Medicina U.P.B.
Revista de la Escuela de Ciencias de la Salud de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia / ISSN: 2357-6308 (En línea)

ARTÍCULO ORIGINAL

Comportamiento temporal del consumo de antibióticos y asociación con variables climatológicas en Santiago de Cali

Fecha de recepción:
2 de enero de 2025.
Fecha de aprobación:
28 de diciembre de 2025.

Temporal behavior of antibiotic consumption and its association with climatological variables in Santiago de Cali

Comportamento Temporal do Consumo de Antibióticos e sua Associação com Variáveis Climatológicas em Santiago de Cali

Jobany Castro Espinosa[1], Marco Antonio Marquez Gomez[2], David Elías Castro Ochoa[3].

RESUMEN

Objetivo: analizar el comportamiento temporal del consumo de antibióticos y establecer su relación con aspectos climatológicos para Santiago de Cali.

Metodología: se consideró el consumo total, el de amoxicilina, azitromicina, doxiciclina, ciprofloxacina, norfloxacina, cefalexina, cefuroxima, ceftriaxona y cefepima. El consumo se estableció con las ventas de droguerías entre 2010 y 2013, y se empleó la metodología de la dosis diaria definida por 1000 habitantes-día. Se determinó el consumo mensual y anual, y se asoció con variables climatológicas del mismo periodo, por regresión lineal múltiple, seleccionando los modelos que resultaran estadísticamente significativos, validando cada uno de los supuestos.

Resultados: para el total de antibióticos el mes de más consumo durante el tiempo estudiado fue marzo de 2011, el de mayor consumo ponderado diciembre y el año de mayor consumo el 2011. El consumo total y el de cada antibiótico se asociaron con las variables climatológicas temperatura promedio, humedad relativa, lluvias, visibilidad y días con niebla.

Conclusión: se identificó un patrón de consumo para el total y para cada antibiótico que puede servir para definir intervenciones en los meses de marzo y diciembre que son los de mayor consumo.

Palabras clave: Farmacoepidemiología; Antibiótico; Estaciones climáticas; Regresión lineal.

ABSTRACT

Objective: To analyze the temporal pattern of antibiotic consumption and its association with climatological variables in Santiago de Cali.

Methods: We examined total antibiotic consumption and the use of amoxicillin, azithromycin, doxycycline, ciprofloxacin, norfloxacin, cephalexin, cefuroxime, ceftriaxone and cefepime. Consumption was estimated from community pharmacy sales between 2010 and 2013, using the defined daily dose per 1,000 inhabitants per day (DDD/1,000 inhabitants/day) methodology. Monthly and annual consumption were calculated and their association with climatological variables for the same period was assessed using multiple linear regression, retaining statistically significant models and verifying compliance with standard regression assumptions.

Results: For total antibiotics, the month with the highest consumption during the study period was March 2011, while December showed the highest weighted consumption, and 2011 was the year with the greatest overall use. Total and drug-specific consumption were associated with mean temperature, relative humidity, rainfall, visibility and number of days with fog.

Forma de citar este artículo:
Castro J, Marquez MA, Castro DE. Comportamiento temporal del consumo de antibióticos y asociación con variables climatológicas en Santiago de Cali. Med UPB. 2026;45(2):24-35
DOI:10.18566/medupb.v45n2.a04

1. Grupo de Investigación TECNNOSALUD, Semillero de Investigación en Farmacia y Epidemiologia-FARMEPI, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Santiago de Cali, Cali, Colombia.
2. Grupo de Investigación TECNNOSALUD, Semillero de investigación NOVASALUD, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Bogotá, Colombia.
3. Investigador Independiente, Cali, Colombia.

Dirección de correspondencia:
Jobany Castro Espinosa.
Correo electrónico:
jobanyce@yahoo.es

Conclusion: A distinct consumption pattern was identified for total antibiotics and for each individual agent, which may guide targeted interventions in March and December, the months with the highest use.
Keywords: Pharmacoepidemiology; Anti-Bacterial Agents; Linear Models; Seasons.

RESUMO
Objetivo: analisar o comportamento temporal do consumo de antibióticos e estabelecer sua relação com aspectos climatológicos em Santiago de Cali.
Metodologia: considerou-se o consumo total, bem como o consumo de amoxicilina, azitromicina, doxiciclina, ciprofloxacina, norfloxacina, cefalexina, cefuroxima, ceftriaxona e cefepima. O consumo foi estabelecido utilizando dados de vendas em farmácias entre 2010 e 2013, e empregou-se a metodologia da dose diária definida por 1000 habitantes-dia. O consumo mensal e anual foi determinado e associado a variáveis climatológicas do mesmo período por meio de regressão linear múltipla, selecionando-se os modelos estatisticamente significativos e validando-se cada uma das hipóteses.
Resultados: Para todos os antibióticos, o mês de maior consumo durante o período do estudo foi março de 2011, o mês de maior consumo ponderado foi dezembro e o ano de maior consumo foi 2011. O consumo total e o consumo de cada antibiótico estiveram associados às variáveis climatológicas temperatura média, umidade relativa, precipitação, visibilidade e dias de neblina.
Conclusão: foi identificado um padrão de consumo para todos os antibióticos e para cada antibiótico individualmente, que pode ser utilizado para definir intervenções em março e dezembro, os meses de maior consumo.
Palavras-chave: farmacoepidemiologia; Antibiótico; Estações climáticas; Regressão linear

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades infecciosas que son transmitidas por vía aérea implican un patrón estacional relacionado con los ciclos climatológicos a lo largo del año[1,2]. Estas incluyen infecciones respiratorias agudas altas (IRA altas) y bajas. Entre las IRA altas se encuentran la faringitis aguda, la otitis media y la rinosinusitis, que se originan por virus respiratorios y por bacterias como *Streptococcus pyogenes* y *Streptococcus pneumoniae*[3]. Estas coexisten con infecciones del tracto respiratorio inferior, entre las cuales la neumonía adquirida en la comunidad, así como las exacerbaciones infecciosas de los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), en quienes las infecciones virales y bacterianas del árbol traqueobronquial constituyen el desencadenante más frecuente[4]. La carga global de estas infecciones es elevada y presenta picos estacionales durante los meses fríos y lluviosos, cuando la combinación de baja temperatura, mayor humedad ambiental y permanencia en espacios cerrados favorece a los virus respiratorios en aerosoles y la transmisión de persona a persona[1].

Para combatirlas la población ambulatoria puede emplear una variedad de antibióticos[5], que adquieren en droguerías y que son recomendados por vendedores para su uso de forma automedicada[6]. En el ámbito ambulatorio, el manejo antibiótico de estas infecciones respiratorias comunitarias en Colombia y otros países latinoamericanos se centra principalmente en betalactámicos orales. Estudios de utilización de medicamentos han mostrado que la amoxicilina, sola o combinada con ácido clavulánico, es el antibiótico más prescrito en atención primaria, seguida de otras penicilinas orales (como dicloxacilina) y cefalosporinas de primera generación como la cefalexina, empleadas de forma rutinaria en infecciones de vías respiratorias superiores y neumonía comunitaria leve[7,8]. Asimismo, en la práctica clínica cotidiana se utilizan con frecuencia macrólidos, sobre todo, azitromicina, como alternativas o fármacos de segunda línea en faringoamigdalitis, sinusitis, otitis media aguda y neumonía adquirida en la comunidad, así como tetraciclinas orales como la doxiciclina para el tratamiento de infecciones del tracto respiratorio inferior, en especial cuando se sospechan patógenos atípicos o existe alergia a penicilinas[9-11]. La prescripción de estos antibióticos muestra, además, un claro comportamiento estacional: se incrementa durante los meses fríos o lluviosos, cuando la combinación de menores temperaturas, mayor humedad relativa y picos de circulación de virus respiratorios se asocia a un aumento de las consultas por infecciones respiratorias y a un mayor uso de antimicrobianos en la comunidad[8,12,13].

Por tanto, su consumo puede también tener un patrón estacional[14-17]. Los antibióticos pueden provocar que los microorganismos desarrollen los cambios genéticos que les otorgan inmunidad, conocidos como resistencia

microbiana[18-20], que es considerada un problema de salud pública mundial[21]. Por esta causa la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera la necesidad de instaurar sistemas de vigilancia del consumo de antibióticos, como estrategia para la contención de la resistencia microbiana[22]. En este sentido, se han realizado diversos estudios para conocer el consumo a través del tiempo[23-25]. También se han hecho investigaciones que evalúan la relación entre el aspectos climatológicos y consumo de antibióticos, con resultados que ratifican su asociación[26,27]. El objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento temporal del consumo de antibióticos y establecer su correlación con aspectos climatológicos para Santiago de Cali.

METODOLOGÍA

Diseño

Este estudio se basa en el consumo de antibióticos mediante la dosis diaria determinada por cada 1.000 habitantes-día (DHD/1.000 habitantes-día), calculada a partir de las ventas de antibióticos en droguerías comunitarias[5]. El estudio se clasifica como ecológico, longitudinal y retrospectivo y, desde la perspectiva farmacoepidemiológica, de uso de medicamentos de "tipo consumo".

Área y población de estudio

Santiago de Cali fue el área de estudio, municipio dividido en 22 comunas urbanas. La población estuvo constituida por las droguerías comunitarias, siendo la unidad de muestreo cada una de ellas y la unidad de análisis, el consumo mensual de antibióticos en cada uno de los 48 meses del periodo de estudio. Para la construcción del marco muestral se pidió a la "Unidad Ejecutora de Saneamiento" (UES) del Valle del Cauca el listado oficial de las droguerías registradas en cada comuna. A partir de este registro se identificaron 697 droguerías en Santiago de Cali, de las cuales 397 cumplían los criterios de selección y podían potencialmente participar en el estudio. Se incluyeron las droguerías que: a) estuvieran inscritas en la UES; b) contaran con registros de ventas de los antibióticos de manera sistemática; c) dispusieran de información mensual continua del periodo de estudio; y d) tuvieran kardex en funcionamiento. En el trabajo de campo se excluyeron las droguerías que no pudieron ser visitadas tras dos intentos (por direcciones inexistentes, establecimientos cerrados o problemas de seguridad o acceso), en las que no se encontró al encargado o que, una vez verificadas, no cumplían los criterios de selección.

El tamaño muestral se obtuvo con Epidat 4.0, tomando como referencia todas las droguerías potencialmente participantes (397), la desviación estándar (DE) del consumo de azitromicina observada en un trabajo previo en la comuna 5 de la ciudad, un error aceptable del 8,5 % con un nivel de confianza del 95 %. Al tamaño obtenido se le aplicó un ajuste por no respuesta del 10 %, obteniéndose un tamaño final de 82 droguerías, que corresponde al 21 % de las droguerías elegibles (82/397). Debido a las limitaciones de acceso y a la exclusión de establecimientos que no cumplían los criterios, el muestreo fue no probabilístico y estuvo condicionado por la disponibilidad real de información en las droguerías seleccionadas.

Recolección y administración de la información

El consumo de antibióticos se determinó a partir de las ventas registradas en las droguerías seleccionadas, usando la metodología de la DHD/1.000 hab-día[28,29]. Se diseñó un formato de recolección para consolidar, en cada droguería, las ventas mensuales de antibióticos; este instrumento fue sometido a una prueba piloto y ajustado antes de su aplicación definitiva.

En cada grupo farmacológico se seleccionaron los antibióticos a analizar con base en dos criterios principales: mayor consumo en un estudio previo llevado a cabo en la comuna 5 de la ciudad y relevancia reportada en estudios de utilización de antimicrobianos en Colombia, América Latina y Europa, así como en la literatura sobre resistencia bacteriana[24,25]. A partir de estas consideraciones se incluyeron los siguientes principios activos: azitromicina, amoxicilina, doxiciclina, cefalexina, cefuroxima, ceftriaxona, cefepima, norfloxacina y, por último, ciprofloxacina. Estos no corresponden a todos los antibióticos dispensados en las droguerías, sino a aquellos que, por su alto volumen de uso ambulatorio y su importancia en el contexto de la resistencia antimicrobiana, fueron seleccionados para este análisis. Para cada uno de los principios activos se consideraron todas las formas farmacéuticas, así como concentraciones y presentaciones comerciales oficialmente registradas en el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). El volumen dispensado de cada presentación se convirtió a dosis diaria definida (DDD) y posteriormente a DHD/1.000 hab-día, consolidando el consumo total por principio activo independientemente de la forma farmacéutica.

Las variables climatológicas consideradas fueron la temperatura promedio en °C, la humedad relativa promedio en %, la precipitación en mm, la visibilidad promedio en km, la velocidad promedio del viento en km/h, la velocidad del viento (máxima sostenida) en km/h, el total

de días de lluvia, el total de días de tormenta y el total de días nublados, todas ellas medidas de forma mensual para el mismo periodo de análisis.

Análisis estadístico

Se llevaron a cabo dos tipos de análisis: a) análisis temporal del consumo de antibióticos, y b) correlación del consumo con variables climatológicas.

Análisis temporal del consumo de antibióticos

Se analizó el consumo mes por mes durante el periodo de la investigación, el consumo ponderado de todos los meses del año y el consumo total del año, para todos los antibióticos y para cada uno de ellos.

Correlación del consumo con variables climatológicas

Al tener en cuenta que la variable dependiente consumo en DHD / 1000 hab-día es continua, se hizo un análisis correlacional buscando identificar su relación con aspectos climatológicos. Se seleccionaron los modelos basados en que en conjunto fuera significativo a $p < 0,05$, con variables independientes que también lo fueran ($p < 0,05$). Para consumos que tuvieron una distribución normal se evaluó el coeficiente de correlación de Pearson, mientras que para los que no eran normales se usó la rho de Spearman. Además, se estimó el coeficiente de determinación (R) para el modelo final, mientras que para cada una de las variables independientes se evaluó el coeficiente de regresión. El total del consumo se relacionó con variables climatológicas del mismo mes (rezago cero), del mes anterior (rezago uno), de dos meses anteriores (rezago dos) y de tres meses anteriores (rezago tres), con el fin de identificar con qué mes de rezago se correlacionan mejor los modelos obtenidos. Para cada modelo de regresión se verificó el cumplimiento de los supuestos básicos: que el número de observaciones fuera suficiente en relación con el número de variables, que los errores tuvieran una distribución aproximadamente normal, la homocedasticidad, que no existiera multicolinealidad y que la relación modelo-datos fuera adecuada (especificación lineal). Estos análisis se realizaron con el *software* Stata versión 14.

Consideraciones éticas

En este trabajo no se actuó sobre individuos, sino que fue realizado con la información de ventas en las droguerías. En el proyecto se tuvo en cuenta la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia y la Declaración de Helsinki; según la primera, la investigación es desde el punto de vista legal, sin riesgo. El proyecto fue aprobado por el Comité Institucional de Revisión de Ética Humana de la Universidad del Valle.

RESULTADOS

Se captó la información de consumo de 82 droguerías, correspondiente a 7312 registros de ventas de nueve antibióticos en los 48 meses de estudio.

Análisis temporal del consumo total y de cada antibiótico

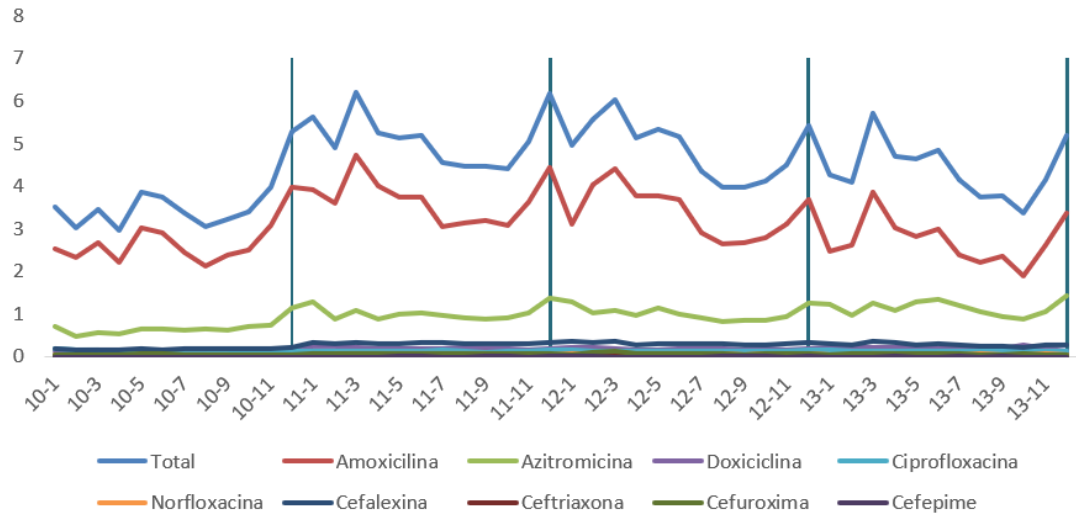
El consumo total de antibióticos estuvo determinado por la amoxicilina, que fue el fármaco de mayor uso durante todo el periodo. Tanto para el total como para la amoxicilina se observó un patrón estacional con dos picos bien definidos: un primer máximo en diciembre y un segundo pico en marzo del año siguiente; en particular, el momento de mayor consumo del periodo fue marzo de 2011 y el de menor, abril de 2010 (Tabla 1, Figura 1).

Tabla 1. Mes de mayor y menor consumo para cada antibiótico y para todos en total, durante el periodo de estudio

Antibiótico	Mes del período de estudio				Mes del año			
	Mayor consumo	DHD/1000 hab-día	Menor consumo	DHD/1000 hab-día	Mayor consumo	DHD/1000 hab-día	Menor consumo	DHD/1000 hab-día
Amoxicilina	mar-11	4,41	oct-13	1,76	diciembre	3,9	agosto	2,5
Azitromicina	dic-13	1,33	feb-10	0,45	diciembre	1,3	septiembre	0,82
Doxiciclina	oct-13	0,25	feb-10	0,09	enero	0,19	noviembre	0,15
Cefalexina	ene-12	0,32	feb-10	0,13	marzo	0,29	octubre	0,23
Cefuroxima	mar-12	0,1	mar-10	0,02	marzo	0,07	septiembre	0,04
Ceftriaxona	jun-12	0,01	dic-13	0	abril	0,01	noviembre	7,00E-03
Cefepima	sep-11	2,00E-03	feb-12	7,00E-05	diciembre	6,00E-04	agosto	3,7 x 10-5

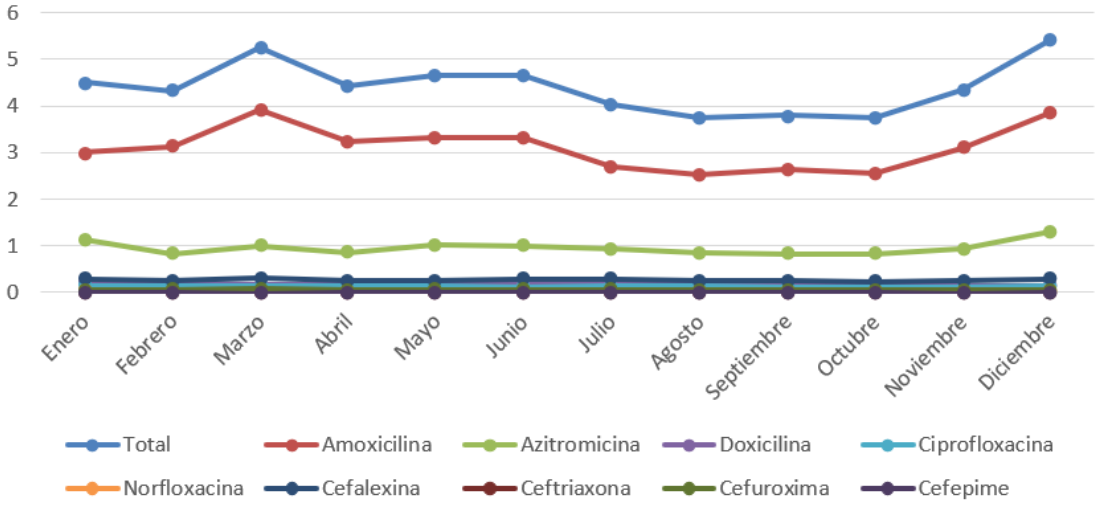
Antibiótico	Mes del período de estudio				Mes del año			
	Mayor consumo	DHD/1000 hab-día	Menor consumo	DHD/1000 hab-día	Mayor consumo	DHD/1000 hab-día	Menor consumo	DHD/1000 hab-día
Norfloxacina	jul-12	0,07	nov-10	0,01	marzo	0,05	octubre	0,04
Ciprofloxacina	ene-10	0,16	sep-11	0,1	enero	0,14	septiembre	0,11
Total	mar-11	6,21	abr-10	2,97	diciembre	5,4	agosto	3,7

Figura 1. Consumo del total y de cada antibiótico, mes por mes durante el periodo del estudio.



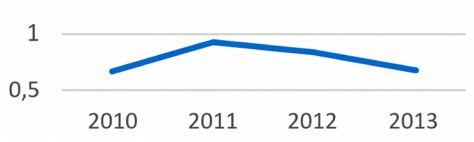
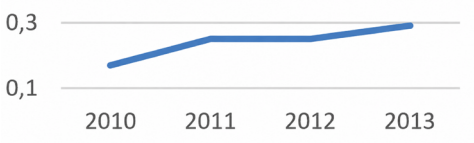
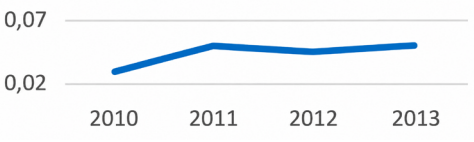
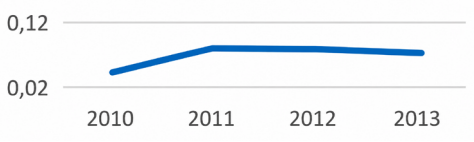
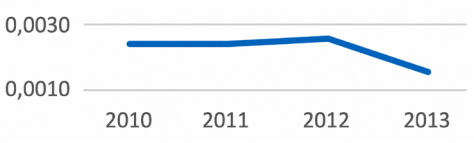
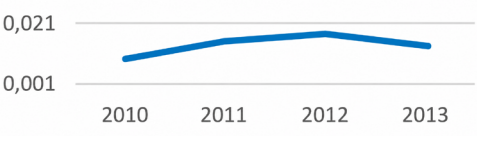
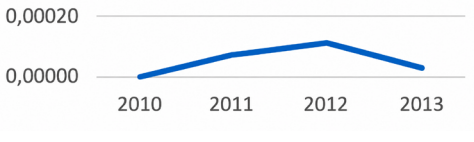
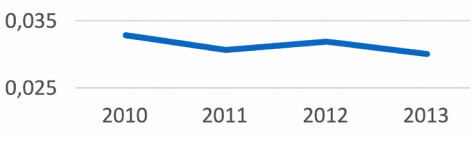
Al analizar el consumo ponderado por mes del año, se identificó un valle de baja utilización entre agosto y octubre, mientras que diciembre concentró el mayor consumo promedio anual del total de antibióticos y de varias moléculas individuales (Tabla 1, Figura 2).

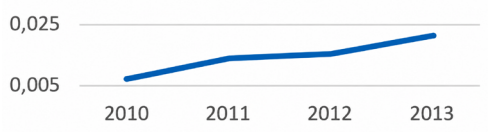
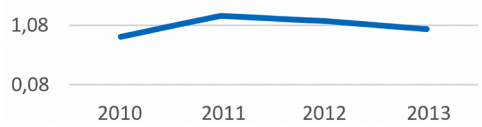
Figura 2. Consumo del total y de cada uno de los antibióticos de cada mes del año.



En términos anuales, 2011 fue el año de mayor consumo total y de amoxicilina, en contraste con 2010, que presentó los valores más bajos para el conjunto de antibióticos y para la mayoría de los principios activos evaluados (Tabla 2). Los valores específicos de consumo mensual y anual para cada antibiótico se presentan de forma detallada en la Tablas 1 y en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo del total y de cada antibiótico de cada año del periodo de estudio

Antibiótico	Consumo en DHD / 1 000 hab-día				
	2010	2011	2012	2013	tendencia
Amoxicilina	0,67	0,92	0,84	0,68	
Azitromicina	0,17	0,25	0,25	0,29	
Doxiciclina	0,028	0,048	0,044	0,048	
Cefalexina	0,042	0,076	0,075	0,069	
Ceftriaxona	0,0024	0,0024	0,0025	0,0016	
Cefuroxima	0,010	0,015	0,017	0,014	
Cefepime	0,00000	0,00006	0,00010	0,00003	
Ciprofloxacina	0,033	0,031	0,032	0,030	

Antibiótico	Consumo en DHD / 1 000 hab-día				
	2010	2011	2012	2013	tendencia
Norfloxacina	0,006	0,012	0,014	0,020	
Total	0,89	1,26	1,19	1,06	

En este estudio se identificó un patrón estacional claro del consumo ambulatorio de antibióticos en Santiago de Cali. La amoxicilina fue el antibiótico de mayor uso en todo el periodo y determinó en gran medida el comportamiento del consumo total. Se observaron dos picos bien definidos: un máximo de consumo en marzo de 2011 y un patrón recurrente de incrementos en los meses de diciembre y marzo, mientras que entre agosto y octubre se identificó un valle de menor utilización. En términos anuales, 2011 fue el año de mayor consumo total y de amoxicilina, en contraste con 2010, que presentó los valores más bajos para el conjunto de antibióticos, lo que confirma la presencia de una marcada variación temporal y estacional en la utilización de estos fármacos en la comunidad.

Correlación del consumo cada antibiótico y para el total de antibióticos, con variables climatológicas

Al producir los modelos de las variables climatológicas con el consumo rezagado, el mejor de ellos resultó ser el de rezago de un mes, dada la significancia de cada una de sus variables y la del modelo ($p < 0,05$), también por su mayor coeficiente ajustado de correlación. Por esto los análisis subsecuentes fueron realizados con datos de variables climatológicas con un mes de rezago. No se generaron modelos para la cefepima ni para ciprofloxacina, porque no fueron estadísticamente significativos o porque, a pesar de serlo, se violaron alguno de los supuestos de homocedasticidad, omisión de variables o multicolinealidad (Tabla 3).

En cuanto a la asociación con las variables climatológicas, los modelos de regresión múltiple mostraron que el mejor ajuste se obtenía cuando el consumo de antibióticos se analizaba con un rezago de un mes respecto a las condiciones meteorológicas. Bajo este enfoque, el consumo total y el de amoxicilina se asociaron de manera inversa con la temperatura media; mientras que el consumo total presentó, además, asociaciones directas con la humedad relativa y con el número de días con niebla. Para antibióticos específicos se identificaron patrones diferenciales: la azitromicina se relacionó positivamente con la humedad y negativamente con los días con niebla; la cefalexina y la ceftriaxona se asociaron con la humedad relativa; la cefuroxima con la visibilidad y los días de lluvia, y la norfloxacina con los días con niebla. Aunque la magnitud de los coeficientes de determinación varió entre antibióticos, los modelos para el consumo total, amoxicilina, azitromicina y cefalexina explicaron una fracción apreciable de la variabilidad observada (R^2 ajustado entre 0,38 y 0,51), lo que sugiere que la variabilidad climática contribuye de forma relevante a moldear los patrones de uso de antibióticos en la ciudad.

DISCUSIÓN

La variación estacional del consumo de antibióticos estudiados en Santiago de Cali es consistente con lo descrito en diversos países, en los que se han documentado incrementos de la prescripción en los meses fríos o de mayor circulación de infecciones respiratorias. Estudios en Corea del Sur y Estados Unidos han mostrado patrones de uso ambulatorio con picos invernales, especialmente para penicilinas y macrólidos como amoxicilina y azitromicina, seguidos de descensos en los meses cálidos[15,17,20,30]. Más recientemente, se ha demostrado que, además de aumentar el volumen global de prescripciones en invierno, también se incrementa la proporción de prescripción inadecuada para infecciones respiratorias agudas, lo que sugiere que la presión asistencial estacional puede favorecer decisiones de uso no siempre ajustadas a la evidencia[12,31]. En ese contexto, nuestros hallazgos de picos de consumo en diciembre y marzo, y acompañados de un valle entre agosto y octubre, insertan a Cali en un

patrón de estacionalidad comparable al descrito en otras latitudes; aunque adaptado a la dinámica climática propia de una ciudad tropical andina.

La asociación entre consumo de antibióticos y variables climatológicas que encontramos también guarda concordancia con análisis ecológicos realizados en países de clima templado. En British Columbia (Canadá), Marra y colaboradores describieron una relación inversa entre temperatura y consumo de penicilinas, así como una asociación directa con la precipitación para ciertos grupos de antibióticos[27]; resultados similares se observaron en Europa, donde la humedad relativa y otros factores ambientales se vincularon con mayores niveles de uso ambulatorio[26]. De manera afín, en nuestro estudio el consumo total y el de amoxicilina se asociaron inversamente con la temperatura media y, en varios casos, de modo directo con la humedad relativa, los días de lluvia y los días con niebla, lo cual refuerza la hipótesis de que la variabilidad climática modula la carga de infecciones respiratorias y la utilización de antibióticos. Esta línea interpretativa se ve respaldada por trabajos que han observado patrones acoplados entre actividad de virus respiratorios, prescripción antibiótica y detección de patógenos bacterianos, con rezagos específicos entre estos fenómenos[13,20,32].

Tabla 3. Modelos de correlación múltiple del consumo de cada antibiótico y el total de ellos con las variables climatológicas

Antibiótico	Variable climatológica significativas	Coeficiente de regresión	Intervalo de confianza 95 %		p	Coeficiente de determinación ajustado	Coeficiente de correlación
			Mínimo	Máximo			
Amoxicilina	"Temperatura media"	-0,600	-0,820	-0,379	0,000	0,381	0,617
Azitromicina	"Humedad"	0,053	0,037	0,068	0,000	0,510	0,714
	"Días con niebla"	-0,053	-0,071	-0,034	0,000		
Doxiciclina	"Visibilidad"	0,043	0,016	0,071	0,002	0,166	0,407
Cefalexina	"Humedad"	0,011	0,006	0,151	0,000	0,418	0,646
	"Días con niebla"	-0,010	-0,016	-0,004	0,002		
	"Visibilidad"	0,053	0,012	0,096	0,013		
Cefuroxima	"Visibilidad"	0,016	0,002	0,029	0,022	0,089	0,299
	"Días que llovió"	0,001	0,000	0,002	0,042		
Ceftriaxona	"Humedad"	-3,E-04	-5,E-04	-9,E-05	0,004	0,250	0,499
	"Días con niebla"	5,E-04	2,E-04	7,E-04	0,000		
Norfloxacina	"Días con niebla"	-0,002	-0,003	-0,001	0,004	0,153	0,391
Total	"Temperatura media"	-0,542	-1,030	-0,053	0,030	0,459	0,677
	"Humedad"	0,106	0,001	0,212	0,049		
	"Días con niebla"	-0,114	-0,193	-0,035	0,006		

Nuestros resultados se alinean con los datos de vigilancia internacional del consumo de antimicrobianos. El informe de la OMS sobre consumo de antibióticos en 65 países mostró que amoxicilina figura entre los fármacos más utilizados en el ámbito comunitario, y destacó la heterogeneidad en los niveles de DDD/1.000 habitantes-día entre países[22]. De igual forma, los proyectos europeos ESAC/ESAC-Net han consolidado la metodología ATC/DDD y los indicadores de consumo, lo que permite comparaciones entre regiones y evidencia algunas variaciones geográficas sustanciales[29]. En América Latina y el Caribe, análisis recientes han documentado niveles diversos de consumo nacional y problemas relacionados con el uso de cefalosporinas de tercera generación y macrólidos[8]. En este contexto, la estimación del consumo de nuestro estudio, contribuye a llenar un vacío de información en la región y proporciona una base local que es comparable con la vigilancia internacional.

En el plano nacional, nuestros hallazgos son coherentes con estudios de utilización de antibióticos en Colombia, que han mostrado que las penicilinas, en particular la amoxicilina, constituyen el grupo de mayor consumo ambulatorio, seguidas de cefalosporinas y fluoroquinolonas[7]. La alta participación de azitromicina que se observó también se corresponde con reportes nacionales que señalan un uso importante de macrólidos en infecciones respiratorias agudas, con una proporción relevante de prescripciones en escenarios en los que la necesidad de antibióticos no siempre está justificada[1,2]. Además, investigaciones realizadas en droguerías de Cali han documentado la recomendación frecuente de amoxicilina por parte de vendedores con formación limitada en farmacia y la dispensación sin fórmula médica, lo que puede contribuir a los consumos observados y a un uso potencialmente inapropiado[33].

Los patrones observados en este estudio son coherentes con un conjunto de mecanismos biológicos y conductuales que vinculan la variabilidad climática, la circulación de virus respiratorios y el aumento del consumo de antibióticos. Desde el punto de vista virológico, se ha descrito que la temperatura y la humedad influyen en la estabilidad de los virus respiratorios en el ambiente, en su capacidad de transmisión y en la respuesta inmune del hospedero, lo cual genera picos estacionales de infección en determinadas épocas del año[1,13]. En regiones templadas esto se traduce en epidemias invernales de influenza y otros virus; mientras que en contextos tropicales, como el de Santiago de Cali, la mayor circulación tiende a coincidir con periodos de alta humedad y precipitación, más que con descensos de la temperatura[2,34].

Un incremento de la actividad de virus respiratorios se traduce en mayor carga de enfermedad, sobre todo en infecciones respiratorias agudas altas y bajas, que constituyen un motivo frecuente de consulta y de prescripción de antibióticos, aun cuando una proporción importante de estos cuadros es de etiología viral. Algunos estudios han mostrado correlaciones entre la actividad de virus respiratorios y el uso ambulatorio de antibióticos, sobre todo penicilinas y macrólidos[13,20]. En escenarios específicos, como las exacerbaciones agudas de la EPOC, las infecciones respiratorias virales y bacterianas son el principal desencadenante de episodios graves que requieren hospitalización, e incluso, ingreso a unidades de cuidados intensivos[4,10]. Es razonable suponer que en Cali, durante los meses con mayor humedad, lluvias y niebla, se produzca un aumento de infecciones respiratorias de diversa gravedad que, a su vez, conduzca a una mayor demanda de atención y al incremento en la prescripción y dispensación de antibióticos observado en este estudio.

A estos factores biológicos se suman los cambios en el comportamiento social relacionados con las condiciones climáticas. En periodos de lluvias intensas, humedad elevada y presencia frecuente de niebla, la movilidad puede disminuir y las personas tienden a permanecer más tiempo en espacios cerrados (hogares, centros educativos, lugares de trabajo y transporte público), lo cual aumenta la densidad de ocupación y la proximidad física[2,34]. Este patrón favorece la transmisión de infecciones de vía aérea, lo que podría explicar los picos de infección respiratoria aguda descritos en el boletín epidemiológico de la Secretaría de Salud de Santiago de Cali, que muestran un comportamiento similar al patrón de consumo de amoxicilina para los años analizados[35]. En este contexto, la combinación de mayor transmisibilidad viral y mayor contacto en espacios cerrados proporciona un marco plausible para entender por qué los meses con condiciones meteorológicas específicas, y con un ligero rezago temporal, se asocian con aumentos del consumo de antibióticos.

El hecho de que en nuestros modelos la mejor asociación se observe con un rezago de un mes respecto a las variables climatológicas es consistente con la secuencia temporal esperable entre clima, transmisión de infecciones y utilización de antibióticos. Algunos estudios efectuados en otros países han documentado que los cambios en el uso de antimicrobianos se correlacionan con variaciones en la resistencia con desfases del orden de semanas a meses[32], y que la actividad de virus respiratorios se acompaña de aumentos ligeramente retrasados en la prescripción antibiótica[13,14]. De manera análoga, en nuestro estudio es de remarcar que las condiciones climáticas de un mes determinado favorezcan la aparición de brotes o incrementos de infecciones respiratorias en las semanas siguientes, lo que se traduce en un aumento del consumo de antibióticos al mes siguiente. Este conjunto de mecanismos biológicos y conductuales sugiere que el clima actúa como modulador indirecto del uso de antibióticos mediante su influencia sobre la transmisión

de infecciones respiratorias y sobre los patrones de interacción social de la población.

El presente trabajo tiene implicaciones para la formulación de políticas locales de utilización racional de antibióticos y para las estrategias de contención de la resistencia antimicrobiana. La identificación de un patrón estacional bien definido proporciona una base empírica para focalizar intervenciones en los momentos del año en los que la presión de selección es mayor. En lugar de aplicar acciones uniformes durante todo el año, las autoridades sanitarias locales podrían planear campañas intensivas de educación a la comunidad, refuerzo de la prescripción prudente y auditoría de la dispensación en droguerías en los meses previos y durante estos picos.

Desde la perspectiva de la resistencia, múltiples estudios han demostrado que el consumo comunitario se asocia, con rezagos de semanas o pocos meses, con incrementos en la resistencia bacteriana en la comunidad y en el ámbito hospitalario[32,36]. Además, algunos análisis ecológicos en Europa han encontrado que las temperaturas ambientales más altas se relacionan con mayores tasas de incremento de resistencia en patógenos como *Escherichia coli* y Klebsiella pneumoniae[37]. En un contexto de cambio climático, en el que se proyectan modificaciones en los patrones de temperatura, precipitación y eventos extremos, este acoplamiento clima–consumo–resistencia muestra la necesidad de integrar la vigilancia del uso de antimicrobianos en las estrategias nacionales y locales de adaptación al cambio climático y de control de las enfermedades transmisibles[2,34].

En política de uso racional, nuestros resultados respaldan la importancia de fortalecer los programas de optimización de antimicrobianos en el primer nivel de atención y en el ámbito comunitario. Algunas experiencias en otros países muestran que las intervenciones multifacéticas pueden mejorar la selección del antibiótico, aunque no siempre logren reducir infecciones respiratorias tratadas con estos fármacos[10,38]. Así mismo, algunos estudios poblacionales han documentado que una fracción de las prescripciones para infecciones respiratorias agudas es inapropiada, y que esta aumenta en los meses de mayor demanda asistencial[12,31]. En Colombia, se ha observado un uso extendido de antibióticos en infecciones respiratorias virales y una elevada prescripción de macrólidos en escenarios en los que la necesidad antibiótica no siempre está claramente sustentada[9,11]. Esta evidencia refuerza la necesidad de que las políticas locales no se limiten a reducir volúmenes, sino que también aborden la idoneidad de la prescripción, incorporando indicadores de calidad por grupo farmacológico y diagnóstico clínico[39].

El rol de las droguerías comunitarias es relevante en el contexto de Santiago de Cali. Investigaciones locales sugieren que las estrategias de política deben incluir, además del componente clínico, acciones orientadas a la regulación y supervisión de la dispensación en establecimientos farmacéuticos, la cualificación del personal de droguerías y campañas educativas dirigidas a la población para desincentivar la demanda de antibióticos sin indicación médica[5]. En este sentido, la identificación de meses de alta demanda puede ayudar a priorizar inspecciones, actividades de capacitación y mensajes de comunicación riesgo-beneficio cuando la probabilidad de uso inapropiado es mayor.

La evidencia emergente sugiere, además, la existencia de umbrales críticos de consumo a partir de los cuales las tasas de resistencia aumentan de manera más acelerada, lo que plantea la posibilidad de definir metas cuantitativas de uso "seguro" adaptadas a cada contexto[36]. Dado que la dinámica de la resistencia está influida también por factores socioeconómicos, la organización del sistema de salud y la automedicación, cualquier política local de uso racional deberá considerar estos determinantes estructurales y abordar la resistencia antimicrobiana como un sistema complejo en el que el clima, el consumo, las condiciones sociales y la regulación farmacéutica interactúan de manera simultánea[26,40].

La presente investigación tuvo algunas limitaciones que deben considerarse al momento de interpretar los hallazgos. En primer lugar, el diseño ecológico y el uso de datos agregados de consumo, derivados de ventas de droguerías impiden establecer relaciones causales a nivel individual y esto lo hace susceptible a la falacia ecológica; no es posible conocer ni la indicación clínica, ni la adecuación de la prescripción, ni las características de los pacientes. Datos de consumo agregados han sido recomendados como punto de partida para la vigilancia de antimicrobianos; pero se reconoce que solo permiten aproximar la exposición poblacional y no informan sobre cómo se usan los antibióticos a nivel del paciente[22].

En segundo lugar, la estimación del consumo mediante la metodología de la dosis diaria definida asume que todo lo dispensado se consume y que la DDD refleja la dosis promedio en adultos para la indicación principal, lo que puede no corresponder exactamente con los esquemas de utilización en la práctica real. Sin embargo, hay que considerar que esta es una metodología internacionalmente estandarizada, por lo tanto, permite la comparación en diversas regiones del mundo, pese a estas limitaciones[3].

En tercer lugar, la muestra de droguerías no fue completamente probabilística, pues dependió de la disponibilidad de registros electrónicos completos y de condiciones de acceso y seguridad en terreno. Esto puede inducir un sesgo de selección y limitar la extrapolación estricta de los resultados a la totalidad de las droguerías del municipio; no obstante, la cobertura lograda es relevante para describir tendencias poblacionales. Asimismo, el análisis se restringió a un subconjunto de antibióticos sistémicos frecuentemente utilizados, por lo que no se capturó el

patrón completo de exposición antimicrobiana en la comunidad. Estas restricciones sugieren interpretar los resultados como una línea de base histórica para la ciudad.

En cuanto a futuras líneas de investigación, sería deseable incorporar otros grupos antibióticos, e integrar fuentes clínicas que vinculen el consumo con diagnósticos, severidad y desenlaces en salud. Además, futuras investigaciones podrían combinar el consumo con indicadores socioeconómicos y de organización del sistema de salud para desentrañar los determinantes contextuales del uso de antibióticos[4-6]. Los hallazgos de estacionalidad y de asociación con condiciones climáticas en Santiago de Cali ofrecen una base empírica para diseñar y evaluar intervenciones de optimización de la prescripción en periodos de alto consumo, integrando indicadores de calidad y estrategias de educación al prescriptor y a la comunidad como las propuestas en experiencias internacionales[38,39].

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflictos de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece muy especialmente a la Unidad Ejecutora de Saneamiento del Valle por suministrar la información de las droguerías.

REFERENCIAS

1. Moriyama M, Hugentobler WJ, Iwasaki A. Seasonality of respiratory viral infections. Annual Review of Virology. 2020;7:83-101.
2. Cuartas DE, Méndez F. Cambio climático y salud: retos para Colombia. Revista de la Universidad Industrial de Santander Salud. 2016;48(4):428-435.
3. Tobin EH, Thomas M, Bomar PA. Upper respiratory tract infections with focus on the common cold. StatPearls. 2025. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532961/
4. Abi Abdallah G, Diop S, Jamme M, Legriel S, Ferré A. Respiratory infection triggering severe acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. 2024;19:555-565.
5. Castro-Espinosa J, Molineros-Gallón LF. Consumo de antibióticos a partir de las ventas en droguerías en Santiago de Cali, Colombia. Revista Cubana de Farmacia. 2016;50(1):68-84.
6. Castro Espinosa J, Arboleda-Geovo JF, Samboni-Novoa PA. Prevalencia y determinantes de automedicación con antibióticos en una comuna de Santiago de Cali, Colombia. Revista Cubana de Farmacia. 2014;48(1):43-54.
7. Machado-Alba JE,VRLF,GMA,MDME,&FA. Patterns of Antibiotic Prescription in Colombia: Are There Differences between Capital Cities and Municipalities? Antibiotics. 2020;9(7):389.
8. Marin GH, Giangreco L, Lichtenberger P, Dorati C, Mordujovich P, Rojas-Cortés R, *et al*. National antimicrobial consumption in Latin America and the Caribbean: Measurements and results from 2019–2022. Antibiotics. 2025;14:240.
9. Machado-Duque ME, García DA, Emura-Vélez MH, Gaviria-Mendoza A, Giraldo-Giraldo C, Machado-Alba JE. Antibiotic prescriptions for respiratory tract viral infections in the Colombian population. Antibiotics. 2021;10:864.
10. Metlay J, Waterer G, Long A, Anzueto A, Brozek J, Crothers K, *et al*. Diagnosis and treatment of adults with community-acquired pneumonia. An official clinical practice guideline of the American Thoracic Society and Infectious Diseases Society of America. Am J Respir Crit Care Med. 2019;200(7):e45-e67.
11. Valladales-Restrepo LF, Hoyos-Guapacha MA, Hoyos-Guapacha KL, Gaviria-Mendoza A, Machado-Duque ME, Machado-Alba JE. Indicación y prescripción de macrólidos en una población colombiana. Biomedica. 2022;42:302-314.
12. Serletti L, Dutcher L, Degnan KO, Szymczak JE, Cluzet V, David MZ, *et al*. Analysis of seasonal variation of antibiotic prescribing for respiratory tract diagnoses in primary care practices. Antimicrob Steward Healthc Epidemiol. 2023;3(1):e147.
13. Choe YJ, Smit MA, Mermel LA. Seasonality of respiratory viruses and bacterial pathogens. Antimicrobial Resistance & Infection Control. 2019;8(125):1-6.
14. Ryu S, Kim S, Kim BI, Klein EY, Yoon YK, Chun BC. Temporal relationship between antibiotic use and respiratory virus activities in the Republic of Korea: a time-series analysis. Antimicrobial Resistance and Infection Control. 2018:7:56.
15. Sohn HS, Oh OH, Kwon JW, Lee YS. Higher systemic antibiotic consumption in a population of South Korea (2008 – 2009). International Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics. 2013;51(7):585-592.

16. Wushouer H, Tian Y, Guan XD, Han S, Shi LW. Trends and patterns of antibiotic consumption in China's tertiary hospitals: Based on a 5-year surveillance with sales records, 2011-2015. Plos One. 2017;12:e0190314.
17. Durkin MJ, Jafarzadeh SR, Hsueh K, Sallah YH, Munshi KD, Henderson RR, *et al*. Outpatient antibiotic prescription trends in the United States: A national cohort study. Infect Control Hosp Epidemiol. 2018;39(5):584-589.
18. Landecker H. Antibiotic resistance. Body & Society. 2016;22(4):19-52.
19. Bell BG, Schellevis F, Stobberingh E, Goossens H, Pringle M. A systematic review and meta-analysis of the effects of antibiotic consumption on antibiotic resistance. Infectious Diseases. 2014;14(13):1-25.
20. Ryu S, Klein EY, Chun BC. Temporal association between antibiotic use and resistance in Klebsiella pneumoniae at a tertiary care hospital. Antimicrob Resist Infect Control. 2018:7:83.
21. Tanwar J, Das S, Fatima Z, Hameed S. Multidrug resistance: An emerging crisis. Interdiscip Perspect Infect Dis. 2014:2014:541340.
22. WHO. WHO Report on Surveillance of Antibiotic Consumption. 2016-2018 Early implementation. Geneva. 2018.
23. Frenk SM, Kit BK, Lukacs SL, Hicks LA, Gu Q. Trends in the use of prescription antibiotics: NHANES 1999–2012. J Antimicrob Chemother. 2016;71:251–256.
24. Farooqui H, Selvaraj S, Mehta A, Heymann D. Communitylevel antibiotic utilization in India and its comparison vis-à-vis European countries: Evidence from pharmaceutical sales data. Plos One. 2018;13(10):e0204805.
25. Robertson J, Iwamoto K, Hoxha I, Ghazaryan L, Abilova V, Cvijanovic A, *et al*. Antimicrobial medicines consumption in Eastern Europe and Central Asia-An updated cross-national study and assessment of quantitative metrics for policy action. Front. Pharmacol. 2019:9:1156.
26. Blommaert A, Marais C, Hens N, Coenen S, Muller A, Goossens H, *et al*. Determinants of between-country differences in ambulatory antibiotic use and antibiotic resistance in Europe: A longitudinal observational study. J Antimicrob Chemother. 2014;69:535–547.
27. Marra F, Mak S, Chong M, Patrick D. The relationship among antibiotic consumption, socioeconomic factors and climatic conditions. Can J Infect Dis Med Microbiol. 2010;21(3):e99-e106.
28. WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology. Guidelines for ATC classification and DDD assignment. Oslo. 2011.
29. Vander Stichele RH, Elseviers MM, Ferech M, Blot S, Goossens H, Group tEP. European Surveillance of Antimicrobial Consumption (ESAC): Data collection performance and methodological approach. Br J Clin Pharmacol. 2004;58(4):419-428.
30. Suda KJ, Hicks LA, Roberts RM, Hunkler RJ, Taylor TH. Trends and seasonal variation in outpatient antibiotic prescription rates in the United States, 2006 to 2010. Antimicrobial Agents and Chemotherapy. 2014;58(5):2763-2766.
31. Fleming-Dutra K, Hersh AL, Shapiro DJ, Bartoces M, Enns E, FileJr T, *et al*. Prevalence of inappropriate antibiotic prescriptions among US ambulatory care visits, 2010-2011. JAMA. 2016; 315q(17):1864-1873.
32. Sun L, Klein EY, Laxminarayan R. Seasonality and temporal correlation between community antibiotic use and resistance in the United States. Clinical Infectious Diseases. 2012;55(5):687–94.
33. Castro-Espinosa J, Molineros LF. Cualificación y experiencia de los vendedores de droguería para la dispensación de amoxicilina en una comuna de Santiago de Cali, Colombia. Rev Colomb Cienc Quím Farm 2018;47(1):53-70.
34. Lindgren E, Ebi KL, Johannesson M. Climate change and communicable diseases in the EU member states. Handbook for national vulnerability, impact and adaptation assessments. 2010.
35. Secretaría de Salud Pública Municipal. Grupo de Salud Pública y Epidemiologia. Boletin Epidemiologico. Santiago de Cali 2011-2012. 2013.
36. López-Lozano J, Lawes T, Nebot C, Beyaert A, Bertrand X, Hocquet D, *et al*. A nonlinear time-series analysis approach to identify thresholds in associations between population antibiotic use and rates of resistance. Nat Microbiol. 2019;4(7):1160-1172.
37. McGough SF, MacFadden DR, Hattab MW, Mølbak K, Santillana M. Rates of increase of antibiotic resistance and ambient temperature in Europe: A cross-national analysis of 28 countries between 2000 and 2016. Euro Surveill. 2020;25(45):1900414.
38. Hurlimann D, Limacher A, Schabel M, Zanetti G, Berger C, Muhlemann K, *et al*. Improvement of antibiotic prescription in outpatient care: A cluster-randomized intervention study using a sentinel surveillance network of physicians. J Antimicrob Chemother. 2015;70:602–608.
39. Van Dervelden AW, Roukens M, Van de Garde E, Lourens M. Usefulness of quality indicators for antibiotic use: Case study for the Netherlands. International Journal for Quality in Health Care. 2016;28(6):838–842.
40. Malik B, Bhattacharyya S. Antibiotic drug-resistance as a complex system driven by socioeconomic growth and antibiotic misuse. Scientific Reports. 2019;9:9788.