ha sido aún finalizado, donde las regiones Metropolitana, Biobío, Maule y Los Ríos, representan el 77,9 % de los predios con estatus “pendiente”. No puede ser soslayado que el 43% de los predios con estatus pendiente, se remonta al trabajo de campo realizado el año 2009. Estos predios son sospechosos de estar infectados y aún no ha sido abordada o completada la verificación de infección en los animales. En los análisis que componen este documento, serán incluidos solo los predios con estatus sanitario resuelto.

A nivel de rebaños, la infección por tuberculosis según tamaño del rebaño es presentada en el cuadro N° 5.

Cuadro N° 5: Predios según estatus sanitario según tamaño del rebaño

Tamaño Rebaño	Estatus Sanitario		Total	Proporción Infectados % e (IC 95%)	
	Infectados	Negativos			
< 5 bov	204	2,365	2,569	7.94	(6,9 - 9,1)
5 - 10 bov	26	1,991	2,017	1.29	(0,8 - 1,8)
10 - 30 bov	137	3,125	3,262	4.20	(3,5 - 4,9)
30 - 100 bov	193	1,790	1,983	9.73	(8,4 - 11,1)
100 - 300 bov	192	986	1,178	16.30	(14.2 - 18.5)
> 300 bov	207	490	697	29.70	(26,3 - 33,2)
Total	959	10,747	11,706	8.19	(7,7 - 8,7)

En general, se observa que la proporción de rebaños con estatus de infectados aumenta según el tamaño del rebaño, confirmando un patrón observado en las enfermedades transmisibles, en que los rebaños de mayor tamaño tendrían un mayor riesgo de infección. Esta relación indica que en una mayor población animal, se incrementan aquellos atributos demográficos, de densidad e interacción de sus individuos, que contribuyen a la transmisión y la mantención de los organismos causales de enfermedades transmisibles. La Tuberculosis bovina no es ajena a este patrón.

No obstante, no deja de llamar la atención una relativa mayor proporción de predios infectados en aquellos con menos de 5 bovinos examinados y que corresponden a la categoría de menor tamaño. Una revisión por región de esta particular categoría, revela que son las regiones de Coquimbo, Metropolitana, Biobío y Magallanes, donde se observa una mayor proporción de rebaños infectados en esta categoría.

Al incorporar el factor zona epidemiológica con el cual se diferenció la gestión sanitaria del Plan de Tuberculosis Bovina, y que separó el país en una Zona de Control, extendida entre las Regiones de Arica y Parinacota y del Biobío, con la exclusión de la provincia de Arauco, y una Zona de Erradicación, que comprende todo el territorio entre las regiones de la Araucanía y de Magallanes más la provincia de Arauco antes mencionada, se obtienen los cuadros N° 6 y 7 que se presentan a continuación.

Cuadro N° 6 : Predios según estatus sanitario de Tuberculosis Bovina por tamaño del rebaño Bovino en la Zona de Control

Tamaño Rebaños	estatus		Total	Proporción Infectados (%) e (IC 95%)	
	Infectado	Negativo			
< 5 bov	167	514	681	24.52	(21.3 - 27.9)
5 - 10 bov	22	417	439	5.01	(3.1 - 7.5)
10 - 30 bov	115	750	865	13.29	(11.1 - 15.7)
30 - 100 bov	104	318	422	24.64	(20.6 - 29.0)
100 - 300 bov	78	102	180	43.33	(35.9 - 50.9)
> 300 bov	52	27	79	65.82	(54.2 - 76.1)
Total	538	2128	2,666	20.18	(18.6 - 21.8)

Cuadro N° 7 : Predios según estatus sanitario de Tuberculosis Bovina por tamaño del rebaño Bovino en la Zona de Erradicación.

Tamaño Rebaño	estatus		Total	Proporción Infectados (%) e (IC 95%)	
	Infectado	Negativo			
< 5 bov	37	1851	1,888	1.96	(1.3 - 2.7)
5 - 10 bov	4	1574	1,578	0.25	(0.07 - 0.6)
10 - 30 bov	22	2375	2,397	0.92	(0.5 - 1.3)
30 - 100 bov	89	1472	1,561	5.70	(4.6 - 6.9)
100 - 300 bov	114	884	998	11.42	(9.5 - 13.6)
> 300 bov	155	463	618	25.08	(21.7 - 28.7)
Total	421	8619	9,040	4.66	(4.2 - 5.1)

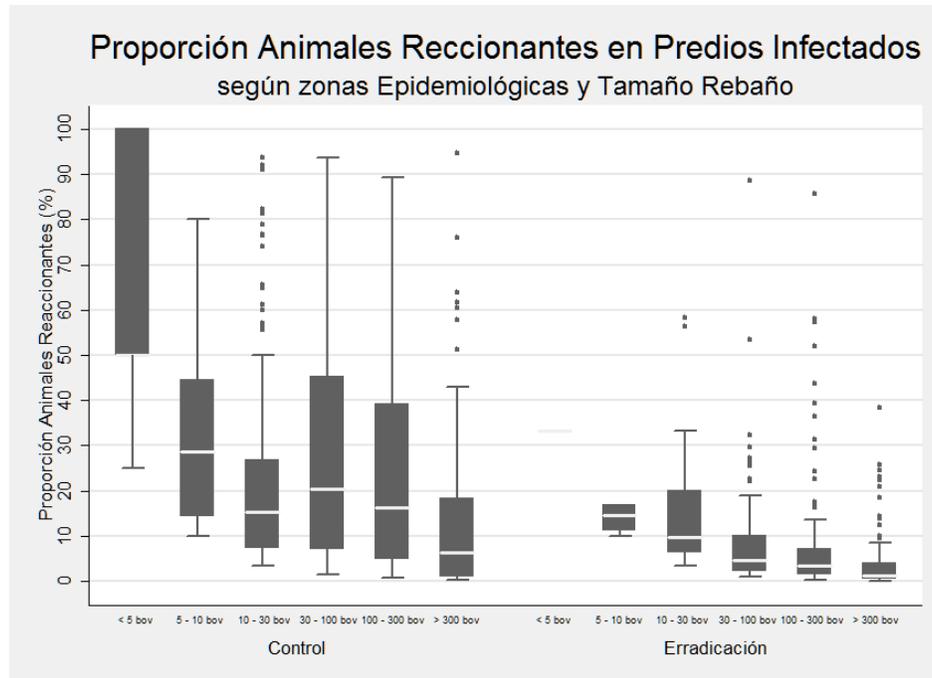
En ambas zonas se observa una relación directa entre el riesgo de infección por tuberculosis bovina a nivel predial y el tamaño de los rebaños. Sin embargo, en la zona de control este riesgo es entre 2,6 a 20 veces más alto que en la zona de erradicación dependiendo del tamaño del rebaño. En el caso particular de los predios con menos de 30 bovinos localizados en la zona de control, este riesgo es entre 12 y 19 veces más alto que en los predios de tamaño similar ubicados en la de erradicación, mientras que en los predios con más de 30 bovinos, este riesgo es sólo entre 2 a 4 veces más alto.

Estos distintos niveles de riesgo, podrían sugerir que los predios con menos de 30 bovinos en la zona de control tendrían un nivel de exposición mayor a la infección que en aquellos localizados en la zona de erradicación, y en particular, los de un tamaño menor de 5 bovinos. Es posible plantear que esta última categoría de predios, que tienen una mediana de 2 bovinos y se cría con fines productivos, tendría una vinculación más estrecha con predios proveedores de animales de mayor tamaño tales como los que están en la zona de control que tienen un alto riesgo de tuberculosis y consecuentemente, los expondría a un mayor riesgo de infección. Dicha relación y exposición sería significativamente menor en los predios de menor tamaño de la zona de erradicación.

Tuberculosis Bovina a nivel Intra-predial.

El nivel de infección por *M. bovis* observado dentro de los predios afectados puede ser representado por la proporción de animales reaccionantes a la prueba de tuberculina basado en un gráfico de Cajas (*Box Plot*). En el gráfico N° 3, se presenta el nivel de infección expresado como tasa bruta según la zona epidemiológica, y dentro de ella, desagregado por tamaño del rebaño.

Gráfico N° 3 : Proporción de Animales Reaccionantes en los Predios con estatus sanitario de Infectado, según zona epidemiológica y tamaño de rebaño bovino.



El gráfico de Cajas permite representar la dispersión que tiene la proporción de bovinos reaccionantes y así describir el impacto de la tuberculosis bovina en los predios declarados como infectados. La caja de cada serie, contiene el valor de la mediana y la dispersión de la mitad de las observaciones, representada por los límites superior e inferior del rango intercuartil. Las líneas por su parte, representan los límites mínimo y máximo de 1,5 veces el rango intercuartil en cada serie, y los puntos que están por fuera de estas líneas, representan los datos extremos de cada serie (*outliers*).

En la zona de control se observa que en los predios cuyo tamaño de rebaño es entre 10 y 300 bovinos chequeados, tienen medianas de animales reaccionantes entre el 15 y 28 %, con un rango intercuartil combinado de un mínimo de 7% y un máximo de 45%. Los predios con menos de 5 bovinos chequeados tienen medianas del 50% y en algunos predios, todos los animales han evidenciado reacciones positivas a la prueba de tuberculina. En los predios con mayor tamaño de rebaño por su parte, la mediana de bovinos reaccionantes es del 6,2% con un rango intercuartil entre 1 y 18%. Se destaca que en los predios con un rebaño entre 10 y 30 bovinos y aquellos con más de 300 bovinos, se evidencian datos extremos, donde la proporción de reaccionantes tiene un rango entre el 50 y el 90%. Las regiones de Biobío, Maule y Metropolitana concentran el 85% del total de estos casos extremos.

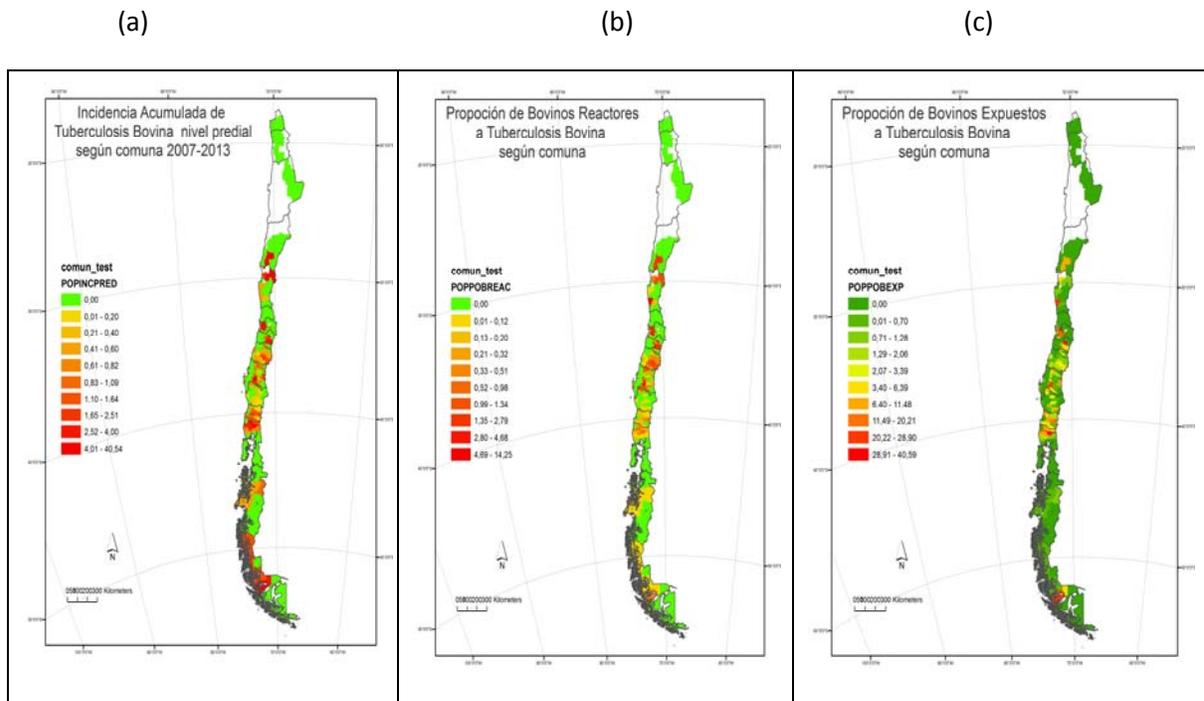
En la zona de erradicación, la proporción de animales reaccionantes intra-predial es más baja que en la zona de control, según se aprecia por los valores de las medianas y porque el límite superior del rango intercuartil no supera el 20%. Sin embargo, y del mismo modo que en la zona de control, se observan datos extremos en las cuatro series de predios con mayor tamaño de rebaño, lo que indica un nivel de infección complejo en estos rebaños. La región de Los Lagos lidera estos datos extremos con el 55,5% de este tipo de predios.

Tuberculosis Bovina a nivel Comunal

Con base a los datos obtenidos del proceso de diagnóstico de tuberculosis en predios realizado entre los años 2007 y marzo del 2014, se realizó una estimación de la incidencia acumulada de tuberculosis tanto a nivel de predios y de la proporción de bovinos reaccionantes a nivel poblacional, considerando como población en riesgo, los datos censales obtenidos en el año 2007 a nivel comunal.

En la ilustración N° 3 se entrega la incidencia acumulada de tuberculosis bovina por comunas a nivel de rebaños (mapa a) y la proporción de bovinos reaccionantes a nivel poblacional (mapa b). El mapa c, informa de la población con mayor exposición al riesgo de tuberculosis nivel comunal, conformada por aquella localizada dentro los rebaños infectados y expresada como proporción del censo bovino en cada comuna⁶.

Ilustración 1 : Incidencia Acumulada a nivel Predial (a), Proporción de Bovinos Reaccionantes (b) y Expuestos por Comunas (c). 2007-2013.



⁶ Ver detalle de los mapas a), b) y c) de la ilustración en el Anexo.

En 100 comunas del país han sido detectados predios infectados por Tuberculosis Bovina (29,0%). La mediana de predios infectados por comuna fue de 3 con un rango entre 1 y 130 predios y la mediana de la incidencia acumulada a nivel predial en las comunas con infección, fue de 0,89% con un rango entre 0,04 y 40,5%. Comunas con valores extremos de incidencia acumulada fueron: Vallenar (8,1%), Vicuña (5,0%), Cartagena (16,6%), María Pinto (6,1%), Talagante (9,8%), Coronel (5,2%), Los Ángeles (4,7%), Osorno (4,2%), Puerto Octay (7,8%) y Río Verde (40,5%).

El número de bovinos reactivos en los predios infectados a nivel comunal tuvo una mediana de 46 bovinos con un rango entre 1 y 3.903 bovinos. La proporción de bovinos reactivos con relación al censo bovino comunal, tuvo una mediana de 0,22% con un rango entre 0,002 y 14,3%. Comunas cuya proporción de bovinos reactivos fue extrema fueron: Canela (14,3%), Casablanca (4,2%), Melipilla (4,6%), Requínoa (4,5%), Curicó (2,8%) y Los Ángeles (4,5%).

La exposición a la infección por *M. bovis*, medida por la cantidad de bovinos existentes en los rebaños infectados con relación al censo bovino comunal, informa una mediana de 393 bovinos con un rango entre 6 y 32.626 bovinos en las comunas con tuberculosis bovina. La proporción de bovinos expuestos en relación al censo bovino comunal es de un 6% con un rango entre 0,09 y 40,5%. Las comunas con valores extremos de bovinos expuestos fueron: Canela (24,7%), Curacaví (40,5%), El Monte (22,8%), Peñaflores (32,3%), Pirque (27,9%), Rengo (24,7%), Requínoa (30,9%), Los Ángeles (28,9%), Futrono (20,2%), Puerto Octay (35,3%) y Río Verde (23,4%).

Para realizar una aproximación geográfica basada en riesgo de la ocurrencia de Tuberculosis en el país, se recurrió al programa computacional de fuente abierta, GeoDa⁷, que dispone de herramientas para el análisis exploratorio de datos espaciales de tipo poligonal y de puntos.

Con los datos del diagnóstico de tuberculosis comunal se prepararon Mapas de Exceso de Riesgo que permiten visualizar la extensión en la cual la tasa observada en una localidad excede o está por debajo, del riesgo promedio que sería esperado en esa particular localidad, de forma similar al cálculo de las Tasas de Mortalidad Estandarizadas⁸. En los mapas de Exceso de Riesgo, interesan aquellas localidades en que se observa una tasa por sobre el riesgo esperado.

La ilustración 2⁹, muestra los mapas de Exceso de Riesgo a nivel comunal con el procesamiento de las siguientes variables: Predios Infectados, Bovinos Reaccionantes y Bovinos Expuestos. Cada mapa informa de 6 niveles de Riesgo a nivel comunal, donde los valores cercanos a 1, indican que el riesgo observado para la variable representada en el mapa, es igual o similar al esperado. Los valores distantes a uno informan de, un menor riesgo (menores de 1) o de un mayor riesgo (mayores de 1). El Exceso de Riesgo corresponde a aquellas comunas con valores altos y extremos. En este trabajo se considerará que un valor de 3 en la variable representada en el

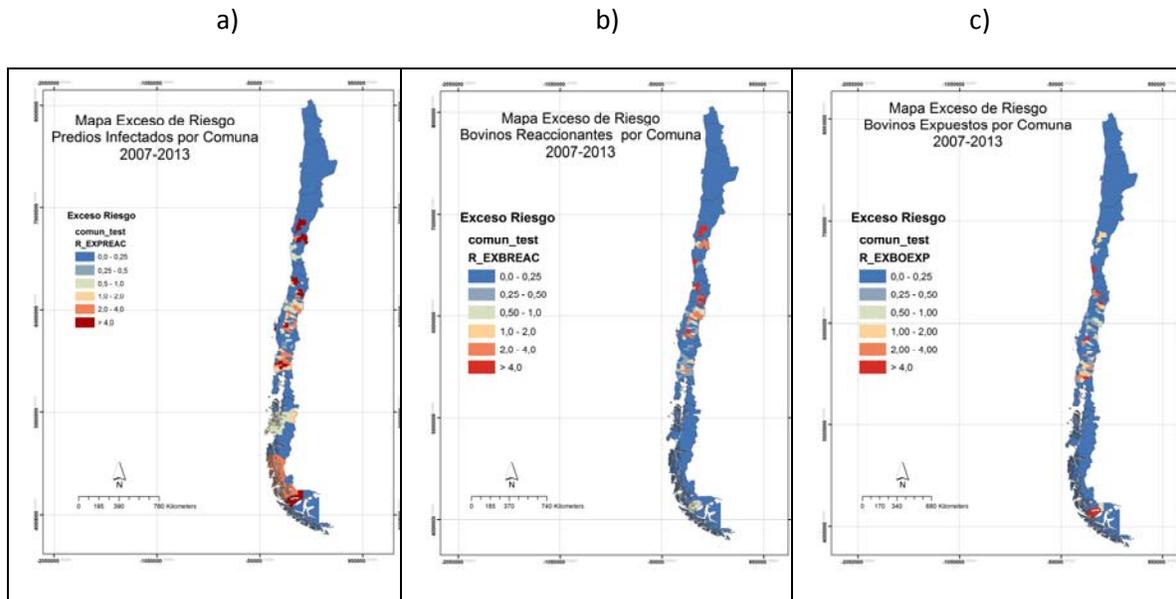
⁷ GeoDa Center for Geospatial Analysis and Computation. [www.geodacenter.asu.edu]. GeoDa™ 2011-2014 by Luc Anselin version:1.6.0 17 June 2014.

⁸ El Exceso de Riesgo se obtiene de razones entre los recuentos esperados y observados de eventos en cada localidad. Los recuentos esperados de los eventos son computados como el producto de una proporción (e.g. predios infectados/población de predios en riesgo) y el riesgo promedio general en la región bajo estudio. El riesgo promedio general es la razón entre todos los eventos sobre el total de la población.

⁹ Detalle de cada mapa de la ilustración se puede ver en el Anexo

mapa, informa de un Riesgo Alto porque indica que el riesgo observado triplica el riesgo esperado en una comuna particular.

Ilustración 2: Serie de mapas de Exceso de Riesgo de Tuberculosis Bovina a nivel Comunal de a) Predios Infectados por Comuna, b) Bovinos Reaccionantes por Comuna y c) Bovinos Expuestos por comuna.



En el mapa a) se informa el Exceso de Riesgo de Predios infectados por Tuberculosis bovina a nivel comunal. De las 100 comunas con predios infectados, en 31 de ellas se observa un nivel de infección que es 3 veces superior al valor esperado en las mismas.

La Región Metropolitana y de Los Lagos tiene el mayor número de comunas con un Exceso de Riesgo superior a 3. En contraste, todas las comunas de las regiones de Arica y Parinacota, Iquique, y Antofagasta tiene un riesgo menor a lo esperado mientras que en las Regiones de la Araucanía, Los Ríos y Aysén, no se observan comunas con rebaños infectados mayor al esperado.

La comuna de Río Verde de la Región de Magallanes tiene un Exceso de Riesgo de 72 veces el valor esperado y en las comunas de Vallenar, Cartagena, Puerto Octay, María Pinto y Talagante el Exceso de Riesgo es 10 veces al valor esperado en las mismas comunas. En el Anexo se incluye el mapa de Exceso de Riesgo obtenido con los predios infectados y una relación de las comunas con un Exceso de Riesgo superior a 3.

Las comunas con un Exceso de Riesgo de Bovinos Reaccionantes 3 veces más alto que el valor esperado son 20 en el país y todas menos una, están localizadas en la zona de Control del Plan de Tuberculosis (mapa (b) Ilustración 4). Las regiones, Metropolitana con cinco y de O'Higgins con cuatro, son aquellas con el mayor número de comunas con un Exceso de Riesgo superior a 3. La comuna de Canela en la Región de Coquimbo registra un Exceso de Riesgo 34 veces superior al valor esperado mientras que las comunas de Casablanca, Melipilla, Requínoa, Chimbarongo y Los Ángeles presentan un Exceso de Riesgo 10 veces superior al esperado en cada una de ellas. En el anexo se agrega el mapa y la lista de comunas, con un Exceso de Riesgo superior a 3.

Las comunas con un Exceso de Riesgo en la población Expuesta se muestran en el mapa (c) de la Ilustración 4. En 13 comunas se observa una población expuesta con un Exceso de Riesgo 3 veces superior al esperado, donde destaca la región Metropolitana con cinco comunas. Las comunas de Curacaví (7,5) de la Región Metropolitana y de Puerto Octay (6,5) en la región de Los Lagos registran los valores extremos en el Exceso de Riesgo observado. En el anexo se agrega el mapa de la población expuesta a tuberculosis bovina por comuna y la lista de aquellas con un Exceso de Riesgo superior a 3.

Detección de Agrupamientos de Tuberculosis a nivel predial

Si bien la exploración de los datos de la ocurrencia de tuberculosis a nivel comunal revelan patrones de presentación en las regiones del país, nada puede ser dicho respecto a la ocurrencia a nivel predial, por cuanto los datos son tratados como datos de área y representan de manera uniforme toda el área geográfica comprendida en cada comuna. Por otra parte, los límites de cada comuna son de tipo administrativos, de lo que se deriva que si los límites comunales fuesen otros, los resultados de un análisis comunal podrían ser distintos. Ello es la base del llamado Problema de la Unidad de Área Modificable¹⁰.

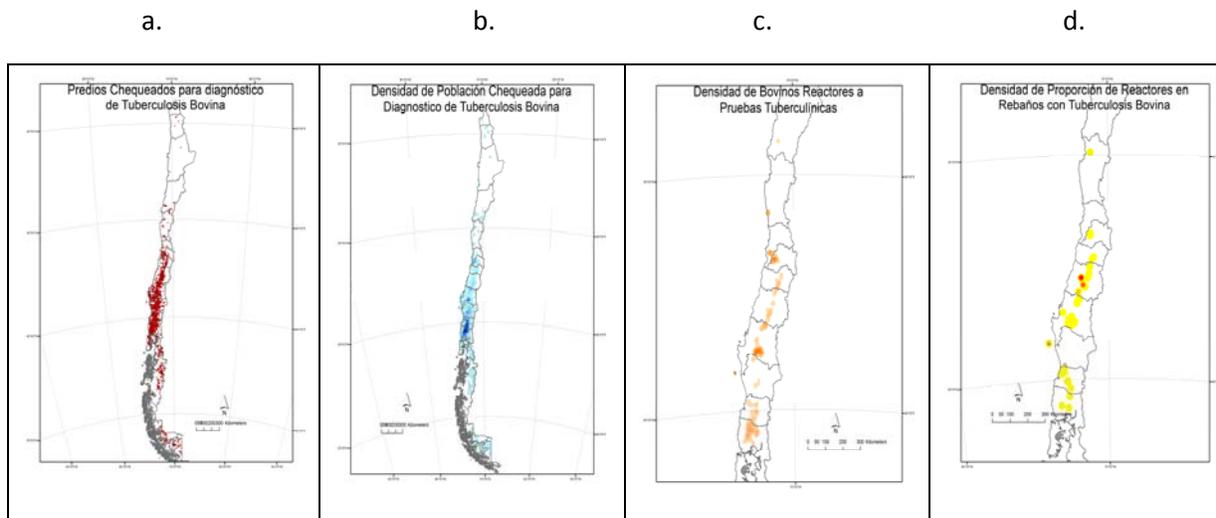
Dado que los datos del diagnóstico de tuberculosis incluyen la georeferencia de los predios examinados, es de interés explorar las variables que miden la ocurrencia a nivel predial con prescindencia de los límites comunales y así superar el Problema de la Unidad de Área Modificable.

Se realizaron dos tipos de exploraciones con los datos de georreferenciación predial. La primera fue tratar las variables que representan la ocurrencia de tuberculosis bovina, para que sean presentadas como funciones de densidad geográfica. Ese tipo de representación es recomendable cuando se dispone de grandes cantidades de datos espaciales en puntos. A continuación, los datos fueron explorados para evidenciar la existencia de patrones de agrupamientos más allá de lo esperado, los que en caso de ser detectados, sugerirían áreas de mayor riesgo y sujetos de una evaluación epidemiológica específica y focalizada.

En la ilustración 3, se entrega en primer lugar un mapa de puntos con los predios chequeados donde están representados los 11.705 puntos georeferenciados de dichos predio (ver mapa en detalle en el Anexo). Como puede verificarse, existen áreas con una alta densidad de puntos, que impide detectar si hay patrones subyacentes a dicha distribución espacial. En la misma ilustración se presenta una serie de 3 mapas en los cuales los datos georeferenciados prediales han sido tratados para la función de densidad Kernel considerando las variables: población bovina chequeada (mapa b), bovinos reaccionantes a las pruebas de tuberculinas (mapa c) y la proporción de reaccionantes interna en los predios clasificados como infectados (mapa d).

¹⁰ Problema causado por la imposición de unidades artificiales de definición espacial en fenómenos geográficos continuos teniendo esto como consecuencia la generación de patrones artificiales.

Ilustración 3: Serie de Mapas con Predios Chequeados (a), y Densidad kernel de Bovinos chequeada (b) Bovinos Reaccionantes (c) y Proporción de Reactores en Rebaños con Tuberculosis Bovina (d).



El mapa (a) muestra la localización de los 11.705 predios cuyo estatus de tuberculosis ha sido clasificado. En el mapa (b) y con base a la técnica de suavizamiento Kernel, representa la densidad observada de la población chequeada donde destaca una mayor intensidad de chequeos en la región de los Lagos, donde fueron examinados 4.675 predios y 359.098 bovinos. El mapa (c) muestra la densidad de animales reaccionantes a la prueba de tuberculina registrada en los chequeos y evidencia una mayor intensidad de bovinos reaccionantes en las regiones de Biobío y Metropolitana, seguido por la región de Los Lagos.

Con la proporción de animales reaccionantes en los predios con estatus de infectados se preparó el mapa (d) que evidencia una mayor intensidad en la región del Maule y en general, en casi todas las regiones de la zona de Control. Debe advertirse, que esta proporción tiene una varianza muy inestable cuando se calcula en rebaños de tamaño pequeño, por lo que podría sobre-representar la carga de infección en rebaños de menor tamaño.

Por otra parte, la región de la Araucanía constituiría una aparentemente frontera epidemiológica, por cuanto no evidencia altas densidades de animales reaccionantes así como de la proporción interna de reaccionantes en los rebaños infectados, lo que es apoyado por la proporción relativamente baja de rebaños infectados detectados (3.1%).

El análisis exploratorio para la búsqueda de agrupamientos de tuberculosis a nivel predial fue realizado con el estadístico Scan, con el cual se procesaron los datos para un análisis bajo los modelos Bernoulli y Poisson, tal como están incluidos en el software para análisis espacial SatScanTM 11.

¹¹ Software: Kulldorff M. and Information Management Services, Inc. SaTScanTM v9.3: Software for the spatial and space-time scan statistics. [www.satscan.org], 2013.

El modelo basado en la distribución de Poisson, utiliza la población animal en la exploración de datos espaciales y es adecuado para investigar eventos de baja frecuencia, donde informa sobre las áreas geográficas que evidencian agrupamientos de poblaciones, en las cuales las frecuencias de enfermedad están por fuera de los valores esperados.

Bajo el modelo Bernoulli por su parte, los datos espaciales son tratados como Casos y Controles, donde los predios infectados son los Casos, y los predios negativos los Controles. La hipótesis que se prueba es que en un proceso espacial aleatorio, el riesgo es uniforme en toda el área, donde la proporción de los casos y controles sería constante (hipótesis nula). Si en algún área las proporciones varían, sería una evidencia de un agrupamiento espacial, si la proporción es por sobre de lo esperado (*cluster*), o de un efecto inhibitorio, donde la proporción de los casos sería menor a la esperada (hipótesis alternativa). En este trabajo, interesan los agrupamientos de casos porque ellos representan patrones espaciales de propagación de enfermedades transmisibles donde la distribución de los casos no correspondería a un proceso aleatorio, sino que a uno particular asociado a la presencia de tuberculosis bovina en dicha zona, lo que sugeriría la acción de factores de riesgo subyacentes en la población en riesgo, que deberían ser investigados de una manera más formal y específica en la búsqueda de su causalidad.

Bajo el modelo Poisson, el análisis espacial exploratorio evidenció cuatro agrupamientos significativos de ocurrencia de Tuberculosis. El primer agrupamiento corresponde a uno de grandes dimensiones y comprende el territorio desde la región del Biobío hacia el norte del país (cluster N° 1, ilustración N°4 mapa a). En esta área la población chequeada fue de 107.960 bovinos donde se observaron 10.401 reactores a tuberculosis, cuando el número esperado de casos era de 2.099 ($O/E=4,95$). El Riesgo Relativo en este agrupamiento fue de 11.66 y por ello se lo denomina como un agrupamiento de alto riesgo¹². En el mapa corresponde al área de distribución de los puntos rojos que representan a los predios chequeados en el área.

Los siguientes 3 agrupamientos se presentaron al sur de la Región del Biobío, siendo el N° 2, un agrupamiento de 234 kms de diámetro que se localiza principalmente en la Región de la Araucanía, donde se observaron 807 bovinos reactores siendo lo esperado 3.221 bovinos reactores ($O/E=0,25$). El Riesgo Relativo en este agrupamiento fue de 0,21 por lo que se le denomina agrupamiento de Bajo Riesgo (cluster N° 2, ilustración N°4 mapa a) sugiriendo la acción subyacente de factores “protectores” o “inhibitorios” para la ocurrencia de tuberculosis bovina.

El agrupamiento N° 3 tiene un diámetro de 80,2 kms y se localizó principalmente, en las comunas de Río Bueno y Lago Ranco de la Región de Los Ríos y de Puyehue en la Región de Los Lagos. En esta área se observaron 728 reactores donde se esperaban 3.251 reactores ($O/E=0,22$). El Riesgo Relativo de este agrupamiento de Bajo Riesgo fue de 0,19 (cluster N° 3, ilustración N° 4 mapa a). El último agrupamiento, también de bajo Riesgo, se inicia en la comuna de Purránque y se extiende hasta las provincias de Chiloé y Palena con un diámetro de 408 kms. La frecuencia de casos observada fue de 807 reactores, donde la esperada era de

¹² El software SatScan™ utiliza las denominaciones de *High Rate Cluster* y *Low Rate Cluster*. En este trabajo se utilizará las denominaciones traducidas como “agrupamientos de Alto Riesgo y Agrupamientos de Bajo Riesgo” respectivamente, para no confundir la expresión con tasas de infección, sino que dan cuenta de áreas geográficas con frecuencias de infección o de casos, por sobre o bajo lo esperado para dicha áreas.

3.221 reactores (O/E=0,25). El Riesgo Relativo de este agrupamiento fue de 0,21 (cluster N° 3, ilustración N° 4 mapa a).

La localización del agrupamiento de Alto Riesgo y aquellos de Bajo Riesgo, dan respaldo a la decisión del Plan de Tuberculosis de distinguir en el país, una zona de erradicación y otra de control de tuberculosis bovina. Los límites de la zona de Control coinciden con el agrupamiento poblacional de alto Riesgo mientras que los 3 agrupamientos de Bajo Riesgo, se localizan en la zona de Erradicación.

El análisis exploratorio bajo el modelo de Bernoulli trató los datos de los predios examinados como casos y controles. No se considera aquí la población animal sino que sólo la ubicación del predio. Fue realizado en 11.706 predios con estatus sanitario definido, de los cuales 959 eran infectados por *M. bovis*. Se utilizó una ventana de exploración del 20% de la población en riesgo. Este análisis se concentró hacia la búsqueda de agrupamientos de alto riesgo, es decir, que evidencien una frecuencia de predios infectados mayor a lo esperado en el plano territorial.

Fueron detectados siete agrupamientos de Alto Riesgo. El primer agrupamiento (cluster N° 1, ilustración N° 4 mapa b), se localizó en un área que se extiende desde la región de Biobío hasta la región de Coquimbo, con un diámetro de 1.400 kilómetros (RR¹³=4,89) y comprende la zona de Control hasta la región de Coquimbo.

Los seis agrupamientos restantes se localizan en la zona de Erradicación. El segundo agrupamiento detectado (cluster N° 2, ilustración N° 4 mapa b), comprende un área con un diámetro de 108 kms, y que se localiza en la comuna de Río Verde¹⁴ de la provincia de Magallanes (RR=9.42).

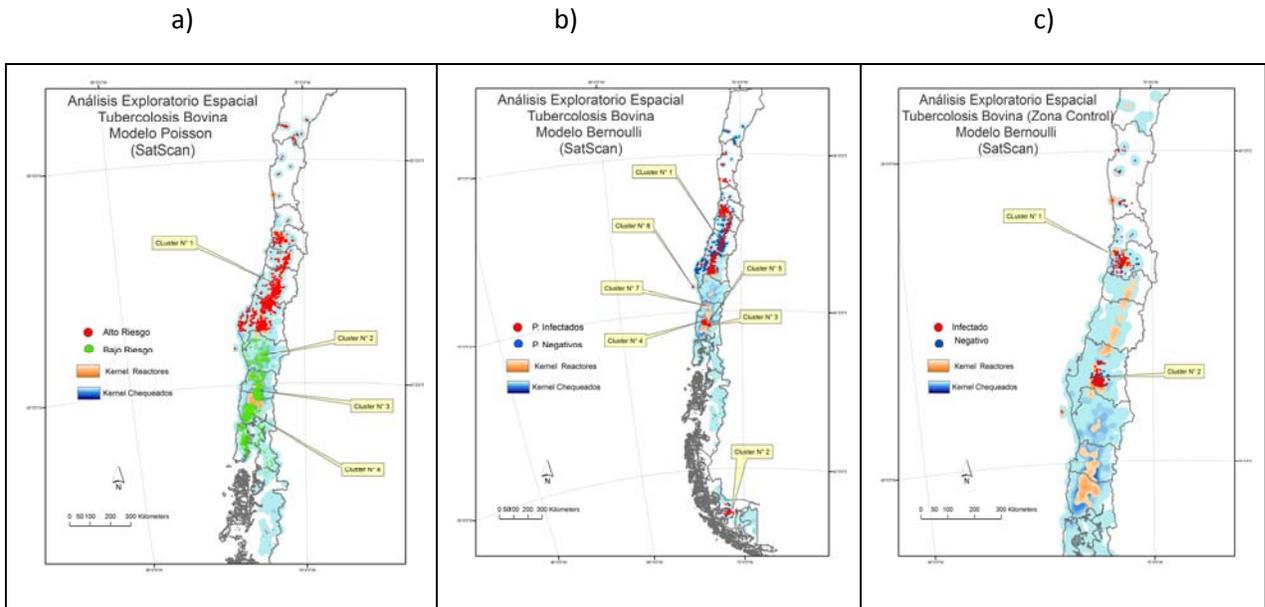
En las comunas de Osorno y Puerto de Octay de la provincia de Osorno, se localizan 3 agrupamientos (cluster 3, 4 y 5; ilustración N° 4 mapa b), cuyas áreas tiene diámetros de 9, 32 y 20,1 kms de diámetro respectivamente. Los RR estimados fueron de 12,3 para el agrupamiento N° 3, 2,66 para el agrupamiento N° 4 y de 5,26 para el agrupamiento N° 5.

Un sexto agrupamiento de casos fue detectado en la isla Mocha, comuna de Tirúa, Región del Bio Bio (Cluster N° 6, ilustración N° 4 mapa b) con una extensión de 10,6 kms y un RR de 9,84 y el último, en la comuna de Valdivia de la Región de Los Ríos, con una extensión de 5,6 kms y un RR de 12,27 (cluster N° 7, ilustración N° 4 mapa b).

¹³ RR= Riesgo Relativo del Agrupamiento.

¹⁴ El agrupamiento se localiza en la Isla Riesco.

Ilustración 4: Serie de mapas con exploraciones espaciales para la búsqueda de agrupamientos según los modelos Poisson y Bernoulli (SatScan™)



Los mayores niveles de infección, tanto a nivel predial como poblacional que caracterizan la zona de control, y que según el modelo Poisson evidencia un gran agrupamiento de Alto Riesgo, aparentemente, impedirían distinguir situaciones epidemiológicas más específicas o complejas en esta zona, cuando se incluye en el análisis todos los datos del territorio nacional. Por ello, se repitió el análisis exploratorio bajo el modelo Bernoulli, pero con una base de datos conformada por los predios de la zona de control solamente. El interés aquí es explorar la presencia de agrupamientos de infección a nivel predial dentro de la zona de Control, que pudiesen sugerir situaciones de mayor complejidad sanitaria en esta zona de mayor ocurrencia.

El mapa c de la ilustración N° 4, muestra los resultados del análisis bajo el modelo de Bernoulli, conducido sobre los predios que cuentan con estatus sanitario de tuberculosis en la zona de Control. El análisis se realizó con una base de 2.636 predios donde se han clasificado como infectados 538 predios. La ventana de exploración fue de un 20% de la población de predios en riesgo y dirigida a la búsqueda de agrupamientos de alto riesgo.

Dos agrupamientos de alto riesgo fueron detectados en la zona de Control. Un agrupamiento comprende un área con un diámetro de 476 kms y que se extiende desde la región de Coquimbo hasta la Metropolitana. En este agrupamiento se observaron 134 casos con un esperado de 45 ($O/E=2,95$) y un RR de 3,6 (cluster N° 1 ilustración N° 4, mapa c). La mayor parte de los predios involucrados en este agrupamiento se localizan en las comunas de Melipilla y María Pinto de la Región Metropolitana y Casablanca de la Región de Valparaíso. Esta localización se corresponde con las zonas con mayor densidad de reactores según lo evidencia el mapa de densidad Kernel. El segundo agrupamiento de alto riesgo corresponde a un área con un diámetro de 92 kms que se localiza en la comuna de Los Ángeles de la Región del Biobío. La frecuencia observada de casos fue de 188 siendo la esperada de 102, ($O/E=1,83$) y un RR de 2,28 (cluster N°2 ilustración N° 4, mapa c). El análisis específico conducido en la zona de control, evidencia que dentro de ella, hay también áreas que presentan una ocurrencia de tuberculosis más allá de lo esperado y sugieren una mayor complejidad epidemiológica, que debiera ser atendida con una investigación específica que identifique aquellos factores de riesgo que facilitan la transmisión de la infección entre-predios y que podrían ser críticos en la definición de una estrategia de gestión de riesgo para el control.

Discusión y Conclusiones.

La recopilación del trabajo de diagnóstico de tuberculosis bovina en nivel de rebaños, realizado entre los años 2000 y marzo del 2014, permite ilustrar la situación de tuberculosis bovina en el país, centrada en su dimensión geográfica y poblacional. Dicho diagnóstico estuvo basado en la prueba Caudal y comprendió la tuberculinización de las categorías bovinas mayores de 18 meses en los predios seleccionados y en el caso de la aparición de animales reaccionantes, fue seguido por procedimientos para verificar la infección en los animales y consecuentemente definir el estatus sanitario del rebaño.

El diagnóstico de tuberculosis bovina alcanzó alrededor del 10 % de los predios con bovinos y al 23 % de los bovinos del censo nacional en todas las regiones del país. Fue realizado zonal y progresivamente, con una mayor intensidad en la segunda mitad de la década pasada, con miras a levantar información que contribuyera a diseñar una estrategia para el control y la erradicación de la enfermedad y conocer la situación base en cada región. Los predios seleccionados correspondieron a aquellos registrados en las oficinas del SAG y de otras instituciones o entidades, que en general, han estado vinculados al quehacer del SAG en otros programas sanitarios. En otros casos, los predios fueron tenían registros históricos de sospechas de infección y fueron seleccionados con el fin de definir el estatus sanitario. También se hicieron encuestas localizadas en zonas con pequeños productores. No obstante los sesgos de selección indicados, la cantidad de predios examinados y la población tuberculinizada, que en algunas regiones alcanzó sobre el 30% de los predios y de los animales, permite contar con datos útiles para estimar la ocurrencia de tuberculosis a nivel de regiones, comunal y predial, tal que permita proyectar el riesgo territorial y poblacional de la enfermedad y servir de guía a una gestión sanitaria para su control y erradicación.

Un total de 12.168 datos de predios examinados estuvieron disponibles para el análisis, de los cuales, en 11.706 ha sido definido el estatus sanitario de tuberculosis, declarándose a 959 como infectados por *M. bovis*. La incidencia a nivel nacional alcanzaría a 0.76 % (IC: 0.71-0.81) no obstante debe agregarse, que en 462 predios los procedimientos para resolver el estatus sanitario no están aún finalizados por lo que su estatus sanitario está pendiente. Proyectada esta ocurrencia a nivel predios sobre los datos del censo en cada región, se puede observar que la mayor incidencia se presenta en la Región de Magallanes, seguida por la Región Metropolitana, Atacama, Biobío y Coquimbo. En contraste, no se evidenciaron predios infectados en las tres primeras regiones del país, y la región de la Araucanía, presentó la menor incidencia dentro del grupo de regiones con ocurrencia de enfermedad.

En las regiones localizadas desde el Biobío al norte del país, la ocurrencia a nivel predial fue significativamente más alta que en las regiones localizadas al sur de la región del Biobío. Esta diferencia en el nivel de ocurrencia determinó tempranamente que se definiera una zonificación para la gestión sanitaria de Tuberculosis Bovina donde se estableció una zona de Control, conformada por las regiones localizadas desde Biobío al norte excluyendo la provincia de Arauco y una zona de Erradicación, conformada por las regiones al sur de la Región del Biobío, más la provincia de Arauco.

La frecuencia de tuberculosis a nivel predial aumenta con relación al tamaño del rebaño. Esta relación directa, ya demostrada en diversos trabajos sobre tuberculosis bovina^{15 16} y en otras enfermedades transmisibles, se observó también en los predios examinados a lo largo del país.

Las categorías de predios con un tamaño de rebaño menor a 30 bovinos y localizados en la zona de control, presentaron una ocurrencia de tuberculosis 12 a 19 veces más alta que aquellos similares localizados en la zona de erradicación y en la categoría de predios con el tamaño de rebaño más pequeño, se observó una frecuencia significativamente más alta que en las categorías siguientes. Por contraste, en las categorías de predios con un tamaño de rebaño superior a 30 bovinos de la zona de control esta diferencia es entre 2 a 4 veces más alta que en las mismas categorías de predios ubicados en la zona de erradicación.

Esta mayor frecuencia de Tuberculosis en los predios de menor tamaño de la zona de Control, sugiere un mayor nivel de exposición a la infección, que podría estar asociado a patrones de transmisión entre-predios de mayor intensidad que la zona de erradicación. En particular, en la categoría que reúne a los predios con el tamaño de rebaño más pequeño, que en ambas zonas evidenció una mayor ocurrencia en comparación a otras categorías de menor tamaño, sugiere que el mayor riesgo de infección se vincularía a su alta dependencia a predios de mayor tamaño para la provisión de animales productivos.

El nivel de infección intrapredial también evidenció diferencias significativas entre los predios ubicados en la zona de control comparado aquellos localizados en la zona de erradicación, donde en los primeros las tasas crudas de infección intra-predial fueron más altas que en los últimos. En la categoría de predios de tamaño más pequeño no fue infrecuente observar que todos los animales fueron declarados infectados. En casi todas las diferentes categorías de tamaño de rebaño, fueron observados datos extremos de infección intra-predial revelando situaciones epidemiológicas complejas en dichos rebaños. Estos datos extremos se presentaron con mayor frecuencia en las regiones Metropolitana, Maule, Biobío y Los Lagos.

Los datos regionales de Tuberculosis bovina constituyen un nivel de agregación alto de la información que no puede revelar patrones de ocurrencia intra-regional, por lo que se realizó un análisis de los datos con base a la división comunal del país. No obstante que los datos comunales son también datos agregados, la distribución de los mismos en las 345 comunas del país, permite una visualización geográfica de la ocurrencia con más detalle. Se calculó la incidencia acumulada a nivel predial, como una medición de la infección en el agregado "rebaño bovino" y a nivel poblacional se estimaron: la proporción de animales infectados con relación a la población bovina existente y como una medida del impacto de la enfermedad se estimó la población expuesta, considerando como tal aquella localizada en los predios infectados.

¹⁵ Espejo G. 2007. Análisis Epidemiológico de Tuberculosis a Rebaños Lecheros Bovinos en Chile. (V,VI, VII y VIII y RM) 2004. Tesis (Magister en Ciencias Animales y Veterinarias). Santiago Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. 143 páginas.

¹⁶ Lara M. 2007. Estudio de casos y controles sobre los factores de riesgo a nivel predial de tuberculosis bovina en la octava, novena y décima región, Chile. Tesis (Magister en Ciencias Mención Medicina Veterinaria Preventiva). Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias. 51 páginas.

En 100 comunas del país se evidenciaron predios infectados. Si bien la mediana no superó el 1% de predios infectados por comuna, las frecuencias tuvieron un rango que alcanzó el 40%. En comunas de las regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, Biobío, Los Lagos y Magallanes se observaron los datos extremos de la infección a nivel predial.

Por su parte, a nivel poblacional la mediana de la proporción de bovinos reactivos a nivel comunal fue de 0,22% con un máximo de 14.3%. Datos extremos de la proporción de bovinos reactivos a nivel comunal se observaron en comunas de las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Biobío. Todas pertenecientes a la zona de Control. Por su parte la mediana de la población expuesta a la enfermedad, fue de un 6% a nivel comunal con un máximo que alcanzó al 41%. Nuevamente en las regiones de Coquimbo, Metropolitana, O'Higgins, Biobío, Los Ríos, Los Lagos y Magallanes se evidenciaron datos extremos de población expuesta a tuberculosis bovina.

Para representar el riesgo de tuberculosis a nivel comunal, en las 3 variables ya mencionadas se obtuvo una medición de la distancia entre valores observados con los valores esperados en cada comuna, de manera similar al cálculo de las Razones de Mortalidad Estandarizadas. Los mapas de riesgo obtenidos con las tres variables, representan gráficamente el exceso de riesgo, como una medida que refleja aquellas áreas con una ocurrencia por sobre lo esperado y que serían críticas para la gestión sanitaria. En el mapa de predios infectados reveló que en 30 de las 100 comunas hay un exceso de riesgo de 3 veces el valor esperado, donde las regiones Metropolitana y Los Lagos reúnen el mayor número de comunas con exceso de riesgo. En particular la comuna de Río Verde de la región de Magallanes obtuvo un valor extremo de 72 veces el valor esperado.

A nivel poblacional, en 20 comunas se observó un exceso de riesgo de bovinos reactivos en comunas de regiones pertenecientes a la zona de Control. Por su parte las comunas con un exceso de riesgo de la población expuesta, fueron 13 donde destacan comunas de la Región Metropolitana y de Puerto Octay de la Región de Los Lagos.

Por otra parte, las 3 primeras regiones del norte del país, evidenciaron un riesgo menor a lo esperado, por la ausencia de infección, lo que da fundamento para revisar su pertenencia a la zona de Control.

El uso de los mapas de exceso de riesgo a nivel comunal, surge como una herramienta de la evaluación de riesgo de tuberculosis que puede guiar la definición y la priorización de la intervención sanitaria, conformándose así en un modelo para una gestión basada en riesgo, que se puede estructurarse en torno a las oficinas del SAG. Así, la gestión de riesgo del Plan de Tuberculosis y de sus recursos, podría ser dirigida a aquellas áreas geográficas en que tendrá el mayor impacto. Para mantener una gestión sanitaria orientada al riesgo, es necesaria una revisión periódica de los mapas de riesgo para poner al día la localización de las áreas con niveles de ocurrencia críticos.

La exploración de los datos del diagnóstico de tuberculosis basado en comunas o regiones, tiene asociado el problema de la Unidad de Área Modificable y con este nivel de agregación de los datos, no se pueden explorar patrones de presentación a nivel predial. Por ello, se realizó una exploración de datos basado en la localización específica de los predios, lo que permite superar el Problema de la Unidad de Área Modificable y profundizar el nivel de análisis de los datos en la búsqueda de patrones de ocurrencia, ahora a nivel predial.

El examen de la distribución de los datos georeferenciados se realizó primeramente con un suavizamiento de los datos mediante estimaciones de densidad vía Kernel, con los cuales se examinó la distribución de los predios examinados, bovinos reactivos y de una tasa cruda de infección intrapredial. Los mapas de densidad revelaron por una parte, la extensión de las áreas que fueron examinadas en el país para el diagnóstico de tuberculosis, y evidencian una mayor intensidad en aquellas regiones que concentran la población bovina del país. Los datos de bovinos reactivos, dan cuenta de la localización de animales infectados y evidenciaron áreas de mayor intensidad en la región de los Lagos y de Los Ríos de la zona de erradicación, y en áreas limitadas de todas las regiones de la zona de control. La estimación de densidad basada en la tasa cruda de infección intra-predial de tuberculosis por su parte, mostró una distribución de la densidad de infección similar a la observada con los datos de los bovinos reaccionantes, con una particular intensidad en las zonas de la región del Maule.

Los mapas de datos de ocurrencia tratados con el suavizamiento Kernel, permiten visualizar la magnitud de trabajo donde las diferentes intensidades de las funciones de densidad, sugieren áreas en que se podrían localizar situaciones epidemiológicas específicas a nivel predial de interés para la gestión sanitaria del Plan.

En tal sentido, se realizó la búsqueda de eventuales agrupamientos de predios infectados, más allá de lo esperado, y que sugerirían la acción de factores que facilitarían la transmisión de la infección en dichos predios y en la zona.

La búsqueda de agrupamientos bajo el modelo Poisson, que incluye la población animal en el análisis espacial de los predios, identificó aquella área del país que registra el mayor nivel de infección a nivel poblacional e intrapredial, y que coincide con la zona de control con excepción de las primeras tres regiones del país. La exploración de datos bajo este modelo de búsqueda de agrupamientos, da fundamento a la decisión que distinguió dos zonas epidemiológicas para la gestión del Plan Nacional de Tuberculosis.

La exploración para la búsqueda de agrupamientos bajo el modelo Bernoulli, que sólo utiliza la localización del predio y su estatus sanitario, confirmó que a nivel país, la ocurrencia de tuberculosis en la zona de control conforma un gran agrupamiento de predios infectados, por registrar una distribución espacial de casos superior a la esperada a nivel nacional. Además, identificó seis agrupamientos de similares características pero de menor tamaño en la zona de erradicación. Estos agrupamientos sobrepasan los límites comunales y permite identificar fenómenos que no habrían podido ser revelados con el nivel de agregación de datos de una exploración comunal. La repetición del modelo Bernoulli sólo con los predios georeferenciados en la zona de control, independizó esta zona de la influencia de la zona de erradicación y permitió una exploración específica para esta zona. La exploración permitió revelar dos agrupamientos adicionales (Región Metropolitana y Biobío) que delimitan dos áreas de mayor complejidad dentro de la ya compleja situación sanitaria de esta zona.

La gestión sanitaria en tuberculosis ha tenido como base el abordaje a nivel predial, que supone que el patrón de infección y transmisión de un predio, es independiente de lo que ocurra en otro predio infectado, y por lo tanto, puede ser gestionado con medidas sanitarias en un plan de saneamiento específico. Este principio es aplicado de forma regular en todos los predios infectados y hay suficiente evidencia empírica que respalda su efectividad. Sin embargo, también hay evidencias que este abordaje en algunos casos, no alcanza los resultados esperados y sugieren la acción de factores de riesgo que van más allá del predio. En este sentido, la identificación de los agrupamientos de predios infectados, permiten localizar aquellas áreas con niveles de infección más allá de lo esperado y que sugieren la acción de

factores de riesgo comunes que motivarían una gestión de riesgo coordinada para mejorar la eficacia de las medidas sanitarias. Los seis agrupamientos de la zona de erradicación y los dos en la zona de control, sugieren la necesidad de mejorar la evaluación de riesgo en los predios involucrados para un diseño específico de su manejo sanitario. Estudios recientes sobre factores de riesgos de introducción y de exposición en rebaños lecheros infectados pueden contribuir a este abordaje¹⁷.

La exploración de datos, tanto a nivel comunal como predial, proporciona evidencias para una modificación de la zonificación del Plan de Control y Erradicación. En efecto, en las tres primeras regiones del norte del país no se ha evidenciado infección por tuberculosis, y no reunirían las condiciones observadas en la zona de control. Por ello, la gestión sanitaria en estas regiones, debería corresponder a las definidas en la zona de erradicación con una orientación hacia la prevención de introducción y la vigilancia.

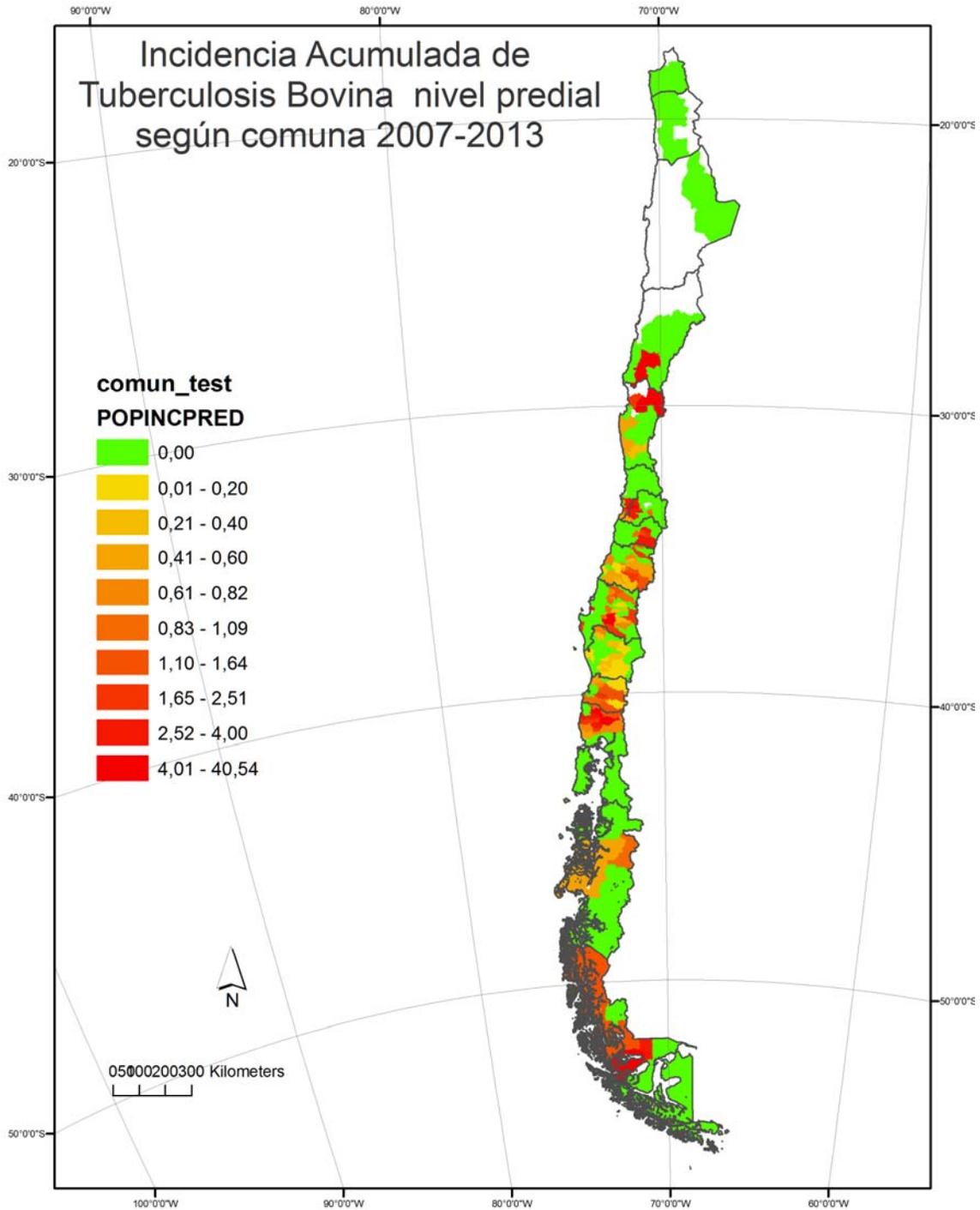
La distinción de agrupamientos en la zona control, que localiza áreas con una complejidad epidemiológica mayor, define dos áreas que requieren una gestión de riesgo específica. Apoya una decisión en este sentido, el alto riesgo de infección y de exposición a nivel poblacional que se observa cuando la ocurrencia se relaciona a los datos censales en las comunas donde estos agrupamientos están localizados.

Este trabajo recopilatorio ha permitido construir, con las limitaciones ya apuntadas previamente, una perspectiva de la situación epidemiológica del tuberculosis que corresponde principalmente a una situación histórica. En este sentido, constituye una base para evaluar la gestión sanitaria que se inició a fines del 2011 cuando se lanzó el Plan Nacional. Corresponde ahora incorporar metodologías que midan y monitoricen el comportamiento de la incidencia a nivel territorial acompañado de una mejoría del registro de los atributos de los predios y de las poblaciones afectadas para refinar la evaluación de riesgo del Plan de Tuberculosis tal que permita una gestión dirigida a los puntos críticos de propagación, tanto a nivel intra-predial como inter-predial para una efectiva mitigación de riesgos e impacto.

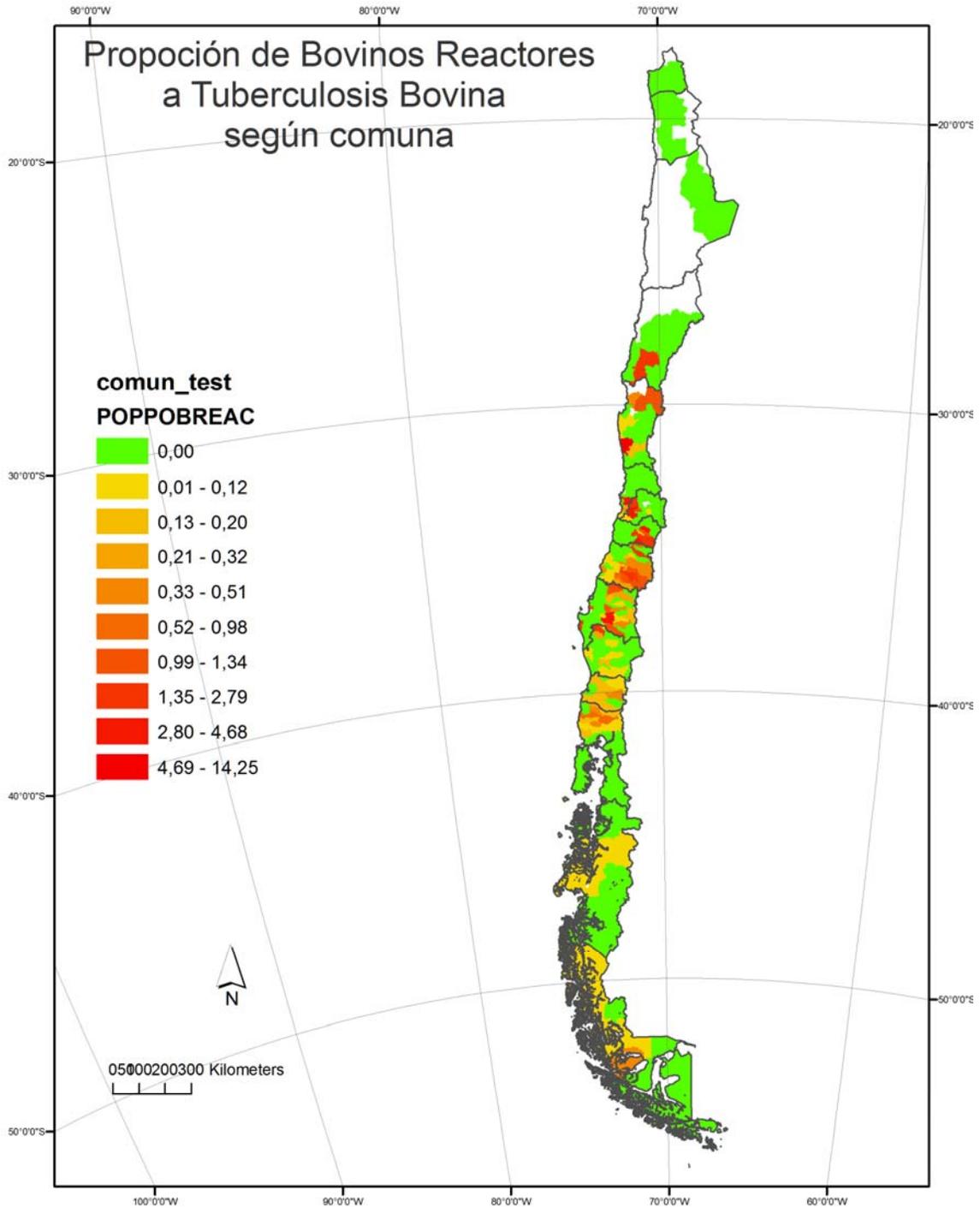
¹⁷ Reyes P; Rojas H; Urcelay S. 2012. Aportes al Control de la Tuberculosis en Chile. Informe Final. Consorcio Lechero. 98 Páginas.

Anexos

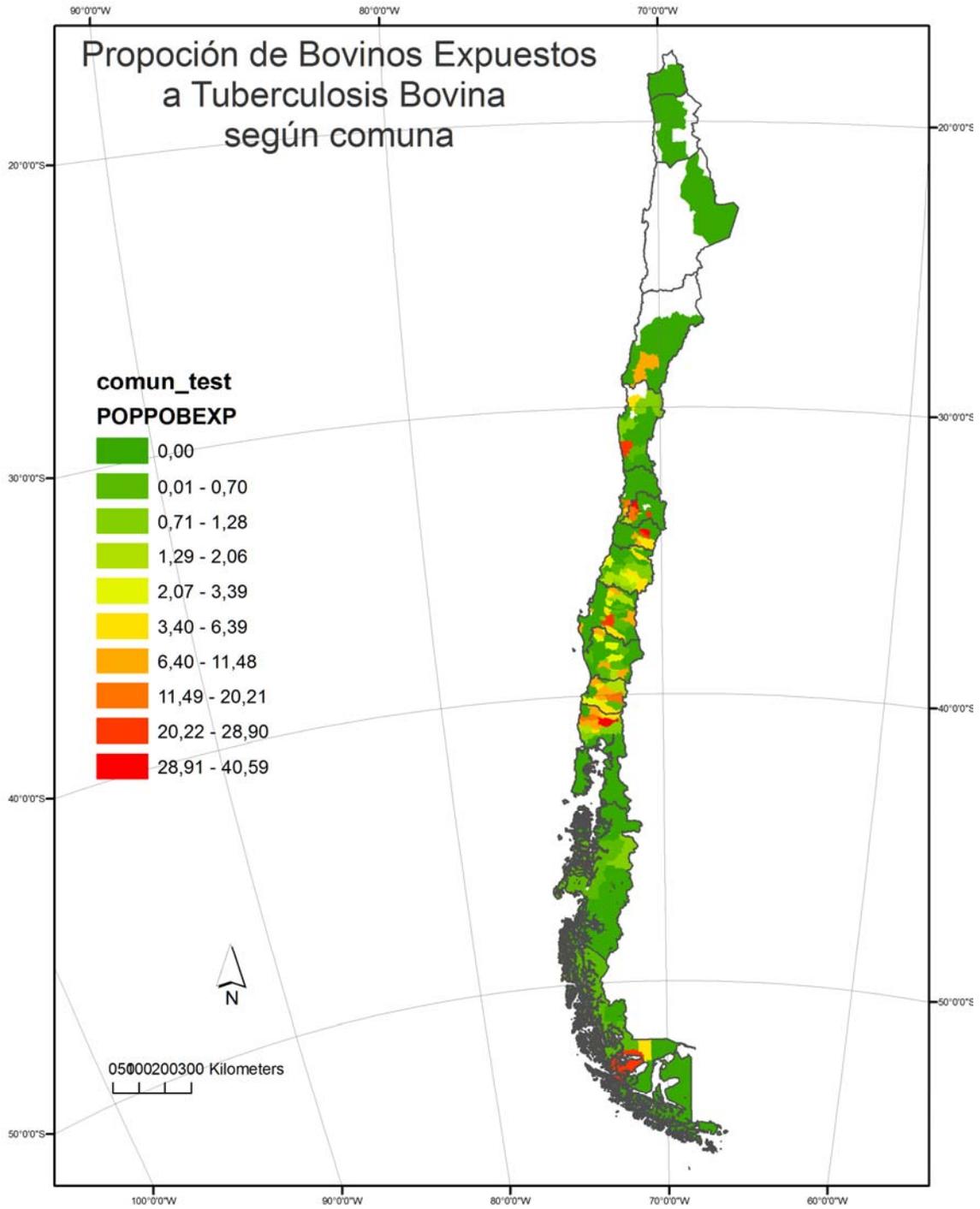
Mapa N° 1 : Incidencia Acumulada de Tuberculosis a nivel predial según comunas. 2007-2013



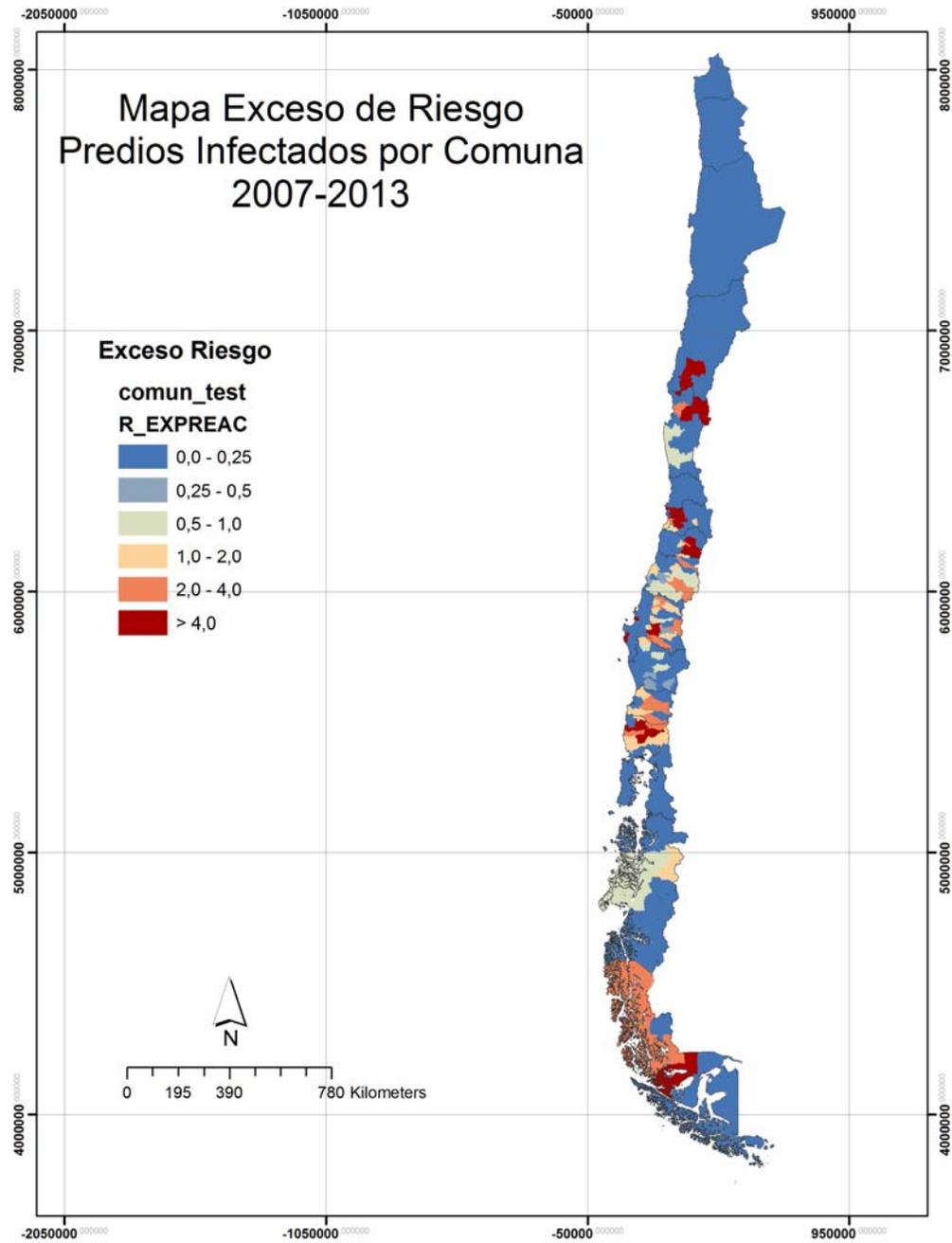
Mapa N° 2: Proporción de Bovinos Reactores a Tuberculosis Bovina. 2007-2013



Mapa N° 3: Proporción de Bovinos Expuestos a Tuberculosis Bovina según Comuna. 2007-2013



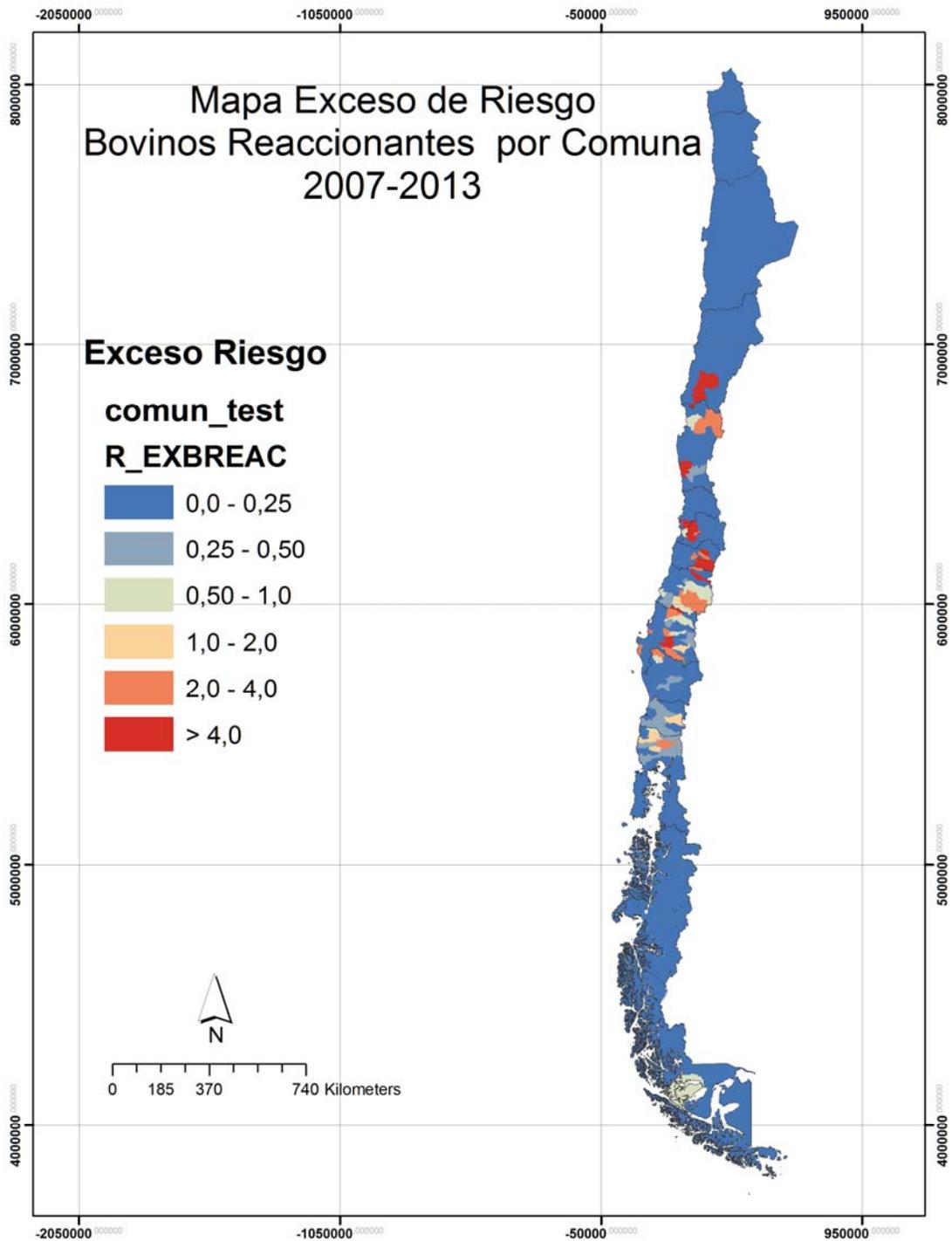
Mapa N° 4: Mapa Exceso de Riesgo Predios Infectados por Comuna – 2007-2013



Cuadro N° 8: Comunas, Provincias y Regiones con Exceso de Riesgo de Predios Infectados por Tuberculosis Bovina.

Región	Provincia	Comuna	Exceso Riesgo
Región de Atacama	Huasco	Vallenar	14.5443
Región de Coquimbo	Elqui	La Serena	3.636074
Región de Coquimbo	Elqui	Vicuña	8.908381
Región de Valparaíso	Valparaíso	Casablanca	6.741477
Región de Valparaíso	San Antonio	San Antonio	3.26913
Región de Valparaíso	San Antonio	Cartagena	29.6946
Región Metropolitana de Santiago	Melipilla	Melipilla	5.510339
Región Metropolitana de Santiago	Melipilla	Curacaví	6.598801
Región Metropolitana de Santiago	Melipilla	María Pinto	10.87408
Región Metropolitana de Santiago	Talagante	Talagante	17.38221
Región Metropolitana de Santiago	Talagante	El Monte	4.510572
Región Metropolitana de Santiago	Talagante	Peñaflor	6.143711
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Rengo	4.242086
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Requínoa	5.93892
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Colchagua	San Fernando	6.408907
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Colchagua	Chimbarongo	7.126705
Región del Maule	Curicó	Curicó	3.711825
Región del Biobío	Concepción	Coronel	9.377243
Región del Biobío	Arauco	Lebu	4.468153
Región del Biobío	Biobío	Los Angeles	8.367699
Región del Biobío	Biobío	Antuco	3.26913
Región del Biobío	Biobío	Mulchén	3.259164
Región de Los Ríos	Valdivia	Paillaco	3.618697
Región de Los Lagos	Osorno	Osorno	7.632885
Región de Los Lagos	Osorno	Puerto Octay	13.81144
Región de Los Lagos	Osorno	Purranque	3.558904
Región de Los Lagos	Osorno	Río Negro	5.593635
Región de Los Lagos	Llanquihue	Frutillar	7.073652
Región de Los Lagos	Llanquihue	Llanquihue	4.127435
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	Magallanes	Laguna Blanca	6.598801
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	Magallanes	Río Verde	72.23011

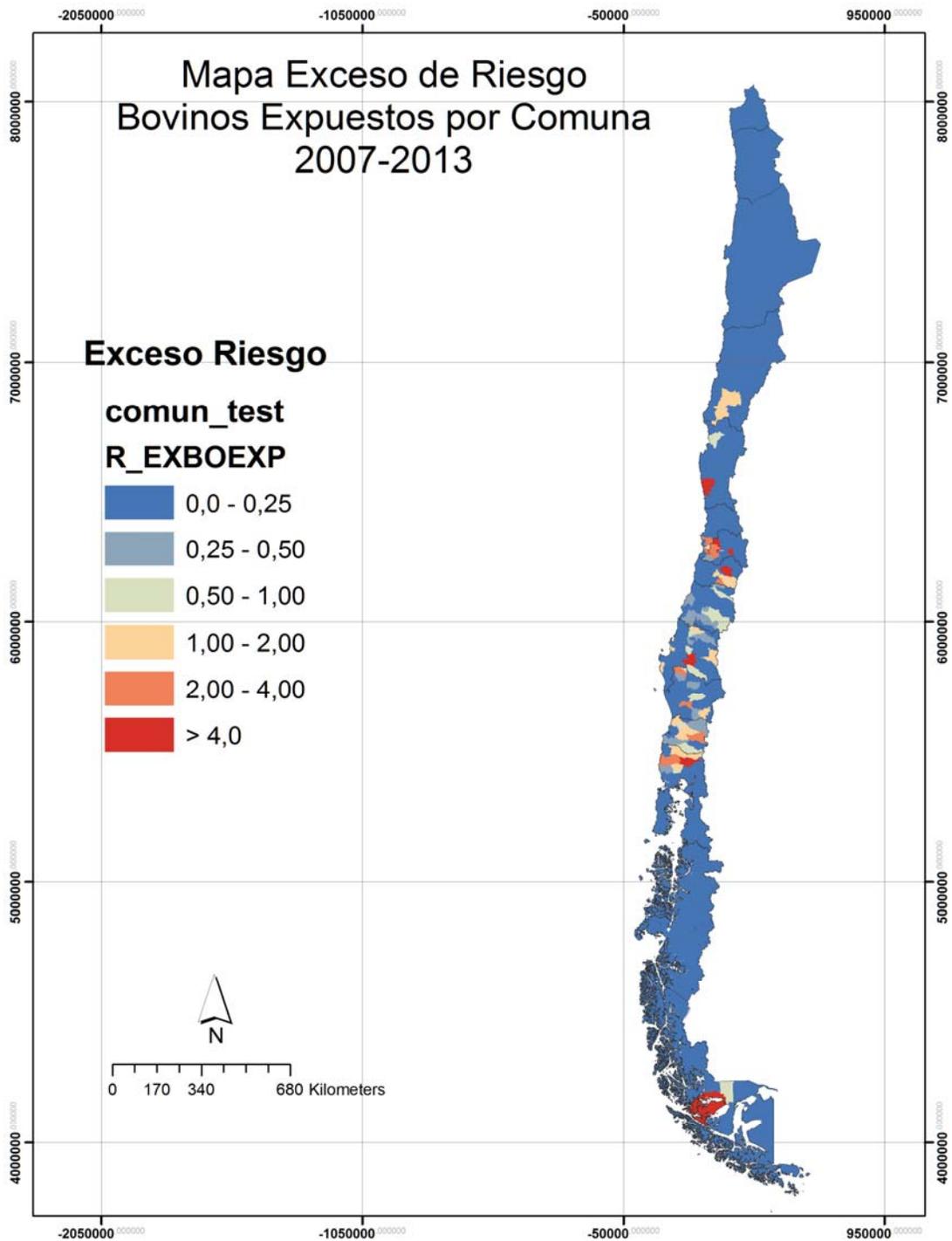
Mapa N° 5: Mapa Exceso de Riesgo de Bovinos Reaccionantes por Comuna.



Cuadro N° 9: Comunas, Provincias y Regiones con Exceso de Riesgo de Bovinos Reaccionantes a Tuberculosis Bovina.

Región	Provincia	Comuna	Exceso Riesgo
Región de Atacama	Huasco	Vallenar	4.741796
Región de Coquimbo	Elqui	Vicuña	3.106117
Región de Coquimbo	Choapa	Canela	34.64497
Región de Valparaíso	Valparaíso	Casablanca	10.2718
Región Metropolitana de Santiago	Melipilla	Melipilla	11.37445
Región Metropolitana de Santiago	Melipilla	Curacaví	4.496573
Región Metropolitana de Santiago	Melipilla	María Pinto	4.017416
Región Metropolitana de Santiago	Talagante	Talagante	5.008494
Región Metropolitana de Santiago	Talagante	El Monte	3.26184
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Requínoa	11.06554
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	San Vicente	3.932497
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Colchagua	San Fernando	4.839677
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Colchagua	Chimbarongo	10.01852
Región del Maule	Curicó	Curicó	6.786919
Región del Maule	Linares	Linares	3.844877
Región del Maule	Linares	Villa Alegre	3.147548
Región del Biobío	Arauco	Lebu	3.916376
Región del Biobío	Biobío	Los Angeles	10.8905
Región del Biobío	Ñuble	Ñiquén	5.218035
Región de La Araucanía	Malleco	Angol	3.837575

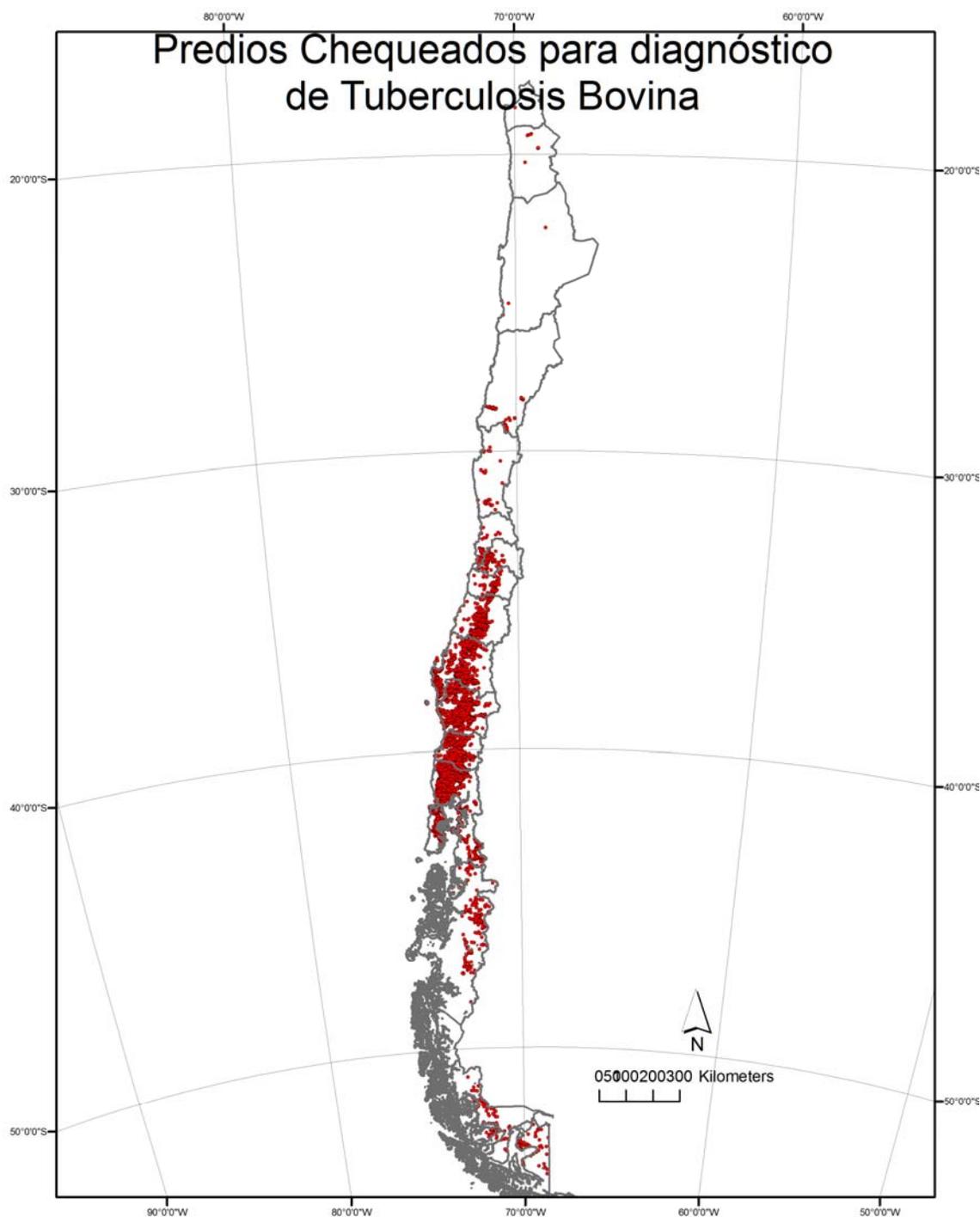
Mapa N° 6: Mapa Exceso de Riesgo de Bovinos Expuestos por Comunas.



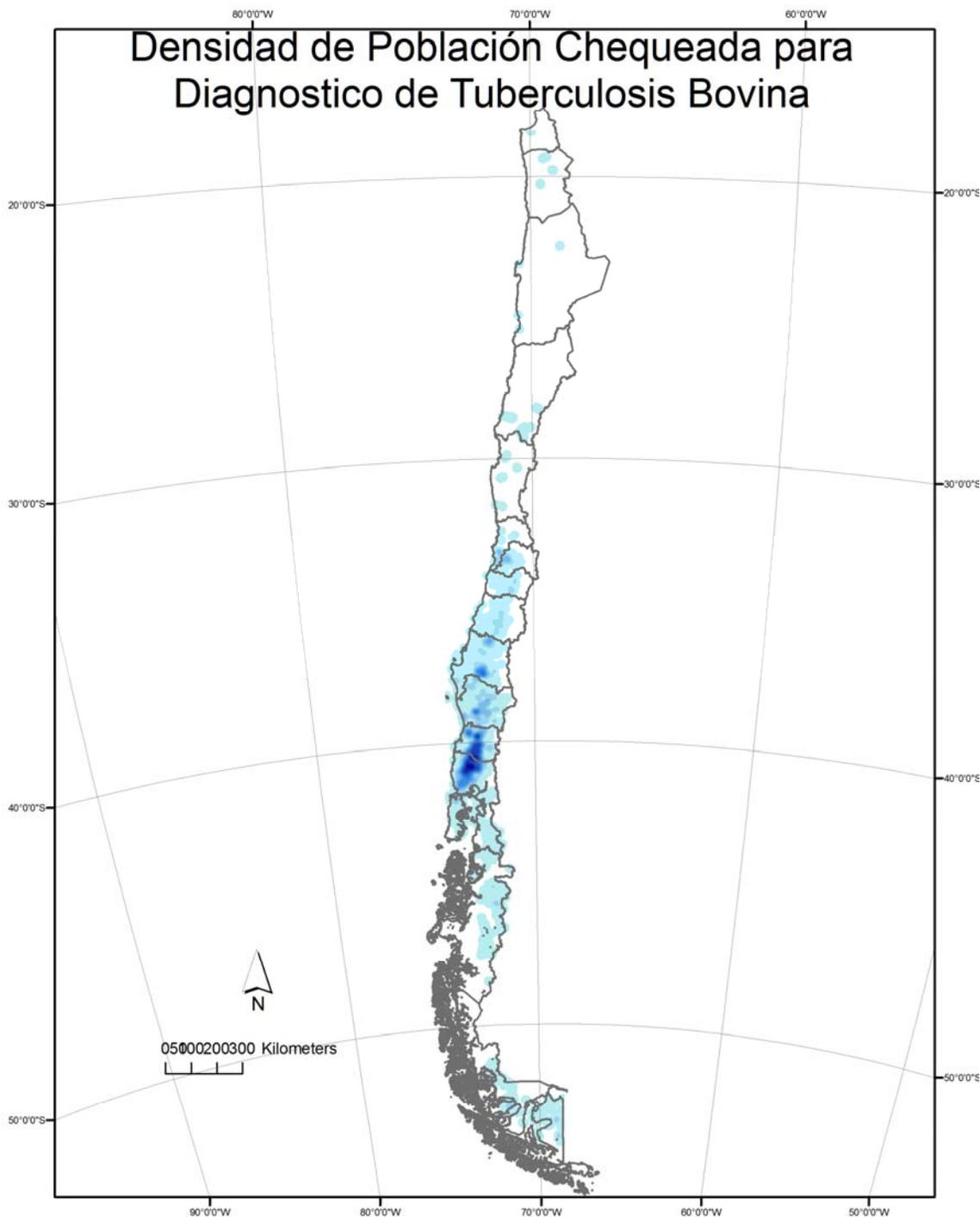
Cuadro N° 10: Comunas, Provincias y Regiones con Exceso de Riesgo de Bovinos Expuestos a Tuberculosis Bovina.

Región	Provincia	Comuna	Exceso Riesgo
Región de Coquimbo	Choapa	Canela	4.576253
Región de Valparaíso	Valparaíso	Casablanca	3.211897
Región Metropolitana de Santiago	Cordillera	Pirque	5.167766
Región Metropolitana de Santiago	Melipilla	Curacaví	7.517398
Región Metropolitana de Santiago	Melipilla	María Pinto	3.309523
Región Metropolitana de Santiago	Talagante	El Monte	4.225708
Región Metropolitana de Santiago	Talagante	Peñaflor	5.983315
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Rengo	4.592049
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Requínoa	5.725279
Región del Biobío	Biobío	Los Angeles	5.353114
Región de Los Ríos	Ranco	Futroneo	3.743153
Región de Los Lagos	Osorno	Puerto Octay	6.532286
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	Magallanes	Río Verde	4.329134

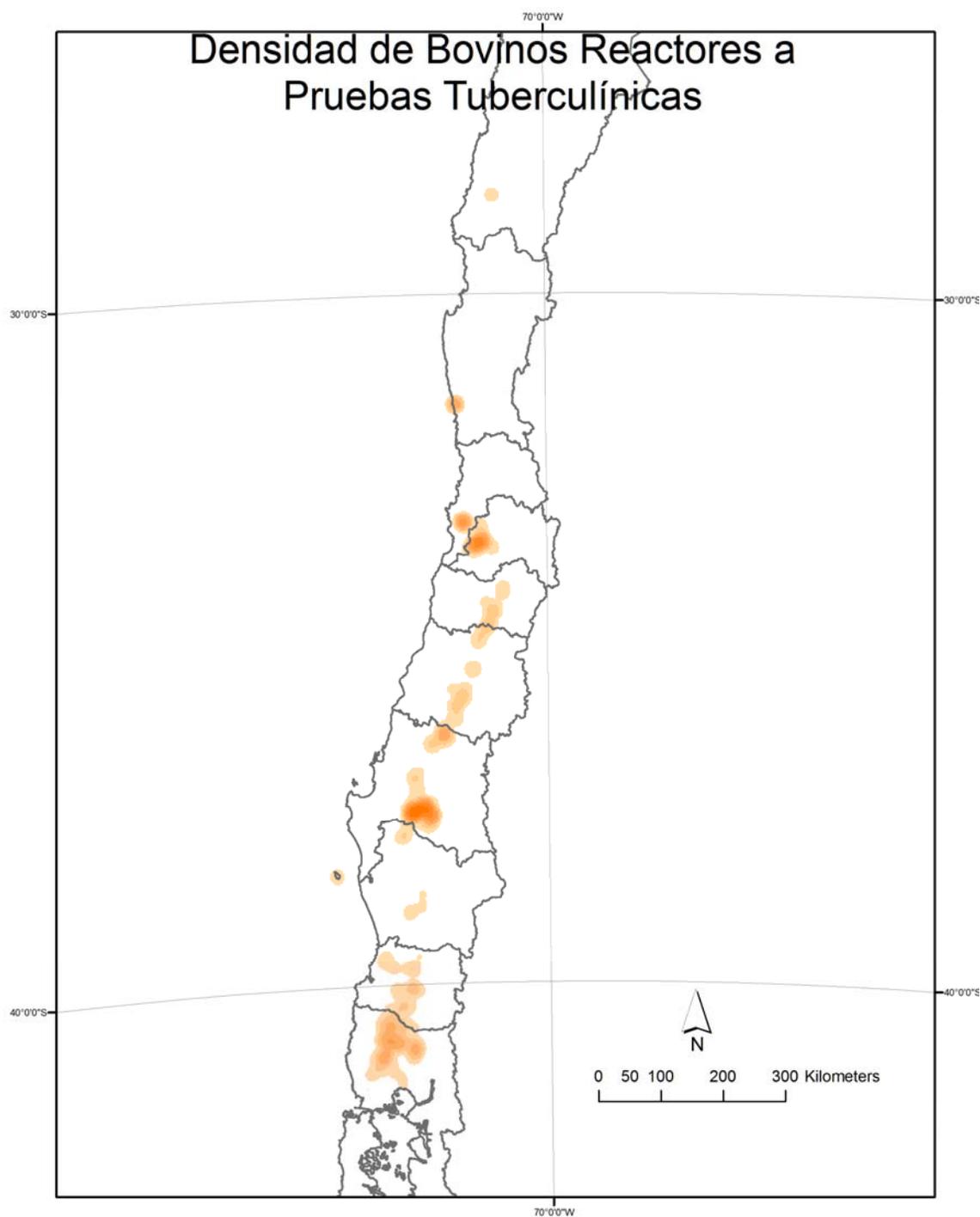
Mapa N° 7: Predios Chequeados para diagnóstico de Tuberculosis Bovina.



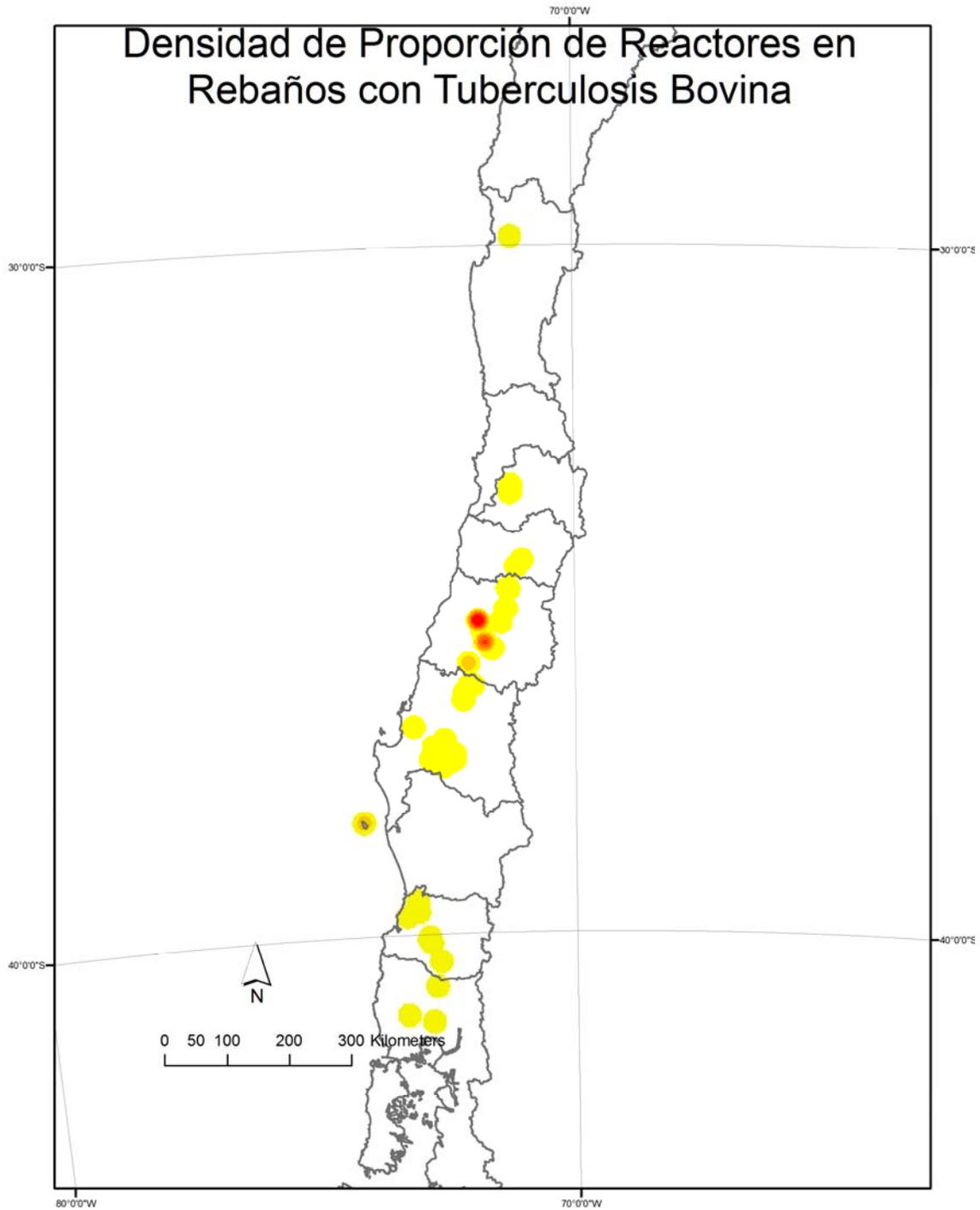
Mapa N° 8: Mapa de Densidad de Población Bovina Chequeada para Tuberculosis Bovina.



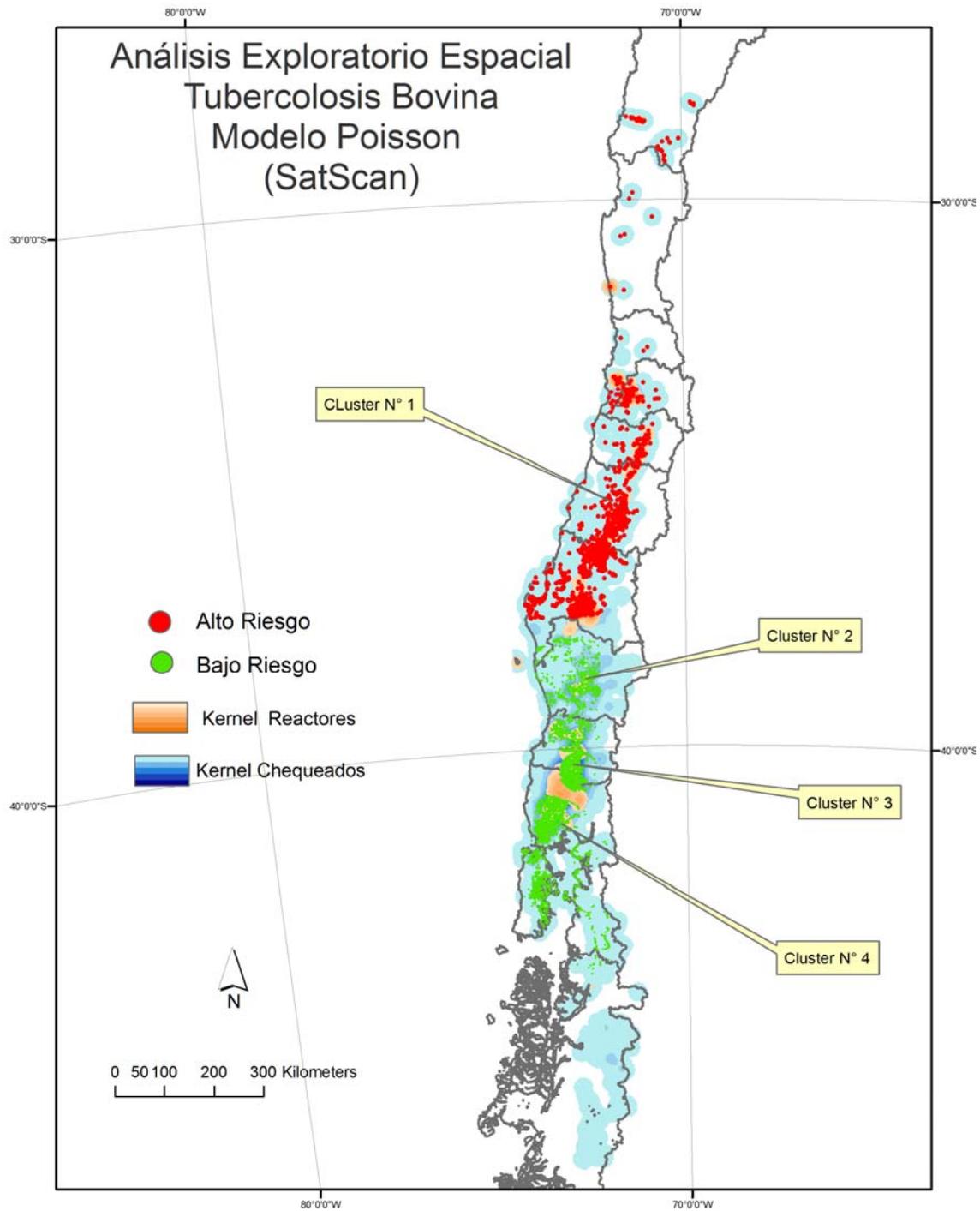
Mapa N° 9: Mapa de Densidad de Bovinos Reactores a las pruebas de tuberculina.



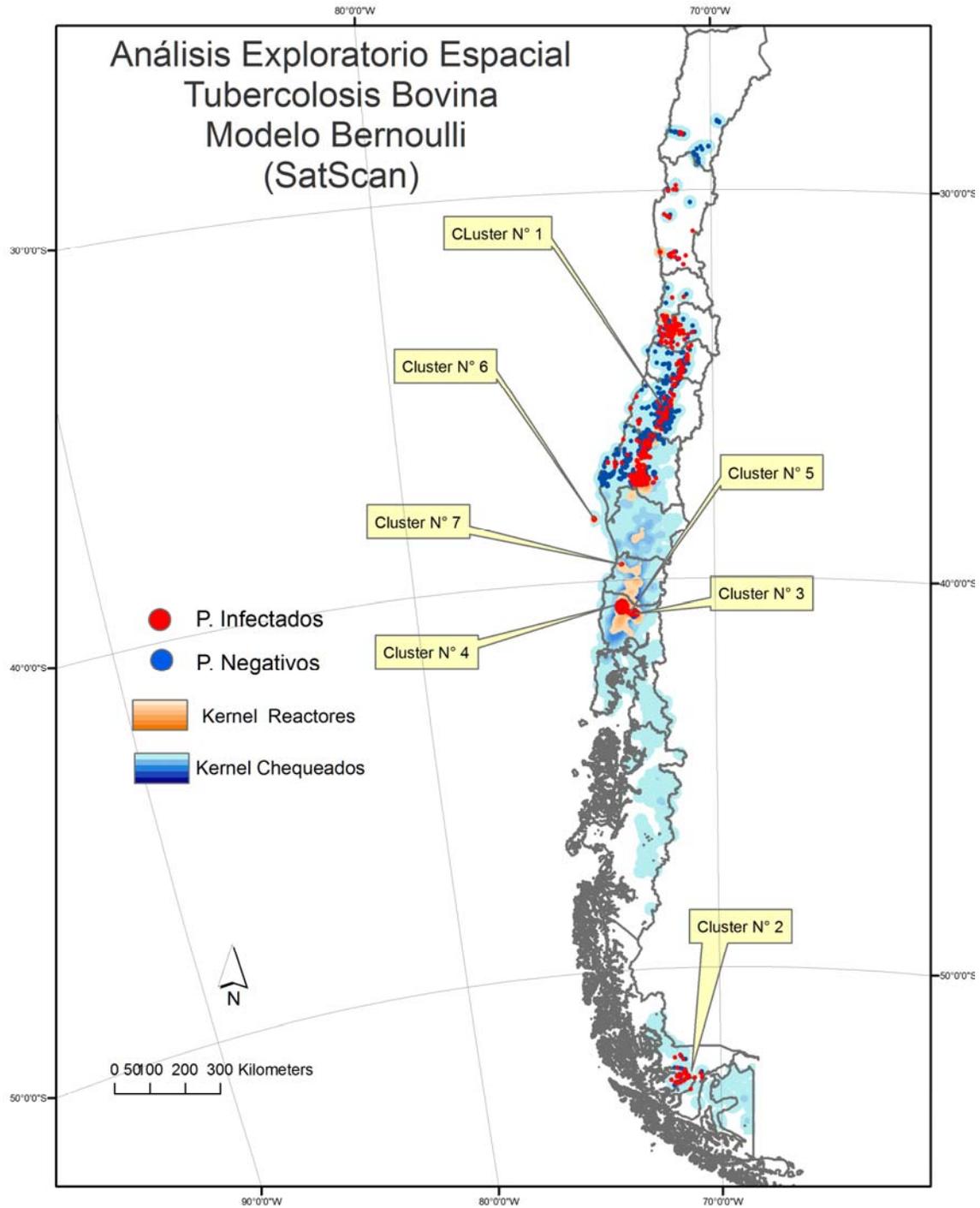
Mapa N° 10: Mapa de Densidad de la Proporción de Bovinos Reactores en los rebaños con Tuberculosis Bovina.



Mapa N° 11: Análisis Exploratorio de Datos de Predios con diagnóstico de Tuberculosis bovina según el modelo Poisson.



Mapa N° 12: Análisis Exploratorio de Datos de Predios con estatus sanitario de Tuberculosis bovina según el modelo Bernoulli.



Mapa N° 13: Análisis Exploratorio de Datos de Predios de la Zona de Control con estatus sanitario de Tuberculosis bovina según el modelo Bernoulli.

