

# La utilidad de los sistemas de información geográfica en la predicción de la distribución regional de la tuberculosis bovina

## Usefulness of geographic information systems in predicting the distribution of bovine tuberculosis in Jalisco, Mexico

Horacio Zendejas Martínez<sup>a</sup>, Feliciano Milián Suazo<sup>a</sup>, Leticia García Casanova<sup>a</sup>, Gustavo Cruz Bello<sup>b</sup>, Ana María Anaya Escalera<sup>a</sup>, Gabriel Huitrón Márquez<sup>c</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la utilidad de los sistemas de información geográfica en combinación con los métodos geoestadísticos, para predecir la distribución y la prevalencia de la tuberculosis bovina en el estado de Jalisco, con base en una muestra de hatos; esto, ante la creciente necesidad de predecir la situación de las enfermedades en una región a bajo costo. Para esto se utilizó un total de 2,287 hatos del estado de Jalisco, seleccionados electrónicamente de manera aleatoria de una base de datos de la Comisión Estatal para el Control y Erradicación de la Tuberculosis, la cual proporcionó también información sobre la prevalencia de los hatos. Las coordenadas de cada uno de estos hatos se obtuvo de manera directa con un geoposicionador manual, consultando bases de datos del INEGI o bien utilizando el paquete "Google Earth". La predicción de la prevalencia se hizo utilizando el método geoestadístico de Krigeaje con "Geostatistical Analyst de ArcView". La eficacia del método de predicción se determinó comparando mapas, el de la predicción basado en una muestra de 2,287 hatos con el de la distribución municipal incluyendo el total de 48,766 hatos. La similitud en la regionalización de la tuberculosis de ambos mapas, indica que el método de Krigeaje es una excelente herramienta para predecir su distribución, con un ahorro potencial de dimensiones considerables.

**PALABRAS CLAVE:** Epidemiología espacial, GIS, Ganado, *M. bovis*, Tuberculosis.

### ABSTRACT

A growing need exists for low cost systems to predict the status of diseases within geographical regions. The purpose of this research was to evaluate the usefulness of geographic information systems (GIS) and geostatistical (i.e.: Kriging) methods in predicting the prevalence and distribution of bovine tuberculosis (BTB) in the state of Jalisco, Mexico, based on a sample of herds. Two-thousand two-hundred and eighty-seven herds were electronically selected at random from the Jalisco's State Commission for the Control and Eradication of Tuberculosis (COEETB) data base. Three different approaches (i.e.: a personal Global Positioning System [GPS], Mexico's National Institute for Statistics Geography and Informatics [INEGI]'s data base, and the "Google Earth" software) were used to identify the spatial location of each herd. Kriging, from ArcView Geostatistical Analyst was used to predict the prevalence of BTB. The efficacy of this prediction was determined by comparing two maps; one based on our 2,287 sample of herds and the map showing the distribution of Jalisco's total 48,766 herds. Similarity of BTB regional distribution in both maps shows that Kriging and geostatistics is an excellent tool to predict BTB distribution with major potential savings.

**KEY WORDS:** Spatial epidemiology, GIS, Cattle, *M. bovis*, Tuberculosis.

Recibido el 21 de septiembre de 2006 y aceptado para su publicación el 27 de marzo de 2007.

<sup>a</sup> CENID-Fisiología Animal, INIFAP. Km 1 Carretera a Colón, 76280 Ajuchitlán, Querétaro. Tel y fax 01 419 29 20036 y 20033. milian.feliciano@inifap.gob.mx. Correspondencia al segundo autor.

<sup>b</sup> CENID-COMEF, INIFAP.

<sup>c</sup> COEETB-Jalisco.

## INTRODUCCIÓN

La tuberculosis en humanos es un problema creciente en México; en 1997 se reportaron 7,000 casos, con un crecimiento de 100 % en sólo un año para algunos de los estados<sup>(1)</sup>. Otras dependencias reportan alrededor de 17,000 casos anuales, en la población económicamente activa, de 15 a 44 años<sup>(2)</sup>. Factores como el crecimiento de la población suburbana, la pobreza<sup>(3)</sup>, el VIH y enfermedades como la diabetes, que debilitan el sistema inmune, han favorecido el incremento de la prevalencia de la enfermedad<sup>(4)</sup>.

El causante de la tuberculosis en humanos es el *Mycobacterium tuberculosis*, sin embargo, *M. bovis*, el responsable de la tuberculosis en los bovinos, puede ser la causa de entre el 5 y el 10 % de los casos humanos<sup>(5)</sup>. El riesgo estriba en que de los 7 mil millones de litros de leche que se producen en México, aproximadamente el 30 % no va directamente a pasteurización (Norma Oficial Mexicana NOM-031-ZOO-1995), lo que implica un riesgo para la salud pública; de ahí la importancia de erradicar a la enfermedad en los animales.

La tuberculosis en los bovinos (TBB) tiene serias implicaciones económicas, además de las pérdidas directas por la muerte de los animales, es responsable de bajas en la producción; se estima que la TBB disminuye la producción de leche en un 17 %, reduce la ganancia de peso y la tasa de conversión alimenticia en un 15 % y la fertilidad en un 6 %<sup>(6)</sup>, y causa el decomiso de canales en rastros; además de que en el comercio se ha convertido en una de las principales barreras no arancelarias. Esto último ha traído consecuencias para México, ya que la movilización y la comercialización de animales por la regionalización se ha visto limitada. Por ejemplo, para no afectar el estatus sanitario de una región, no se permite la movilización de animales a ferias y exposiciones de ganado, y en caso de que vayan, si el estado sanitario de la zona de feria es más pobre que la del origen de los animales, estos ya no pueden regresar.

A pesar de sus limitaciones, desde el punto de vista comercial la regionalización tiene muchas

## INTRODUCTION

Human tuberculosis (TB) is a growing problem in Mexico. In 1997, a total of 7,000 cases were reported, with high increasing rates in some states every year<sup>(1)</sup>. Some government agencies reported up to 17,000 cases per year among the economically-active population (15 to 44 yr of age)<sup>(2)</sup>. Factors such as growing suburban population, poverty<sup>(3)</sup>, and diseases affecting the immune system, such as infection with the human immunodeficiency virus (HIV) and diabetes have contributed to increase the problem<sup>(4)</sup>.

The etiology of human TB is *Mycobacterium tuberculosis*. Nevertheless, *M. bovis* –responsible for bovine TB (BTB)– can cause 5 to 10 % of the human cases<sup>(5)</sup>. This public health risk derives from the fact that ~ 30 % of the 7 billion liters of milk produced in Mexico are not subjected to pasteurization (Mexican Official Norm, *NOM-031-ZOO-1995*). Therefore, TB eradication from animals is crucially important.

BTB has serious economic implications. In addition to direct losses associated with dead animals, BTB results in reduced production; it has been estimated to cause 17 % decreased weight gains, 15 % increased feed conversion rates, and 6 % decreased fertility<sup>(6)</sup>, in addition to increased condemnations at processing plants. BTB has become a major non-tariff barrier for international trade. This has affected Mexico since regionalization has resulted in limited animal movement and trade. For example, animals cannot be moved to livestock fairs and shows in order to avoid affecting the sanitary status of the region, and if moved to a zone with a lower sanitary status, animals are not allowed to return to their region of origin.

Despite its limitations, regionalization brings along tremendous benefits including international trade promotions. Nevertheless, regionalization must be supported by reliable information. One problem is that this information is not always available and it can be expensive to obtain. Therefore, geographic information systems (GIS) can be extremely instrumental to make decisions.

ventajas, puesto que favorece el comercio internacional, entre otras. Sin embargo, la regionalización debe estar sustentada en información confiable, la cual no siempre está disponible y en ocasiones puede resultar muy caro de obtener; por lo tanto, los sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) pueden ser de mucha utilidad en la toma de decisiones.

Los sistemas de información geográfica (GIS), consisten en sistemas de cómputo para el análisis y la presentación de conjuntos de datos digitalizados de referencias geográficas. Esta tecnología ha sido usada para incrementar el estudio espacial y de patrones en tiempo de muchas enfermedades<sup>(7)</sup>, para identificar focos de brotes, elucidar patrones de dispersión, orientar las estrategias de control y determinar factores de riesgo de enfermedades<sup>(8,9)</sup>. Se usa también como herramienta de análisis y visualización con el objetivo de tener un mejor entendimiento de la extensión espacial de las infecciones<sup>(10-14)</sup>.

Los sistemas de información geográfica con frecuencia se apoyan de otras especialidades para un mayor aprovechamiento; una de estas especialidades es la geoestadística (GE), por cuyo medio se pueden estimar valores desconocidos de una variable de interés a partir de valores conocidos<sup>(15,16)</sup>. La GE utiliza estimadores que minimizan al máximo la varianza del error de estimación<sup>(17)</sup>.

Los fenómenos distribuidos en el espacio presentan un carácter mixto y un comportamiento aleatorio a escala local, pero a la vez estructural a gran escala. Por lo tanto, pueden interpretarse en términos de una función aleatoria (FA); es decir, a cada punto  $x$  del espacio se le asocia una variable aleatoria (VA)  $Z(x)$  para dos puntos diferentes "X" y "Y", de modo que se tendrán dos VA's,  $Z(x)$  y  $Z(y)$ , diferentes pero no independientes. Y es entonces el grado de correlación el encargado de reflejar la continuidad del fenómeno en estudio, por lo que el éxito de esta técnica es la determinación de la función de correlación espacial de los datos<sup>(18)</sup>. Su estimador, el Krigeaje, tiene como objetivo encontrar la mejor estimación posible a partir de la

GIS are computerized systems for the analysis and presentation of geographic reference digital data. GIS technology has been used to further study spatial and time patterns regarding several malaises<sup>(7)</sup>, pinpointing disease outbreaks, clarifying spread patterns, orienting control strategies, and determining risk factors<sup>(8,9)</sup>. GIS can also be used as a tool in the analysis and visualization to better understand the spatial scope of infections<sup>(10-14)</sup>.

In order to make the most of this technology, GIS are frequently supported by other specialties. One of such specialties is geostatistics (GS) which allows using known values in order to estimate unknown values of a variable of interest<sup>(15,16)</sup>. GS is based on estimators that minimize the estimation error variance<sup>(17)</sup>.

Space-spread phenomena are mixed in character and show a random behavior at the local scale, yet such behavior is structural in the large scale. Therefore, these phenomena can be interpreted in terms of a random function (RF). In other words, a random variable (RV)  $Z(x)$  for two different points ("X" and "Y"), is assigned to each given spatial point ("x"). Thus, two different yet not independent RVs are obtained:  $Z(x)$  and  $Z(y)$ . The continuity of the phenomenon under study is then reflected by the degree of correlation; hence the success of this technique is based on determining data spatial correlation function<sup>(18)</sup>. Its estimator – Kriging– aims finding the best possible estimate from the information available. In fact, the estimated value  $[Z^*(x)]$  of a real, unknown value  $[Z(x)]$  consists of a linear weighted combination associated to each location from where a value  $Z(x_i)$  of the phenomenon has been sampled ( $i = 1, \dots, n$ ), observing two basic conditions: 1) that the estimator is unbiased:  $E[Z^* - Z] = 0$ , and 2) that the variance  $\text{Var}[Z^* - Z]$  is minimum. This way the estimation error variance can be minimized<sup>(17)</sup>.

Differing from other interpolation methods which are also used to estimate spatial points (such as inverse distance), Kriging uses variability and spatial correlation traits of the phenomenon under study, so that its use involves the preliminary analysis of the information in order to define or extract –from

información disponible. En efecto, el valor estimado  $Z^*(x)$  de un valor real y desconocido  $Z(x)$ , consiste en una combinación lineal ponderada asociada a cada localización donde fue muestreado un valor  $Z(x_i)$  ( $i = 1, \dots, n$ ) del fenómeno; observando dos condiciones fundamentales: 1) que el estimador sea insesgado:  $E[Z^* - Z] = 0$ , y 2) que la varianza  $\text{Var}[Z^* - Z]$  sea mínima, consiguiéndose de este modo minimizar la varianza del error de estimación<sup>(17)</sup>.

A diferencia de otros métodos de interpolación, que también son utilizados en estimaciones de puntos en el espacio, como por ejemplo el inverso de la distancia, el Krigeaje utiliza las características de variabilidad y correlación espacial del fenómeno estudiado, por lo que su uso implica un análisis previo de la información con el objetivo de definir o extraer de esta información inicial un modelo que represente su continuidad espacial. Logrado esto, se puede obtener el mejor valor posible en cada localización o bloque a estimar a partir de los datos medidos, acompañado de la varianza de Krigeaje como medida del error de la estimación realizada<sup>(19-22)</sup>. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue utilizar métodos espaciales y geoestadísticos para predecir la prevalencia de la tuberculosis bovina en las diferentes regiones del estado de Jalisco, utilizando información obtenida de una muestra de hatos, y comparando esta prevalencia con aquella determinada en el proceso de barrido que incluye 48,766 hatos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo se decidió usar como modelo al estado de Jalisco, principalmente porque cuenta con información capturada sobre la prevalencia de la tuberculosis bovina para los años de 1999 al 2003, con un aproximado de 2 millones de animales, donde se incluye el nombre, la dirección y el número de animales reactores a la tuberculina de cada rancho.

Los ranchos considerados en el estudio fueron seleccionados al azar utilizando como marco muestral el padrón de ranchos de la base de datos electrónica de la Comisión Estatal para la

this initial information— a model that represents spatial continuity. The best possible value for each location or block to be estimated from the measured data can then be obtained, accompanied by the Kriging variance as a measure of the error of the estimation performed<sup>(19-22)</sup>. Therefore, the purpose of this research was to evaluate the usefulness of spatial and GS methods in the prediction of BTB prevalence and distribution in Jalisco, Mexico, using information from a sample of herds, and to compare this to that determined by the scanning procedure that includes 48,766 herds.

## MATERIALS AND METHODS

Jalisco was chosen as a model for this research mainly because this Mexican State has entries about BTB prevalence from 1999 to 2003, corresponding to 2 million cattle; which includes—each ranch name, address, and number of tuberculin-test reactors.

Herds included in this study were selected at random from the Jalisco's State Commission for the Eradication of Bovine Tuberculosis (*COETB*) ranch-register electronic database. Sample size was determined using a 6 % herd hypothetical prevalence, with a 1 % absolute error and a 95 % confidence level, yielding a total of 2,162 herds. In order to decrease random error, a proportional, per-cluster strategy was used. The state of Jalisco is divided into several Development Districts. Each cluster represented one district, so that the number of herds included in the sample was proportional to the number of herds reported for each District.

Coordinates of some herds ( $n= 1,200$ ) were obtained directly using a hand-held geopositioning device (GEKO 301, GARMIN Ltd), while coordinates of the remaining herds were obtained either from Mexico's National Institute of Statistics Geography and Informatics [INEGI]'s data base, or using the "Google Earth" Internet software for those herds not recorded in the INEGI's data base.

In order to predict BTB prevalence and spatial distribution, the Kriging geostatistical method, Geostatistical Analyst Extension, ArcView 8 (ESRI) was used. ArcView was directly applied for map

Erradicación de la Tuberculosis Bovina (COEETB) del estado de Jalisco. El tamaño de la muestra se determinó utilizando una prevalencia hipotética de hato del 6 %, con un margen de error del 1 % y una confiabilidad del 95 %, lo que proporcionó un total de 2,162 hatos. Para disminuir el error aleatorio, la estrategia de muestreo fue proporcional y por conglomerados, los cuales estuvieron constituidos por los Distritos de Desarrollo en que está dividido el Estado, de modo que el número de hatos a incluir en la muestra fue proporcional al número de hatos reportados para cada Distrito.

Las coordenadas de una parte de los ranchos (n= 1, 200) se obtuvieron de manera directa utilizando un geoposicionador manual (GEKO 301 de GARMIN Ltd) y las coordenadas del resto se obtuvieron de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), o bien utilizando el paquete de Internet “Google Earth” cuando la localización del hato no se encontraba en la base de datos de INEGI.

Para predecir la distribución espacial de la prevalencia de TBB se utilizó el método geoestadístico de Krigeaje de la extensión Geostatistical Analyst de ArcView 8 (ESRI); utilizando directamente este último en la elaboración de los mapas. Para evaluar la eficacia de estimación

preparation. In order to evaluate Kriging’s efficacy for BTB estimates, the prediction map was compared with a general county-level BTB distribution map, which included information from 48,766 herds.

**RESULTS**

The total number of herds in the sample was 2,287. Table 1 shows the number and percentage of herds included in the sample for each of the eight Development Districts within the State of Jalisco. Districts with the largest number of herds were Ciudad Guzmán and Lagos de Moreno, with 11 % and 9 % of the total herds included in the study, respectively. The scanning information showed that among herds included in the study, the Districts with the highest numbers of positive herds were Zapopan and Lagos de Moreno 44 and 41 %, respectively), while Districts with the highest prevalence of tuberculin-test reactors were Zapopan, 7 %; Lagos de Moreno, 5 %; and La Barca, 3 %. All other Districts showed prevalence rates < 1%.

As far as prediction results are concerned, Figure 1 shows Kriging-predicted BTB prevalence distribution based on a 2,287 herds. Prediction clearly shows that in the North, Costs, and South regions of Jalisco BTB prevalence is < 0.3 %,

Cuadro 1. Tasa de prevalencia por hato y por cabeza en los hatos seleccionados por Distrito en el estado de Jalisco para predecir la distribución de la tuberculosis bovina

Table 1. Herd and animal prevalence rates per District in Jalisco, Mexico; 1999-2005, to predict the distribution of bovine tuberculosis throughout geographic information systems and geostatistics

District	Selected herds (n)	TPHD	Positive herds (n)	Positive herds (%)	Tested animals (n)	Reactors (n)	Reactors (%)
Zapopan	209	3.8	92	44.0	8,096	571	7.0
Lagos de Moreno	758	8.7	311	41.0	37,684	2,041	5.0
Ameca	133	2.0	6	4.5	3,283	13	0.4
Tomatlán	283	4.4	4	1.4	8,969	17	0.1
El Grullo	142	3.3	10	7.0	2,889	10	0.3
La Barca	221	2.5	42	19.0	6,870	216	3.0
Cd. Guzmán	398	10.7	5	1.2	11,890	104	0.9
Colotlán	143	3.1	18	12.6	3,872	18	0.5
Total	2,287		488		83,553	2,990	3.6

TPHD= Proportion of selected herds from the total per District.



de la tuberculosis bovina del método de Krigeaje, el mapa de predicción se comparó con un mapa de distribución municipal de la enfermedad utilizando la información de 48,766 hatos.

## RESULTADOS

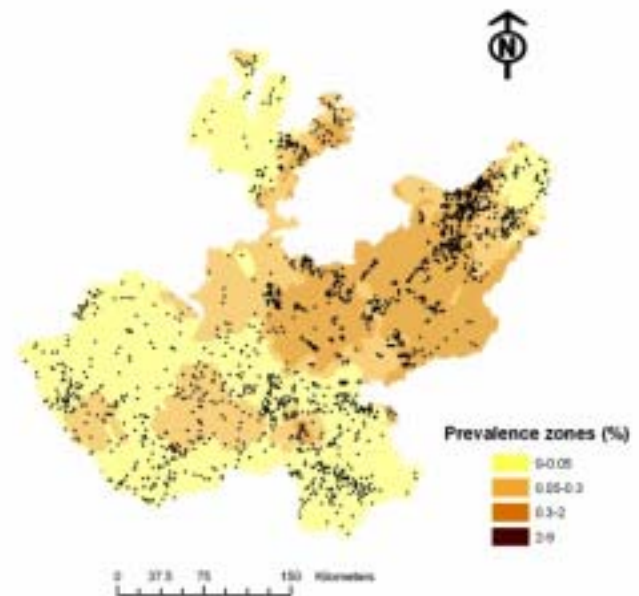
El número total de ranchos muestreados fue de 2,287. En el Cuadro 1 se muestra el número y el porcentaje de hatos incluidos en la muestra por cada uno de los ocho Distritos de desarrollo que componen el estado de Jalisco. Los Distritos que más hatos proporcionaron al estudio fueron Ciudad Guzmán y Lagos de Moreno, con el 11 y el 9 %, respectivamente. De la información del barrido se encontró que para los hatos incluidos en el estudio los Distritos con mayor número de hatos positivos fueron Zapopan y Lagos de Moreno, con 44 y 41%, respectivamente; mientras que los de mayor prevalencia de animales reactivos fueron Zapopan con un 7 %, seguido por Lagos de Moreno con el 5 % y La Barca con el 3 %. El resto de los municipios tuvo una prevalencia menor al 1 %.

En cuanto a los resultados de la predicción, la Figura 1 muestra la distribución de la prevalencia de la TBB estimada por Krigeaje con base en una muestra de 2,287 hatos. La predicción claramente indica que en la parte norte, costas y sur del estado la prevalencia de la tuberculosis es menor al 0.3%, con algunas zonas pequeñas donde puede ser de alrededor del 2 %, mientras que en el centro y la zona conocida como “Los altos de Jalisco”, la prevalencia puede llegar a ser mayor al 2 %. Estos resultados son muy similares a los presentados en la Figura 2, donde las zonas de distribución de la tuberculosis están basadas en información por municipio de 48,766 hatos, lo que demuestra la utilidad y la ventaja del uso de los métodos de geoestadística (Krigeaje) en la predicción de la enfermedad con base en una muestra representativa del total de la población de hatos en el Estado.

Desde el punto de vista estadístico, el modelo del semi-variograma fue esférico, con un rango mayor a 3.77 y 0.39 “nuggets”, quedando de la siguiente manera:  $0 * \text{Spherical}[3.7773] + 70.524 * \text{Nugget}$ . Este modelo esférico indica que la variación de los

Figura 1. Zonas de prevalencia de la tuberculosis bovina predicha por Krigeaje en el estado de Jalisco. Los puntos indican localización geográfica de los hatos incluidos en la muestra

Figure 1. Kriging-predicted bovine tuberculosis prevalence zones in the State of Jalisco. Dots show the geographic location of the herds included in the sample



with only minor zones where prevalence rates approach 2 %. In the Central and “Los Altos” regions, prevalence exceeds 2 %. These results resemble those shown in Figure 2, where BTB distribution areas are based on information at the county level including 48,766 herds. These results show the usefulness and convenience of using GIS and geostatistical (Kriging) methods for disease prediction based on a representative sample.

From the statistical standpoint, the semivariogram model was spherical in shape, with a range  $> 3.77$ , and 0.39 “nuggets”, as follows:  $0 * \text{Spherical}[3.7773] + 70.524 * \text{Nugget}$ . This spherical model shows that the variation of regression residuals attributed to spatial dependence can be estimated by the semivariogram when spatial scales are  $< 3.77$ . Based on the semivariogram model for BTB prevalence estimation in Jalisco, BTB spatial variation attributed to spatial autocorrelation was

residuales de la regresión atribuidos a la dependencia espacial puede ser estimada por el semi-variograma cuando las escalas espaciales son menores de 3.77. Con base en el modelo del semi-variograma para la estimación de la prevalencia de tuberculosis bovina en Jalisco, la variación espacial de la TBB atribuida a la autocorrelación espacial fue estimada y mapeada con Kriging. La validación cruzada mostró que el mapa de predicción estimado de la TBB en Jalisco es insesgado, como lo indica el error estandarizado promedio (0.01369), el error estándar promedio (0.918) y la media de los errores de predicción (-0.1218), este último indicativo de sesgo; un valor de 0 indica no sesgo.

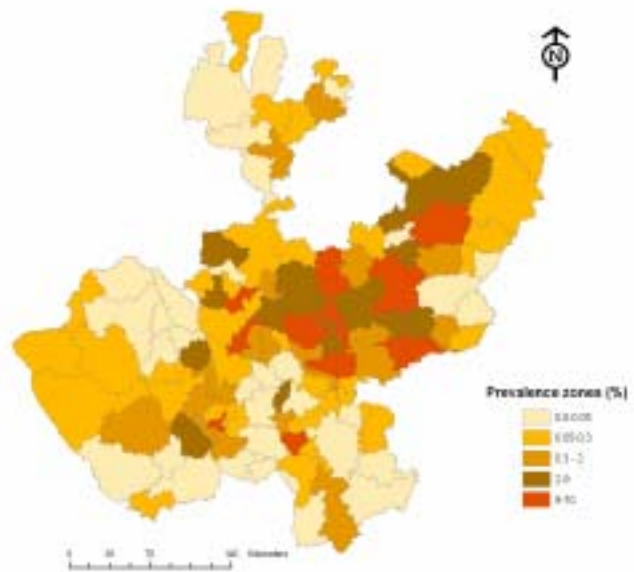
## DISCUSIÓN

Es conocido que las enfermedades no siguen una distribución espacial aleatoria, más bien responden a la distribución del huésped, del agente etiológico y de las condiciones ambientales asociadas a estos: la tuberculosis es un claro ejemplo. De acuerdo a la distribución observada en los mapas y al conocimiento que se tiene de la enfermedad, se puede ver que las zonas de mayor prevalencia de TBB coinciden con la distribución de diferente tipo de ganado; la zona centro y la zona de “Los altos de Jalisco” tienen mayormente ganado especializado en la producción de leche, donde se conoce que por las características de explotación, el hacinamiento y el estrés, la prevalencia de la enfermedad es mucho mayor que en ganado especializado en carne, el que generalmente tiene condiciones de explotación extensiva y las probabilidades de contacto entre individuos es mucho menor. Esto indica que pueden existir factores de riesgo que pueden ser incorporados al modelo de evaluación geoestadística con Krigeaje que pueden proporcionar estimaciones con mayor grado de precisión de la distribución de las enfermedades en las poblaciones. El objetivo del presente trabajo no consideró de momento la inclusión de otras variables aparte de la prevalencia de la enfermedad.

Una de las dudas que siempre se tienen cuando se trabajan fuentes de datos secundarias es la confiabilidad de la información. En este caso se

Figura 2. Zonas de prevalencia de tuberculosis bovina por municipio en el estado de Jalisco en el proceso de barrido

Figure 2. Per-municipality bovine tuberculosis prevalence zones in the State of Jalisco, using the scanning procedure



estimated and mapped using the Kriging methodology. Cross validation showed that the estimated prediction map of BTB in Jalisco is unbiased, which shows the average standardized error (0.01369), the average standard error (0.918), and the mean of prediction errors (-0.1218), the latter showing bias. A 0 value means no bias.

## DISCUSSION

It is well accepted that diseases do not follow a random spatial distribution, but they rather respond to the distribution of the host, the etiological agent, and associated environmental conditions; BTB is a clear example. In agreement with the distribution observed in the maps and in accordance with our knowledge about this disease, it is evident that zones with higher BTB prevalence match the distribution of different breeds of cattle. Central Jalisco and the zone known as “Los Altos de Jalisco” (Jalisco’s highlands) have large populations

utilizó información de la COEETB de Jalisco, que es la misma que de manera constante, de al menos dos veces por año, la Comisión Revisora del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) está analizando para dictaminar el estatus sanitario del Estado y certificarlo para que pueda exportar animales al país del norte, lo que nos da confianza de la calidad de la misma.

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La similitud de las zonas de prevalencia de tuberculosis bovina en ambos mapas, demuestra que los sistemas de información geográfica apoyados con métodos geoestadísticos son de mucha utilidad para predecir la prevalencia de la tuberculosis bovina, o de cualquier otra enfermedad, en una región dada con un considerable ahorro potencial de recursos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la COEETB-Jalisco por haber proporcionado información sobre dictámenes de prueba de ganado en los hatos del Estado, a la MC Marina Durán Aguilar del CENID-FA por su asesoría en el manejo de la información en SAS y al Doctor José Quintín Cuador Gil de la Universidad de Pinar del Río en Cuba por su asesoría en el uso de métodos geoestadísticos. Proyecto parcialmente financiado por CONACYT. Proyecto No. SAGARPA-2003-C01-128.

## LITERATURA CITADA

1. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Sistema Único de Información. México 1997;(2):1-4.
2. Ramírez CE. Día mundial contra la tuberculosis 24 de marzo de 1998. Neumología y Cirugía de Tórax, México 1998; (57):1-4.
3. Gutierrez M, Vincent B, Aubert D. Molecular fingerprinting of *Mycobacterium tuberculosis* and risk factors for tuberculosis transmission in Paris, France and surrounding area. *J Clin Microbiol* 1998;(32):486-492.

of dairy cattle. It is well known that farming, overcrowding and stress factors promote a much higher prevalence of BTB in dairy cattle than in beef cattle, since the latter are typically held under extensive farming conditions with much lower probabilities of direct contact among animals. This shows that potential risk factors exist that could be incorporated into the Kriging geostatistical evaluation model, which might yield more precise estimates of disease distribution among populations. For the times being, this study did not include other variables besides disease prevalence.

Information reliability is frequently questioned when secondary data sources are used for analytical studies. Our study used information from *COEETB-Jalisco*. This is the same information used constantly (at least twice a year) by the US Department of Agriculture (USDA) Commission to resolve about and certify the health status of cattle in Jalisco for exports to the US. This gives us confidence about the quality of the information.

## CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Similarity of areas of BTB prevalence and distribution in both maps indicates that the combination of geographic information systems and geostatistical methods is extremely useful to predict the prevalence of BTB or any other diseases within a given region with tremendous potential resource savings.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Our gratitude to COEETB-Jalisco for having provided us with information about cattle test registries; Marina Durán Aguilar, MSc, CENID-FA, for her assistance in management of information in SAS; and Dr. José Quintín Cuador Gil, Pinar del Río University, Cuba, for his advise on the use of geostatistical methods. This project was partially funded by Mexico's National Science and Technology Council (*CONACYT*) project No. SAGARPA-2003-C01-128.

*End of english version*

---



## INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PREDICCIÓN DE TUBERCULOSIS

4. Fernández D. El control de la tuberculosis: neumología y cirugía de tórax. México 1997;(56):116-118.
5. O'Reilly LM, Daborn CJ. The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections in animals and man: a review. Tubercle and Lung Disease 1995;(6):1-46.
6. WHO. Report of the WHO group on zoonotic tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) with the participation of FAO: World Health Organization. Veter Public Health 1994:1-43.
7. Brooker S, Michael E. The potential of geographical information systems and remote sensing in the epidemiology and control of human helminth infections. Advan Parasitol 2000;(47):246-279.
8. Zenilman JM, Glass G, Shields T, Jenkins PR, Gaydos JC, McKee KT. 2002, Geographic epidemiology of gonorrhoea and chlamydia on a large military installation: application of GIS systems. Sex Transm Inf 2002;(78):40-44.
9. Barroto RJ, Martínez-Piedra R. Geographical patterns of cholera in Mexico 1991-1996. Int J Epidemiol 2000;(29):764-772.
10. Zeman P. Objective assessment of risk maps of tick-borne encephalitis and Lyme Borreliosis bases on spatial patterns of located cases. Int J Epidemiol 1997;(26):1121-1130.
11. Hay SI, Omumbo JA, Craig MH, Snow RH. Earth observation, geographic information systems and *Plasmodium falciparum* Malaria in Sub-Sahara Africa. Advan Parasitol 2000;(47):174-215.
12. Kleinsschmidt I, Bagayoko G, Craing M, Sueur L. A partial statistical approach to malaria mapping. Int J Epidemiol 2000;(29):355-361.
13. Randolph SE. Ticks and tick-borne disease systems in space and from space. Advan Parasitol 2000;(47):217-243.
14. Rogers DJ. Satellites, space, time and the African Trypanosomiasis. Advan Parasitol 2000;(47):130-171.
15. Gotway CA. Fitting semivariogram models by weighted least squares. Short Note. Computers & Geosciences 1991;17(1):171-72.
16. Rivoirard J, Guiblin P. Global estimation variance in presence of conditioning parameters. Baafi EY, Schofields NA editors. Geostatistics Wollongong'96 1997;(1):246-257.
17. Matheron G. "La Théorie des Variables Regionalisées et ses Applications". Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau. Fascicule 5, Ecole de Mines de Paris. 1997.
18. Zhang R, Myers DE, Warrick AW. Estimation of the spatial distribution of soil chemical using pseudo cross-variograms. Soil Sci Soc Amer 1992;56(5):1444-1452.
19. Armstrong M, Carignan J. "Géostatistique Linéaire, Application au Domaine Minier". École de Mines de Paris. 1997.
20. Abasov MT, Djafarov IS, Askerov GI. Computer based system for exploration, optimization, and reserve estimation at the Bakhar field, South Apsheron, Azerbaijan, SSR. Computers & Geosciences 1990;16(2):245-249.
21. De Fouquet C. Quelques Rappels Sur les Méthodes Géostatistiques. Centre de Géostatistique, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, France. 1996.
22. Carr JR. Numerical analysis for the geological sciences. First edition. USA: Prentice Hall Inc; 1995.

