

Manifestaciones de salud asociadas a elementos climáticos y ambientales: el caso de la ocurrencia de Coccidioido micosis en México.

Palabras clave. Coccidiomicosis, suelo, temperatura, México, /
Coccidioidomycosis, Soil, temperature, Mexico.

José Luis Manzanares Rivera.

El Colegio de la Frontera Norte, Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente,

1. Introducción.

Los factores ambientales, constituyen un área de estudio de creciente interés en la búsqueda por comprender las causas en el desarrollo de padecimientos de salud incluidos aquellos de carácter infeccioso (Manzanares, 2017; Watts et al., 2016) y no obstante que diversas iniciativas de investigación se han referido a éste vínculo como: “*the greatest global health opportunity of the 21st century*” (Wang y Horton, 2015), en países de América Latina como México, se cuenta aún con escasos esfuerzos para atender este reto.

La importancia de estudiar este vínculo a escala local reside entre otros elementos, en su capacidad para comprender los mecanismos de contagio específicos, lo que posibilita atender etapas en el contexto de salud pública como el diagnóstico temprano, evaluación del tratamiento y control efectivo. Al respecto, académicos en México reconocen que no existen estadísticas confiables de coccidioido micosis; (Moroyoqui y Figueroa Saucedo, 2008) por lo que la realización de trabajo de investigación retomando este enfoque a escala local se considera una aportación relevante.

A pesar de que recientemente determinantes climáticos de salud han recibido atención especial entre la comunidad académica ante las eminentes variaciones del patrón climático global (WHO, 2016), las aportaciones realizadas por los trabajos pioneros de Merriam (1895) y sucesivos desarrollos por Holdridge (1967) con relación a la construcción teórica sobre región biogeográfica, en la que se argumenta que dos zonas de clima similar, eventualmente desarrollan formas de vida similares (Daubenmire, 1938), constituyen un antecedente para incorporar formalmente desde la perspectiva ambiental elementos complementarios para explicar el desarrollo de afecciones de salud, entre las cuales, los padecimientos infecciosos de origen micótico constituyen un grupo de especial interés.

En este contexto, un elemento que representa un área con potencial explicativo escasamente abordado se encuentra en el estudio del vínculo de las condiciones edafológicas y la distribución de ciertas afecciones de salud que por su complejidad requieren de esfuerzos multidisciplinarios que permitan aportar al entendimiento de su diseminación.

El suelo es el resultado de la interacción de diversos factores ambientales, fundamentalmente: clima, material geológico, vegetación, relieve y aunado a estos elementos, los procesos

bioquímicos asociados a la actividad antropogénica que ejercen influencia sobre sus características y calidad¹ (Rastegari Mehr et al., 2017), se traducen en mecanismos de exposición y factores de riesgo para la salud diferenciados.

Según se ha documentado por estudios previos como (Wheeler, Lucas, & Mohle-Boetani, 2015), entre otros, la coccidioidosis², es una enfermedad con presencia en algunas regiones del continente americano y en particular se sabe que en Norte América el hongo es endémico de la región fronteriza entre México y Estados Unidos, así mismo, estudios conducidos durante la década de los ochentas establecen que el 80% de las personas que viven en zonas endémicas son infectadas en un lapso de cinco años (Hoffman, 1993) si bien se ha documentado que, solo una fracción marginal de los sujetos infectados puede desarrollar complicaciones.

El padecimiento es ocasionado por el hongo *Coccidioides immitis* y *Coccidioides posadasii* considerados por el centro de control y prevención de enfermedades (CDC por sus siglas en inglés) como patógenos de bioseguridad³ nivel 3, ambos residentes habituales del suelo en condiciones climáticas propicias.

A pesar de su marginal incidencia, este padecimiento es de consideración dada la severidad de sus manifestaciones, y el hecho de que su tratamiento, para algunas variantes como la coccidioidosis diseminada, requiere un seguimiento de largo plazo con antimicóticos de amplio espectro (Cortez, Walsh, & Bennett, 2003; Smith & Kauffman, 2012), siendo una afección que puede afectar severamente la calidad de vida del paciente. (Williams et al., 1992).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es aportar información que permita el monitoreo de la incidencia de coccidioidosis en México, para lo cual se documenta la evolución temporal reciente de este padecimiento en México y se identifica su distribución

¹ El caso de la minería es un ejemplo clásico en el que intervienen los elementos anteriores y en el que se tiene evidencia sobre las posibles interrelaciones hacia los determinantes ambientales de salud.

² Dada su notable presencia en algunas regiones de California, los primeros estudios se refieren a este padecimiento como fiebre del Valle de San Joaquín, denominación documentada sobre todo por los estudios realizados para el caso Estados Unidos.

³ La clasificación 3 en la escala incluye patógenos que pueden causar un daño serio y potencialmente mortal como resultado de la inhalación o exposición. La escala considera el nivel 1 para patógenos con el menor riesgo y el 4 para aquellos patógenos del mayor riesgo.

mediante la construcción de indicadores de concentración geográfica. Así mismo, se estiman las tasas de morbilidad ajustadas por estructura de edad y sexo, indicadores clásicos en el contexto de salud utilizados para medir la incidencia actual. De forma explícita se analiza la distribución del padecimiento en relación con determinantes ambientales.

Para lograr el objetivo se considera como fuente primaria, micro datos en formato de corte transversal y series de tiempo en el periodo 2004-2015, fuente que representa los registros oficiales más recientes disponibles en materia de morbilidad en el país y con la finalidad de contar con un parámetro de comparación en el contexto internacional, la información analizada se basa en la clasificación internacional de enfermedades CIE-10.

2. Consideraciones teóricas y estudios previos.

En términos teóricos la presente investigación se ubica en el paradigma sobre determinantes sociales y ambientales de las condiciones de salud pública (PHE). Acorde con la organización mundial de la salud, (OMS) la concepción teórica de (PHE) considera aquellos aspectos de la salud humana incluyendo calidad de vida, que son determinados por factores químicos, físicos, biológicos, sociales y sicosociales en el medioambiente (OMS, 2016).

Se adopta este marco conceptual ya que existe un consenso en la literatura en términos clínicos sobre el mecanismo causal de la coccidioido micosis vinculado a las condiciones ambientales (Meltzer & Schwartz, 2010). Acorde con estudios de corte epidemiológico el hongo responsable de la infección encuentra el medio propicio para su propagación y supervivencia en ciertas condiciones ambientales y comúnmente se hospeda en la capa superficial del suelo, si bien diversos mecanismos facilitan su dispersión a través de las partículas de polvo (Hector & Laniado-Laborin, 2005).

El factor ambiental es determinante para comprender el mecanismo de contagio⁴ ya que se ha comprobado adicionalmente que no es un padecimiento transmisible de un individuo

⁴ Si bien, el tipo de suelo es una condición natural no susceptible de ser modificada, el comportamiento individual para protegerse en contra de la exposición al polvo es modificable, por ejemplo mediante la implementación de programas de pavimentación y adecuación de áreas recreativas apropiadas para la convivencia familiar. O bien mediante el establecimiento de esquemas de monitoreo en áreas rurales endémicas para detectar casos en su fase no diseminada y lograr un manejo con mayores expectativas de control.

infectado a otro⁵ (Crum, Lederman, Stafford, Parrish, & Wallace, 2004), pero es adquirido primordialmente al respirar la espora de las especies immitis y posadasii del hongo del género *Coccidioides*⁶ (Fisher, Koenig, White, & Taylor, 2002).

En la vertiente ambiental como determinante contextual de la salud, un elemento de interés en el estudio de los mecanismos de contagio de coccidioide micosis es la presencia de partículas PM_{2.5} y PM₁₀ estas actúan como medio de transporte de las esporas que al ser inhaladas por el individuo se alojan en el sistema respiratorio iniciando un proceso infeccioso que puede progresar afectando otros sistemas de los cuales el nervioso central (SNC) es un foco de atención por las secuelas e impactos de largo plazo (Bernreuter, 1989).

Así mismo, la evidencia documentada sobre la ocurrencia del padecimiento indica que el tipo de suelo constituye un rasgo característico que debe considerarse para entender este padecimiento, por lo que variables como PM_{2.5} y 10 adquieren relevancia principalmente en la medida en la que interactúan con las condiciones de tipo de suelo apropiadas.

Más aún, acorde con Canteros et al. (2010), con base en estudios realizados en el contexto de otros países de América Latina, se confirma que la supervivencia del vector trasmisor se asocia con suelos secos, arenosos o arcillosos, alcalinos y con vegetación xerófila, donde las precipitaciones anuales no sobrepasan los 600 mm y los veranos son extremadamente calurosos (Canteros et al. 2010). En este sentido los patrones de comportamiento propios de entornos con temperaturas extremas donde la adaptación al factor climático implica la utilización de infraestructura climatizada constituyen un factor ambiental adicional que media la exposición entre el agente patógeno y la población.

Si bien, en términos empíricos los esfuerzos de investigación realizados en México desde la década de los cuarentas han logrado establecer regiones endémicas del vector, la integración de los elementos teóricos propuestos con una perspectiva espacial permitiría aportar al entendimiento del comportamiento de la ocurrencia del padecimiento al identificar

⁵ Salvo casos excepcionales documentados en los que han intervenido procedimientos quirúrgicos que involucraron trasplantes de órganos de pacientes infectados.

⁶ A pesar de que existe evidencia que indica el lugar de origen de ambas especies del hongo, siendo immitis endémica del California, mientras le especie posadassi con presencia en otras áreas del continente americano incluido México, esta diferencia no es relevante en términos de la expresión clínica el padecimiento.

diferencias asociadas a determinantes ambientales locales por ejemplo al abordar importantes cuestionamientos como: ¿Qué municipios presentan la mayor concentración relativa? y cuál es la evolución temporal observada en la entidades de mayor incidencia durante el periodo 2004-2015. ¿Qué centros hospitalarios reciben la mayor demanda para la atención de este padecimiento en México? Información que permitiría aportar elementos sobre la necesidad de infraestructura y personal médico especializado. ¿Existen grupos demográficos particularmente vulnerables? ¿Cuáles son? En particular se contrasta como situación base la aseveración de Baptista y Riquelme, (2010) sobre los grupos de edad vulnerables identificados en ese estudio.

3. Consideraciones metodológicas y datos.

El análisis se sustenta en dos vertientes de información: la primera busca aproximar los determinantes ambientales, para lo que se analiza la cobertura vectorial de edafología con énfasis en las áreas de mayor incidencia del padecimiento, se contrasta información climática basada en la clasificación de Koppen misma que permite un estándar de comparación en términos internacionales. Así mismo se estudian los registros públicos de temperatura generados por la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales de la UNAM para el periodo 1973-2016. La finalidad al estudiar la serie de tiempo de temperatura es delimitar áreas con temperaturas cálidas extremas y contrastar la incidencia del padecimiento en tales espacios geográficos.

La segunda vertiente del análisis se centra en el estudio de indicadores de salud, para lo que se considera como fuente primaria los registros sobre egresos hospitalarios generados por el Sistema Nacional de Información en Salud, fuente oficial que es referencia estándar para estudios sobre morbilidad en México.

Se considera la serie de tiempo completa disponible públicamente para el periodo 2004-2015. Con la finalidad de contar con una base de comparación para estudios posteriores en el contexto internacional, se analizan los siguientes códigos de la clasificación internacional de enfermedades CIE-10: B38:Coccidioidosis micosis, B380:Coccidioidosis micosis pulmonar aguda, B381:Coccidioidosis micosis pulmonar crónica, B382:Coccidioidosis micosis pulmonar, sin otra especificación, B383: Coccidioidosis micosis cutánea,

B384: Meningitis debida a coccidioido micosis, B387: Coccidioido micosis diseminada, B388: Otras formas de coccidioido micosis y B389: Coccidioido micosis, no especificada.

Para explorar las tendencias de morbilidad así como su distribución en el territorio con mayor profundidad, se estima el indicador de concentración relativa denominado: cociente de localización (LQ). Esta medida relativa permite controlar por el tamaño de población en cada entidad federativa para determinar la concentración de casos por coccidioido micosis entre las diferentes áreas geográficas. Es un indicador que dado su potencial para detectar patrones espaciales, ha sido aplicado previamente por estudios epidemiológicos de corte empírico tal como se documenta por (Jerrett, Eyles, Dufournaud, & Birch, 2003; Wright, 1994), así como por estudios recientes que analizan tendencias de mortalidad en países de América Latina (Manzanares, 2017a).

El indicador LQ para un momento del tiempo determinado se construye usando la siguiente especificación:

$$LQ_t = \left(\frac{C}{T}\right)_j / \left(\frac{C}{T}\right)_N$$

Donde C corresponde al número de registros por egresos hospitalarios para las causas en rango (B38- B389), T corresponde con el número total de registros por egresos hospitalarios en el año t , j representa una entidad federativa particular de la república Mexicana y N indica el escenario nacional para un momento en el tiempo t . En ambas escalas geográficas la proporción entre el número de egresos por coccidioido micosis y el total de egresos es comparado para el periodo $[t=2004, t=2015]$.

Por definición el umbral $LQ=1$ indica una situación en la que la proporción de egresos observada tanto en la entidad como en la escala nacional (ámbito de referencia) es la misma, de modo tal que valores $LQ > 1$ indican una proporción superior en la entidad j relativa al nivel nacional y por ende un área de interés para los fines de este trabajo. Consecuentemente valores $LQ < 1$ permiten inferir una proporción menor en el estado j relativa al escenario nacional, es decir áreas que no representan un incidencia particularmente relevante.

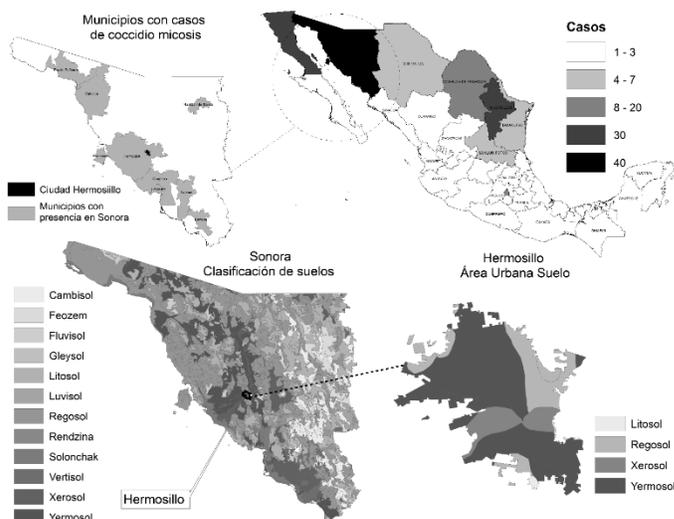
Se estiman dos medidas adicionales para obtener mayor información sobre los registros de egresos por coccidio micosis, la estructura de edad mediante la construcción de funciones de densidad Kernel que permiten comparar la distribución por edades e identificar posibles grupos vulnerables.

Adicionalmente para detectar la magnitud relativa de la presencia del padecimiento en el contexto nacional se realiza la estimación de las tasas de mortalidad ajustadas por estructura de edad, aplicando el método directo para los 32 estados del país registrando como población estándar de referencia el censo general de población y vivienda 2010.

4. Resultados

La primera estimación reporta la distribución geográfica del número de casos en el territorio nacional considerando la información más reciente disponible, así mismo se reporta la ocurrencia a escala municipal considerando la entidad con el mayor número de casos y se documentan los rasgos edafológicos.

Figura 1. Incidencia de coccidio micosis en México por entidad federativa y clasificación de tipo de suelo (2015).



Elaboración propia con datos de SINAIS 2015. INEGI cobertura vectorial de edafología serie II.

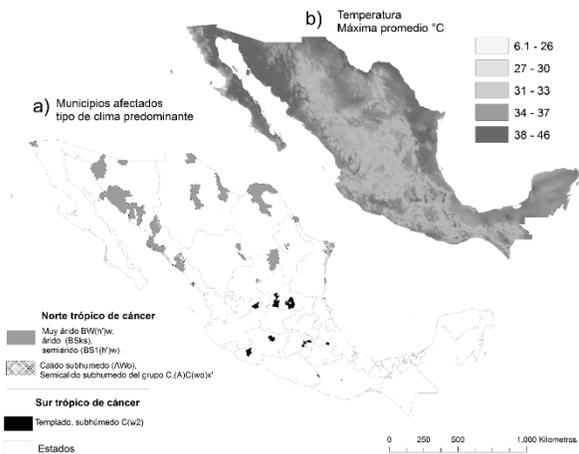
Los resultados de esta primera estimación permiten destacar tres elementos que aportan al entendimiento del comportamiento espacial del padecimiento: Las entidades ubicadas en la frontera norte, notablemente resultan el área de atención principal en México. Dentro de esta región, el estado de Sonora muestra una particular elevada concentración. Al considerar la escala municipal, la atención se dirige a una región en particular en el estado de Sonora, concretamente se identifica que el padecimiento ocurre principalmente en 7 municipios: Puerto Peñasco, Caborca, Nacozari, Hermosillo, Guaymas, Empalme, Cajeme y Navojoa, sin embargo, una inspección de esas áreas geográficas revela que es el Municipio de Hermosillo donde se localiza el foco de atención principal con el 60% de los casos registrados en esa entidad fronteriza del país⁷.

Al considerar la clasificación del suelo se encuentra que 145 km² de la superficie municipal que incluye al 78.6% del área urbana de la ciudad de Hermosillo, se asienta sobre un tipo de suelo clasificado como Yermosol y Xerosol. Este rasgo edafológico predominante en el municipio de Hermosillo representa un vínculo clave para comprender la ocurrencia de este fenómeno de salud pública y es consistente con evidencia reportada por estudios previos realizados a lo largo del continente americano como Canteros et al. (2010).

Asociado al tipo de suelo, un determinante ambiental de interés al analizar el comportamiento de la ocurrencia de la coccidiosis micosis es la temperatura. La premisa fundamental de esta exploración es que la presencia de altas temperaturas implica la necesidad por parte de los hogares de contar con infraestructura que permita la adaptación a las condiciones climáticas, generando como resultado potenciales vías de exposición al agente patógeno. Para explorar esta variable a continuación se muestra la configuración de las temperaturas máximas promedio en el territorio nacional y se identifican los municipios que registraron casos durante el 2015 así como su tipo de clima predominante.

Figura 2. Clasificación climática en municipios con presencia de coccidiosis micosis 2015 y b) Temperaturas máximas promedio México (Agosto).

⁷ Si bien los datos absolutos permiten una primera aproximación al comportamiento espacial del padecimiento, para evitar sesgos asociados al tamaño poblacional de cada municipio es necesario considerar el comportamiento relativo de la ocurrencia, análisis que se realiza en detalle más adelante en esta investigación.

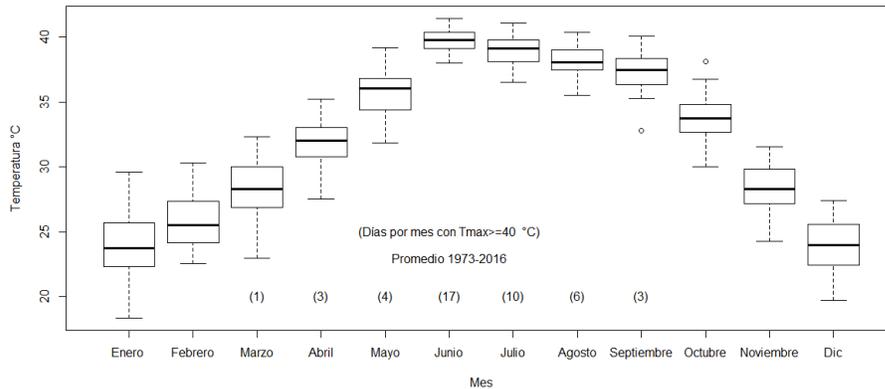


Fuente: Elaboración propia con datos de: a) CONABIO 2001. b) UNIATMOS UNAM, 2009.

Se identifica que el 87% de los municipios afectados, presentan un patrón climático claramente diferenciado que se ubica en los siguientes rangos de la clasificación climática de Köppen: Muy árido BW(h')w, árido (BSks), semiárido (BS1(h')w) y es en esta región climática donde se encuentran los tres Municipios de mayor incidencia en el contexto nacional que son: Tijuana, Baja California, Hermosillo, Sonora y Monterrey Nuevo León. En consistencia con la distribución climática nacional en la que el Trópico de Cáncer marca hacia el norte una frontera que divide al territorio, se halla que el 80% de los casos se presentan al norte del paralelo situado en la latitud de 23° 26' 14", mientras en la región comprendida al sur de esta división cuyo patrón climático dominante es Templado, subhúmedo C(w2) con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C; se localizan 13 municipios, lo que representa únicamente el 15% de los casos por coccidioido micosis registrados en 2015.

Esta caracterización permite contar con un determinante climático claramente diferenciado que da soporte a la ocurrencia del padecimiento en áreas poblacionales concretas como el municipio de Hermosillo, donde las temperaturas superan los 40° C durante los meses de verano, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 3 Caracterización histórica de Temperatura en Hermosillo (estación climatológica 26138) 1973-2016.

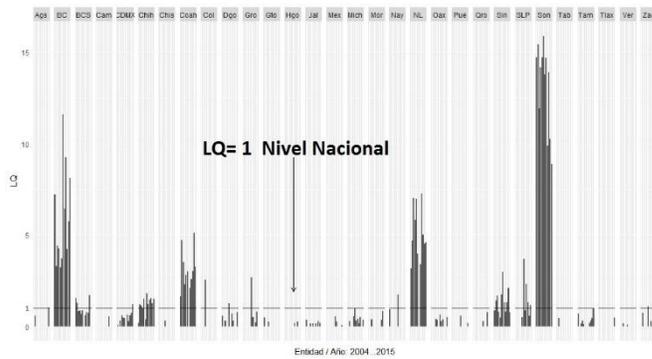


Fuente: Elaboración propia con datos de SMN. Estación climatológica 26138. Hermosillo II (DGE) Latitud: 0029.099, Longitud: -110.954, Altitud: 221 msnm.

La inspección de los datos generados por la estación climatológica 26138 Hermosillo II (DGE) indican que históricamente en el mes de junio, durante 17 días en promedio se tienen temperaturas que superan los 40° C, bajo estas condiciones la vida humana requiere de la implementación de estrategias de adaptación con el uso de infraestructura especial y es precisamente este aspecto lo que genera un factor potencial de riesgo adicional para el contacto con el hongo causante del padecimiento en cuestión.

Si bien los elementos expuestos con base en cifras absolutas hasta el momento, permiten un escenario preliminar sobre la distribución espacial de este padecimiento de origen micótico en México, a continuación se realizan estimaciones que permiten incorporar cifras relativas al controlar por el tamaño poblacional de cada entidad, evitando así el sesgo por el efecto que entidades de mayor magnitud poblacional pudiese tener sobre el número de casos observado. En la figura 4 se muestran los resultados del cálculo del Cociente de Localización (LQ) para las 32 entidades del país para un periodo de 11 años, este indicador permite detectar aquellas entidades con una concentración relativa superior a la observada en el país dada la estructura poblacional de cada entidad.

Figura 4. Coeficiente de localización (LQ) para Coccidioido micosis, según entidad federativa 2004-2015.

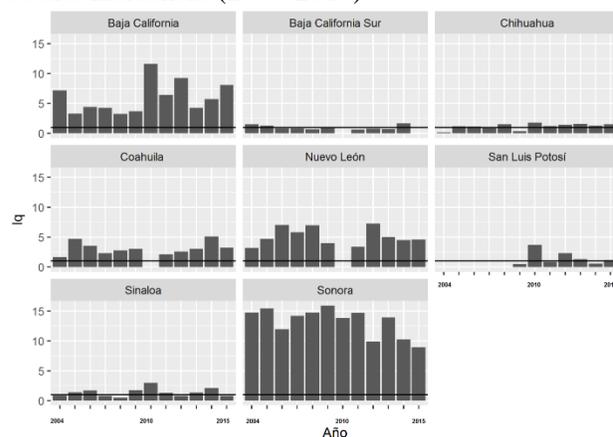


Elaboración propia con datos de SINAIS 2015.

Los resultados indican un patrón sistemático en entidades de alta incidencia que permite corroborar el escenario identificado en términos absolutos, así claramente las entidades en la frontera norte son la que registran esta afección de forma desproporcionadamente mayor, con Sonora con el mayor patrón de concentración. Este enfoque permite adicionalmente detectar dos entidades que registran este padecimiento con una magnitud relativa superior al nivel nacional, estas son: Sinaloa y San Luis Potosí.

Con la finalidad de analizar con mayor detenimiento la evolución temporal del cociente de localización estimado para este subconjunto de entidades denominado para efectos de este trabajo como de alta incidencia, la figura 5 muestra el contraste respecto al escenario nacional.

Figura 5. Evaluación temporal del Coeficiente de localización de Coccidioides immitis para entidades de alta incidencia (2004-2015).



Elaboración propia con datos de SINAIS 2015.

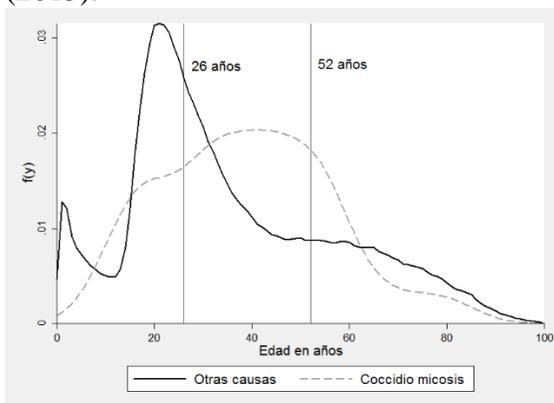
La estimación aporta rasgos de interés para comprender la magnitud de la ocurrencia al interior de este subconjunto denominado de alta incidencia y también permite contrastar su

evolución temporal. Así, se encuentra que mientras en entidades como Baja California Sur, Chihuahua, o Sinaloa, la presencia del padecimiento ha sido constante a lo largo de la última década, su incidencia apenas rebasa el escenario nacional. En contraste los niveles observados en: Baja California, Coahuila, Nuevo León y Sonora alcanza magnitudes que superan considerablemente el escenario nacional, siendo el caso de Sonora el de mayor atención con un LQ que representa 15 veces la magnitud de casos por coccidiodo micosis encontrada en México.

La elevada concentración observada a escala municipal como es evidente en el caso de Hermosillo, Sonora tiene implicaciones asociadas a la capacidad del sistema de salud para atender los casos registrados y en última instancia representa una carga operativa en centros concretos de atención dado que la atención del padecimiento requiere de personal especializado. Una revisión a escala local revela que son dos centros hospitalarios en los estados de mayor incidencia los que reciben la demanda para atención de este padecimiento: el Hospital General del Estado Dr. Ernesto Ramos Bours en Hermosillo, Sonora y el Hospital General Regional No. 20 operado por el Instituto Mexicano del Seguro Social en la ciudad de Tijuana, Baja California.

A continuación y con la finalidad de determinar posibles grupos etarios vulnerables y aproximar el impacto social se construyó la curva de densidad de los casos reportados para 2015. Los resultados se presentan en la figura 6.

Figura 6. Distribución de edades en pacientes con coccidiodo micosis vs. Otras causas (2015).

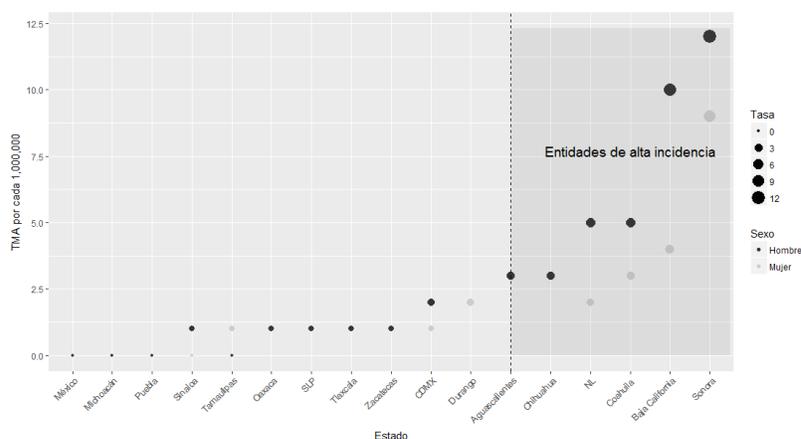


Elaboración propia con datos de SINAIS 2015.

Se encuentra que el 50% de los casos ocurre en un rango de edad altamente productivo, entre los 26 y 52 años, esta distribución supone importantes efectos sociales. El resultado sugiere que se trata de un padecimiento que no se manifiesta necesariamente en personas de edad avanzada, característica que se comparte con otros padecimientos de naturaleza infecciosa en donde no se precisa un periodo de exposición prolongado para su manifestación. Así mismo, no se encontró evidencia sobre la mayor incidencia en población infantil, información que contrasta con los hallazgos reportados por estudios previos como Baptista y Riquelme, (2010).

A continuación se presenta la estimación de las tasas de morbilidad ajustada por estructura de edad y por sexo, lo que permite contar con un parámetro de comparación estándar en materia de salud pública; se consideran las 17 entidades que registraron al menos un caso durante el año más reciente disponible de información.

Figura 7 Tasas de morbilidad ajustadas por estructura de edad y sexo 2015.



Elaboración propia con datos de SINAIS 2015.

Los resultados de la estimación son consistentes con el análisis exploratorio realizado a partir de la cifras tanto absolutas como mediante el indicador de concentración relativa LQ y confirman que Sonora, Baja California y Coahuila son las entidades de mayor incidencia en el país, así mismo se detecta un patrón sistemático en el que el sexo masculino aparece como el grupo con mayor incidencia, lo que abre un cuestionamiento como posible línea en la agenda de investigación ¿Por qué las tasas son mayores para el sexo masculino? Una

posibilidad para atender este cuestionamiento es que al tratarse de un padecimiento que tiene un fuerte componente ambiental dentro de los factores de riesgo principales, pudieran ser los hombres los que tienen un grado de exposición mayor al patógeno, sobre todo considerando ocupaciones que se realizan al aire libre como aquellas relacionadas a la agricultura, si bien esta conjetura requiere de un análisis formal y se propone como futuro tema de investigación.

5. Discusión

Si bien, en México los factores ambientales que tienen un potencial impacto hacia la salud humana encuentran en el plano regulatorio una estructura que establece bases para la mitigación de factores de exposición como es el caso de la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 que determina los límites máximos de concentración de PM₁₀ en el ambiente para la protección de la salud pública, se percibe como área activa de oportunidad el desarrollo de proyectos que permitan reducir la vulnerabilidad de la población hacia el desarrollo de padecimientos ante los riesgos identificados en zonas específicas del país.

Al respecto, acorde con la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), en sitios como Hermosillo, Sonora, la principal zona de ocurrencia de este padecimiento en México, solo el 72% de la ciudad contaba en 2011 con pavimentación (COCEF, 2011). Este hecho implica un incremento en el potencial de diseminación del hongo causante de la coccidioido micosis y representa un elemento modificable concreto para reducir la concentración de partículas PM₁₀ en esa ciudad, consistente con lo que en términos teóricos la OMS denomina *Behaviour related to environmental factors*. (OMS, 2016).

Considerando los resultados obtenidos para el caso emblemático de Hermosillo y dado que las zonas sin pavimentación se ubican en la periferia en donde se observan mayores niveles de pobreza (Lara-Valencia, Álvarez-Hernández, Harlow, Denman, & García-Pérez, 2012), los resultados permiten inferir la existencia de un grado de vulnerabilidad diferenciado en línea con el desarrollo teórico que la OMS ha documentado en la vertiente sobre de disparidades sociales de salud (WHO, 2017).

Adicionalmente los resultados sugieren que no solo el tipo de suelo constituye un determinante en este padecimiento pero de forma complementaria las condiciones climáticas con temperaturas elevadas extremas son un factor explicativo donde el comportamiento de

los individuos que implica el uso de sistemas de aire acondicionado para lograr la adaptación climática⁸, representa una vía adicional de contacto con las esporas del hongo coccidioides.

Una pregunta relevante que se deriva del análisis realizado y que se propone en la agenda para avanzar con el entendimiento de este padecimiento en México es si ¿existe una diferencia en el estatus socioeconómico de las personas infectadas por coccidioido micosis? Ya que se logró determinar que hay una diferencia significativa en las tasas de morbilidad que afecta de mayor medida al sexo masculino.

La pregunta surge ya que el vector de transmisión es un hongo que se hospeda en el suelo. El polvo contiene la espora del hongo. Como se ha discutido una hipótesis de interés indica que las zonas periféricas de las ciudades (que se encuentran sin pavimentación, representan un riesgo potencial mayor) incluidas áreas rurales con actividad agrícola predominante como es el caso del sitio en donde inicialmente se detectó la enfermedad (Valle de San Joaquín en California).

Sin embargo, se reconoce que la información disponible analizada no permite inferir de manera precisa el estatus socioeconómico de los pacientes, ya que la variable derechohabiencia, disponible como parte de la base de datos de egresos hospitalarios generada por el sistema nacional de información en salud, no es suficiente como proxy del estatus socioeconómico, por lo que esta pregunta rebasa los alcances del presente estudio, no obstante que los patrones detectados por el análisis exploratorio de datos (EDA) sugieren un posible vínculo con áreas de actividad agrícola.

Los casos detectados en los municipios de Cajeme, donde se localiza el denominado granero de México por su dinámica producción de trigo, Torreón donde se tiene importante actividad agroindustrial, Culiacán un importante centro regional agrícola especializado en el cultivo de hortalizas que requieren la aplicación de procesos intensivos en mano de obra, Caborca, Sonora, que se orienta notablemente a la producción de uva, espárragos e incluso Hermosillo donde se registra actividad agrícola con la principal zona de producción de naranja de la

⁸ En el caso de la principal área de presencia del padecimiento en México que es la ciudad de Hermosillo, se estimó mediante el análisis de los registros de las series temporales de la estación climática 26139 que durante los últimos 41 años, en meses como Junio se tienen en promedio 16 días del mes con una temperatura máxima superior a los 40 °C.

región en las inmediaciones e incluso Tijuana municipio que sistemáticamente disputa junto con Hermosillo el primer lugar por la ocurrencia de coccidioido micosis en México y donde la cercanía con la emblemática región agrícola del valle de San Quintín notable por la recepción de flujos de jornaleros agrícolas atraídos por ciclo productor agrícola de la zona (Barrón, 2013), muestran la necesidad de considerar con mayor profundidad este vínculo, por lo que la realización de estudios futuros basados en métodos cualitativos se perciben necesarios para atender esta limitación identificada en el presente trabajo.

Adicionalmente, con referencia a la evidencia encontrada sobre el vínculo ambiental y la presencia del padecimiento en zonas no endémicas, se especula que la movilidad de nuestra sociedad actual es un elemento a considerar en la explicación de la presencia de casos en zonas no endémicas, concretamente la infraestructura de atención a la salud disponible en el centro del país que atrae a pacientes residentes de otras entidades permitiría reforzar esta hipótesis, que no obstante requiere una validación formal.

6. Conclusiones

El presente trabajo incorpora una estructura conceptual que percibe los problemas de salud pública como parte de un sistema interconectado y en el que la participación multidisciplinaria, tiene el potencial de contribuir integrando elementos explicativos complementarios a la perspectiva clínica para comprender los patrones de salud de la población, así el paradigma sobre determinantes sociales y ambientales de las condiciones de salud pública, considerado como base teórica en conjunto con los antecedentes propuestos en el marco de la existencia de regiones biogeográficas permiten observar que tanto la temperatura como el tipo de suelo son determinantes clave para comprender la distribución geográfica de la coccidioido micosis en México.

De manera complementaria los resultados del análisis permiten inferir que las actividades antropogénicas susceptibles de modificarse juegan un papel relevante para reducir la exposición al patógeno causante de esta afección de salud. Al respecto la teoría sobre determinantes sociales de salud sugiere que existe una vulnerabilidad diferenciada para aquellas poblaciones en condiciones de pobreza, en este caso en el entorno urbano las condiciones de pavimentación representan un factor de riesgo de interés mientras que en el

entorno rural la reducción de los factores de contacto se orienta al perfil ocupacional, con las actividades agrícolas como un posible centro de atención.

Uno de los aportes de la investigación propuesta es el análisis temporal que examinó 11 años de registros oficiales de egresos hospitalarios en lo que constituye un esfuerzo para documentar la evolución temporal reciente de este padecimiento en México lo que posibilita el monitoreo complementando trabajos pioneros en esta línea como Baptista y Riquelme, (2010) y aquellos documentados desde una perspectiva clínica para el caso de México como González Ochoa (1944), Glusker, Furentes, y Gómez del Campo (1950), Madrid (1944), entre otros.

Adicionalmente el análisis propuesto permite aportar elementos para el diseño de estrategias preventivas focalizadas desde el ámbito de política pública, elementos que son consistentes con regulación en materia de salud ambiental como, la NOM-025-SSA1-1993, que establecen el criterio para evaluar la calidad del aire, con respecto a las partículas menores de 10 micras (pm_{10}), como medida de protección a la salud de la población.

Referencias.

Barrón, A. (2013). Desempleo entre los jornaleros agrícolas, un fenómeno emergente. *Problemas del Desarrollo*, 44(175), 55-79. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-7036\(13\)71902-3](https://doi.org/10.1016/S0301-7036(13)71902-3)

Baptista Rosas, Raul & Arellano, Evarista & Hinojosa, Alejandro & Riquelme, Meritxell. (2010). Bioclimatology of Coccidioidomycosis in Baja California, Mexico. *Investigaciones Geograficas*. 71. 21-30.

Bernreuter, W. K. (1989). Coccidioidomycosis of bone: A sequela of desert rheumatism. *Arthritis & Rheumatism*, 32(12), 1608-1610. doi: 10.1002/anr.1780321219

Cante ros C. E. 2010. La coccidioidomycosis en Argentina, 1892-2009. *Revista Argentina de Microbiología*, 42: 261-268.

Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. (2011) Proyecto Integral de Pavimentación en Hermosillo, Sonora. Disponible en: <http://www.cocef.org/proyectos/proyectos-certificados/proyecto-integral-de-pavimentacion-en-hermosillo-sonora>.

CONABIO (2001). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998). 'Climas' (clasificación de Koppen, modificado por García).

http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

Cortez, K. J., Walsh, T. J., & Bennett, J. E. (2003). Successful treatment of coccidioidomycosis meningitis with voriconazole. *Clinical Infection Disease*, 36(12), 1619-1622. doi: 10.1086/375235

Crum, N. F., Lederman, E. R., Stafford, C. M., Parrish, J. S., & Wallace, M. R. (2004). Coccidioidomycosis: a descriptive survey of a reemerging disease. *Clinical characteristics and current controversies*. *Medicine (Baltimore)*, 83(3), 149-175.

Daubenmire, R. F. (1938). Merriam's Life Zones of North America. *The Quarterly Review of Biology*, 13(3), 327-332. doi: 10.1086/394564

Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>

Fisher, M. C., Koenig, G. L., White, T. J., & Taylor, J. W. (2002). Molecular and phenotypic description of *Coccidioides posadasii* sp. nov., previously recognized as the non-California population of *Coccidioides immitis*. *Mycologia*, 94(1), 73-84.

Hector, R. F., & Laniado-Laborin, R. (2005). Coccidioidomycosis—A Fungal Disease of the Americas. *PLOS Medicine*, 2(1), e2. doi: 10.1371/journal.pmed.0020002

Hoffman GS, Sentochnik DE. (1993). Mycobacterial and fungal infections, *Textbook of Rheumatology*. Edited by W.N. Kelly, E.D. Harris Jr., S. Ruddy, C.B. Sledge, W.S. Saunders. Philadelphia.

Holdridge L.R. (1967). *Life zone ecology*, Tropical Science Center San Jose, Costa Rica.

INEGI cobertura vectorial de edafología. En http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/edafologia/vectorial_serieii.aspx

Jerrett, M., Eyles, J., Dufournaud, C., & Birch, S. (2003). Environmental Influences on Healthcare Expenditures: An Exploratory Analysis from Ontario, Canada. *Journal of Epidemiology and Community Health* (1979), 57(5), 334-338.

Lara-Valencia, F., Álvarez-Hernández, G., Harlow, S. D., Denman, C., & García-Pérez, H. (2012). Neighborhood socio-environmental vulnerability and infant mortality in Hermosillo, Sonora. *Salud Pública de México*, 54, 367-374.

Manzanares, J. L. (2016). Calidad de los recursos hídricos en el contexto de la actividad económica y patrones de salud en Sonora, México. *Salud Colectiva*, 12(3), 397.

Manzanares JL. (2017) Distribución espacial de egresos hospitalarios a causa de infección viral por picadura de mosquito en México en la década 2004-2014. *Revista Panamericana de Salud Pública*. (en prensa) Disponible en:

http://www.paho.org/journal/index.php?option=com_docman&view=download&alias=974-2016-00355-manzanares-jl-preliminaryversion&category_slug=2010-reviewers-list&Itemid=847

Manzanares Rivera, J. L. (2017a). Type 2 diabetes mortality at Mexican borders. *Población y Salud en Mesoamérica*. Volume 14, number 2, article 1, 2017 Doi: <http://dx.doi.org/10.15517/psm.v14i2.27028>

Meltzer, E., & Schwartz, E. (2010). Travel-Related Respiratory Infections. *Tropical Diseases in Travelers* (pp. 413-426): Wiley-Blackwell.

Merriam, C. H. (1895). *The geographic distribution of animals and plants in North America*. U.S.D.A. Yearbook 1894: 203-214.

Moroyoqui Luis Alfonso, Figueroa Sergio Ramón, (2008). Coccidioidomycosis, *Medicina Interna de México*. 24(2):125-41

Rastegari Mehr, M., Keshavarzi, B., Moore, F., Sharifi, R., Lahijanzadeh, A., & Kermani, M. (2017). Distribution, source identification and health risk assessment of soil heavy metals in urban areas of Isfahan province, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 132, 16-26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.04.026>

Smith, J. A., & Kauffman, C. A. (2012). Pulmonary fungal infections. *Respirology*, 17(6), 913-926. doi: 10.1111/j.1440-1843.2012.02150.x

SINAIS, (2015). Egresos Hospitalarios, Bases de Datos en Formato Estándar http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/sinais/s_index.html

UNIATMOS UNAM. (2009). Climatología continental. Re análisis promedio mensual Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México. <http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/kml/>

Wang, H., Horton, R. (2015). Tackling climate change: the greatest opportunity for global health. *The Lancet*, 386(10006), 1798-1799. doi: 10.1016/S0140-6736(15)60931-X

Watts, N., et al. (2016). The Lancet Countdown: tracking progress on health and climate change. *The Lancet*, 389(10074), 1151-1164. doi: 10.1016/S0140-6736(16)32124-9

Wheeler, C., Lucas, K. D., & Mohle-Boetani, J. C. (2015). Rates and Risk Factors for Coccidioidomycosis among Prison Inmates, California, USA, (2011). *Emerging Infectious Diseases*, 21(1), 70-75. doi: 10.3201/eid2101.140836

WHO (2016). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. / Annette Prüss-Üstün ... [et al] Disponible en. http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/

WHO (2017). Inheriting a sustainable world? Atlas on children's health and the environment. Disponible en. <http://www.who.int/ceh/publications/inheriting-a-sustainable-world/en/>

Williams, P. L., Johnson, R., Pappagianis, D., Einstein, H., Slager, U., Koster, F. T., . . . River, M. E. (1992). Vasculitic and Encephalitic Complications Associated with *Coccidioides immitis* Infection of the Central Nervous System in Humans: Report of 10 Cases and Review. *Clinical Infectious Diseases*, 14(3), 673-682.

Wright, S. E. (1994). The spatial distribution and geographic analysis of endodontic office locations at the national scale. *Journal of endodontics*, 20(10), 500-505. doi: 10.1016/s0099-2399(06)80047-6.

Agrecimientos:

A la Dra. Graciela Cárdenas del Laboratorio de Infectología en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía por su valiosa colaboración en la revisión de la versión preliminar de este manuscrito.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo a través del Sistema Nacional de investigadores.