

Aplicación del análisis de componentes principales como técnica para obtener índices sintéticos de calidad ambiental

Application of principal component analysis as a technique to obtain synthetic indices of environmental quality

YENGLER RUIZ, Carlos¹

RESUMEN

El propósito del estudio fue validar la aplicación del análisis estadístico multivariante, específicamente, el análisis de componentes principales, para transformar un conjunto de indicadores simples de calidad ambiental a un nuevo conjunto de indicadores compuestos incorrelacionados o componentes. El diseño de investigación aplicado fue cuantitativo, no experimental, transversal, correlacional y la técnica de recolección de datos fue el análisis documental, utilizando el Anuario de Estadísticas Ambientales 2010 publicado por el INEI como fuente de información de diez indicadores ambientales. El procesamiento y análisis de los datos realizado, utilizando el software SPSS, permitió obtener la matriz de correlaciones, las componentes principales y la matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones en las componentes. Se obtuvieron tres componentes principales, la primera agrupó cinco indicadores referidos a calidad de vida en el hogar, la segunda agrupó a dos indicadores referidos a la temperatura ambiental y la tercera agrupó a tres indicadores de calidad ambiental fuera de la vivienda. El valor y tipo de correlación entre los indicadores de cada componente es coherente con la naturaleza o clase de éstas. Finalmente, mediante el programa Excel se calculó un índice sintético parcial para el departamento de La Libertad.

Palabras Clave: Análisis de componentes principales, indicadores de calidad ambiental, índices sintéticos.

ABSTRACT

The purpose of this study was to validate the application of the multivariate statistical analysis, specifically, the principal components analysis, to transform a set of simple indicators of environmental quality to a new set of incorrelacionados composite indicators or components. Applied design research was quantitative, not experimental, cross-sectional, correlation and data collection technique was the documentary analysis, using environmental statistics 2010 Yearbook published by the INEI as a source of information on ten environmental indicators. Processing and analysis of data, using the SPSS software, allowed to obtain the matrix of correlations, the principal components and the matrix of coefficients for the calculation of the scores in the components. Three main components were obtained, the first grouped five indicators relating to quality of life in the home, the second grouped two indicators referring to the environmental temperature and the third grouped three indicators of environmental quality out of the housing. The value and type of correlation between indicators for each component is consistent with the nature or class of these. Finally, using the program Excel was calculated a partially synthetic index for the Department of La Libertad.

Key words: Principal Component Analysis, indicators of environmental quality, synthetic indexes.

¹Maestría en Ciencias con mención en Estadística, Profesor de la Dirección de Investigación de la Universidad César Vallejo de Trujillo, Perú. cyengler@ucv.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El análisis estadístico multivariante se ha convertido en una poderosa herramienta para la investigación científica debido a que permite analizar conjuntamente un número grande de variables lo cual sería muy difícil y menos preciso realizarse de otra manera. Con frecuencia, en la investigación científica, no se pueden medir directamente algunas variables conceptuales o abstractas y se hace necesario medirlas indirectamente lo mas aproximadamente posible a través de un conjunto de indicadores. Asimismo, en la gestión de los sistemas administrativos medianamente complejos, generalmente se miden indicadores simples con el propósito de construir índices sintéticos que permitan monitorear y analizar el comportamiento de variables o fenómenos de interés. Uno de estos sistemas podría ser el de la calidad ambiental de espacios geográficos como países, regiones, departamentos o ciudades. El propósito del estudio ha sido validar la aplicación del ACP, como técnica de agrupación de indicadores de calidad ambiental departamentales interrelacionados y para la elaboración de índices sintéticos de calidad ambiental, tomando como base un conjunto parcial de indicadores para los que se tiene información confiable. Se trata de responder la pregunta: ¿el análisis de componentes principales (ACP), se puede considerar un método válido de agrupación de indicadores ambientales simples para luego obtener índices sintéticos de calidad ambiental? Los indicadores simples de calidad ambiental utilizados como punto de partida en este estudio constituyen una parte de los utilizados, generalmente, para hallar índices sintéticos a nivel internacional, sin embargo en nuestro país, para gran parte de estos indicadores no se tiene información o, en todo, caso no se encuentra disponible. Este es el motivo por el que en la presente investigación sólo se han utilizado únicamente diez indicadores, para los que se tiene información confiable. Con el ACP, lo que en realidad se está intentando hacer es descubrir la verdadera dimensionalidad de los datos y cuando se determina ésta y es menor que p dimensiones, las p variables originales se pueden remplazar por un número menor de variables subyacentes, sin que se pierda información. Hay una fuerte tendencia entre los investigadores a dar significado a las variables componentes principales recién creadas. Si las interpretaciones son obvias, entonces se debe seguir adelante y usarlas. Esos pocos casos en donde a las componentes principales se les puede dar una interpretación pueden considerarse como un premio, porque lo común es no esperar que se puedan interpretar las variables componentes principales. En realidad es importante recordar que un análisis de componentes principales es muy útil sin importar si se pueden interpretar esas componentes¹ En muchas ocasiones el investigador se enfrenta a situaciones en las que, para analizar un fenómeno, dispone de información de muchas variables que están correlacionadas entre sí en mayor o menor grado. El análisis de componentes principales permite pasar a un nuevo conjunto de

variables – las componentes principales -- que gozan de la ventaja de estar incorrelacionadas entre sí y que, además, pueden ordenarse de acuerdo con la información que llevan incorporada². La metodología de los Componentes Principales busca unas pocas combinaciones lineales de las variables observables, que puedan utilizarse para resumir los datos, perdiendo la menor cantidad de información posible; es decir, que expliquen las diferencias entre los individuos, casi con la misma efectividad que toda la base de datos, y sean no correlacionadas, para no reiterar información. Tales combinaciones lineales se denominan Componentes Principales³ El método presupone que no hay factores comunes y, por lo tanto, lo que interesa es simplificar la estructura de los datos, transformando las variables en unas pocas componentes principales, que serán combinaciones lineales de las variables, comprobando así, cual es la estructura de dependencia y correlación que existe entre las variables y que explican la mayor parte de la información que contienen dichas variables⁴. Con respecto al número de componentes que se deben retener, existen varios criterios. Uno de éstos es el de la media aritmética, que plantea seleccionar aquellas componentes cuya raíz característica excedan la media de las raíces características. Cuando las variables están tipificadas, se seleccionan aquellas componentes que tienen raíz característica mayor que 1. También es frecuente utilizar, el gráfico de sedimentación (screenplot), que se obtiene al representar en ordenadas las raíces características y en abscisas el número de la componente en orden decreciente. Uniendo todos los puntos se obtiene una figura poligonal descendente con una pendiente fuerte hasta llegar a un punto en que produce una ligera inclinación o zona de sedimentación. De acuerdo con este criterio, se retienen todas aquellas componentes previas a la zona de sedimentación. Otra etapa importante en el proceso de aplicación del ACP es la rotación de factores. Se recomienda utilizar la rotación de factores o componentes con el propósito de lograr una mayor contribución, de los factores, a la explicación del fenómeno que se estudia. Se analiza la rotación de éstos, que puede ser ortogonal o diagonal². Con respecto a la rotación de factores, ésta pretende seleccionar la solución más sencilla e interpretable. Consiste en hacer girar los ejes de coordenadas que representan a los factores hasta conseguir que se aproximen al máximo a las variables en que están saturados. La rotación de factores en el espacio transforma la matriz factorial inicial en otra, denominada matriz factorial rotada, de más fácil interpretación. La matriz factorial rotada es una combinación lineal de la primera y explica la misma cantidad de varianza inicial⁵. El índice sintético de calidad ambiental, se obtuvo promediando las puntuaciones de cada componente principal, ponderados por la raíz cuadrada de la varianza de cada componente. La matriz de puntuaciones se obtuvo como parte del ACP usando el programa SPSS^{6,7}.

MÉTODOS

Se trata de una investigación cuantitativa, no experimental, transversal y correlacional, en la que se aplicó el método de análisis de componentes principales y, específicamente, el análisis correlacional de las variables o indicadores ambientales simples. Como parte del método se aplicó el contraste de esfericidad de Barlett para probar que las últimas raíces características que no corresponde a las componentes principales son no significativas. Mediante el ACP se trata de hallar un conjunto de combinaciones lineales de los indicadores con el propósito de simplificar la estructura de los datos, en componentes principales. Éstas deben explicar la mayor parte de la información que contienen dichos indicadores y debe estar incorrelacionadas, para no repetir información. El ACP tiene su fundamento teórico en el análisis estadístico multivariante con énfasis en las matrices de correlaciones y matrices de varianzas-covarianzas y matemáticamente en el álgebra matricial de formas características

cuadráticas, eigenvalores o raíces características y eigenvectores o vectores, asimismo, en el método langrangiano para maximizar varianzas.

La técnica de recolección de datos fue el análisis documental, obteniéndose datos del INEI y del MINAM sobre los indicadores analizados para todos los departamentos de nuestro país. Los indicadores ambientales se seleccionaron teniendo en cuenta que, para ellos, existieran datos para todos los departamentos. Por este motivo, algunos indicadores ambientales importantes no fueron considerados para el análisis. Los datos se registraron en una matriz que tuvo por filas los departamentos y por columnas los indicadores ambientales simples. A partir de esta matriz y utilizando el paquete estadístico SPSS⁽⁹⁾, se realizó el procesamiento y análisis de los indicadores para agruparlos en componentes principales. Finalmente, aplicando el programa Excel se calcularon los índices sintéticos de calidad ambiental.

RESULTADOS

Tabla 1. Matriz de correlaciones

	% población con acceso a servicios de saneamiento mejorados	% población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua	% de población en hogares que usa carbón o leña para preparar sus alimentos	Proporción de población urbana que vive en tugurios	% Hogares con red pública de agua.	Temperatura promedio anual máxima	Temperatura promedio anual mínima	Usuarios de fuentes de radiación ionizantes	Municipios que informaron destino de basura *	Áreas verdes urbanas
% población con acceso a servicios de saneamiento mejorados	1	,499(*) 0.013	-,505(*) 0.012	-,767(**) 0.000	,499(*) 0.013	-0.264 0.213	-0.200 0.349	0.316 0.132	0.371 0.075	0.331 0.114
% población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua	,499(*) 0.013	1	-0.387 0.062	-,578(**) 0.003	,997(**) 0.000	0.239 0.261	0.168 0.431	0.263 0.214	0.045 0.836	0.282 0.183
% de población en hogares que usa carbón o leña para preparar sus alimentos	-,505(*) 0.012	-0.387 0.062	1	,489(*) 0.015	-0.369 0.076	0.325 0.121	0.332 0.113	-0.225 0.291	-0.387 0.061	-0.228 0.284
Proporción de población urbana que vive en tugurios	-,767(**) 0.000	-,578(**) 0.003	,489(*) 0.015	1	-,579(**) 0.003	0.101 0.639	0.047 0.827	-0.372 0.073	-0.202 0.344	-0.403 0.051
% Hogares con red pública de agua.	,499(*) 0.013	,997(**) 0.000	-0.369 0.076	-,579(**) 0.003	1	0.251 0.237	0.184 0.389	0.271 0.201	0.048 0.823	0.290 0.169
Temperatura promedio anual máxima	-0.264 0.213	0.239 0.261	0.325 0.121	0.101 0.639	0.251 0.237	1	,859(**) 0.000	-0.097 0.652	-,468(*) 0.021	-0.095 0.657
Temperatura promedio anual mínima	-0.200 0.349	0.168 0.431	0.332 0.113	0.047 0.827	0.184 0.389	,859(**) 0.000	1	0.149 0.488	-,451(*) 0.027	0.149 0.486
Usuarios de fuentes de radiación ionizantes	0.316 0.132	0.263 0.214	-0.225 0.291	-0.372 0.073	0.271 0.201	-0.097 0.652	0.149 0.488	1	,505(*) 0.012	,993(**) 0.000
Municipios que informaron destino de basura *	0.371 0.075	0.045 0.836	-0.387 0.061	-0.202 0.344	0.048 0.823	-,468(*) 0.021	-,451(*) 0.027	,505(*) 0.012	1	,533(**) 0.007
Áreas verdes urbanas	0.331 0.114	0.282 0.183	-0.228 0.284	-0.403 0.051	0.290 0.169	-0.095 0.657	0.149 0.486	,993(**) 0.000	,533(**) 0.007	1

En las casillas de la matriz se observan 14 correlaciones significativas o muy significativas y otras 6 aproximadamente significativas. La presencia de éstas permite iniciar la búsqueda de componentes que van a contener variables inter relacionadas.

Tabla 2. Análisis de componentes principales:

	Media	Desviación típica
% población con acceso a servicios de saneamiento mejorados	66,7000	16,19783
% población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua	67,9833	18,08732
% de población en hogares que usa carbón o leña para preparar sus alimentos	19,9917	19,25858
Proporción de población urbana que vive en tugurios	61,9625	16,71895
% Hogares con red pública de agua.	68,1667	17,23918
Temperatura promedio anual máxima	24,3083	5,47214
Temperatura promedio anual mínima	12,6583	6,90469
Usuarios de fuentes de radiac ionizantes	456,17	1576,56287
Municipios que informaron destino de basura	64,9167	39,83981
Areas verdes urbanas	2E+006	4506275,98

Debido a la gran heterogeneidad de los datos, también se obtienen dispersiones muy heterogéneas. Esta es la razón por lo que en el ACP se estandarizan los datos.

Tabla 3. Matriz de correlaciones

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		.579
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	280.901
	gl	45
	Sig.	.000

La prueba de esfericidad de Bartlett considera como hipótesis nula :

$$H_0 : \lambda_{m+1} + \lambda_{m+2} + \dots + \lambda_p = 0$$

Es decir que las raíces características no retenidas son iguales a cero. Por los resultados de la prueba obtenida, H_0 se rechaza, es decir se puede decir que una o más de las raíces no retenidas es significativa.

Tabla 4. Comunalidades

	Inicial	Extracción
% población con acceso a servicios de saneamiento mejorados	1.000	.712
% población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua	1.000	.883
% de población en hogares que usa carbón o leña para preparar sus alimentos	1.000	.592
Proporción de población urbana que vive en tugurios	1.000	.712
% Hogares con red pública de agua. *	1.000	.885
Temperatura promedio anual máxima *	1.000	.825
Temperatura promedio anual mínima *	1.000	.893
Usuarios de fuentes de radiac ionizantes *	1.000	.969
Municipios que informaron destino de basura *	1.000	.718
Areas verdes urbanas	1.000	.980

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

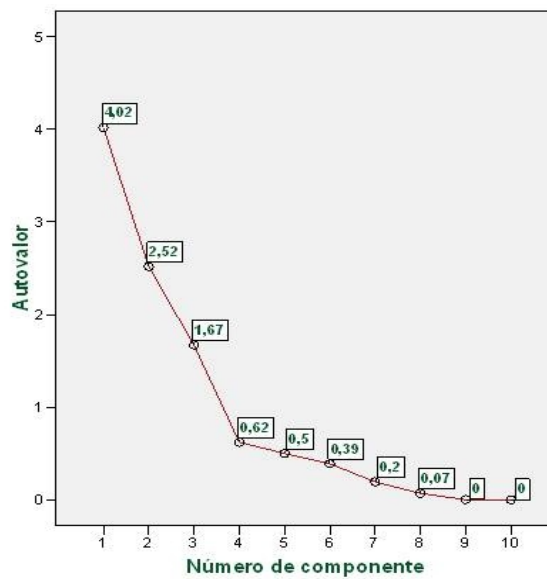
Las comunalidades cuantifican la parte de la varianza que corresponde a los factores o componentes comunes. Las comunalidades correspondientes a la extracción final son altas ya que, con excepción del valor 0.592 que corresponde al indicador % de población que usa carbón o leña para preparar sus alimentos, los otros valores son superiores a 0,712.

Tabla 5. Varianza Total Explicada

Com pon ente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,016	40,159	40,159	4,016	40,159	40,159	3,271	32,711	32,711
2	2,517	25,169	65,328	2,517	25,169	65,328	2,536	25,357	58,068
3	1,672	16,716	82,044	1,672	16,716	82,044	2,398	23,976	82,044
4	,624	6,244	88,288						
5	,503	5,027	93,315						
6	,392	3,925	97,239						
7	,196	1,964	99,203						
8	,073	,728	99,930						
9	,004	,044	99,975						
10	,003	,025	100,0						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Según el criterio de la media aritmética con variables tipificadas, se seleccionan aquellas componentes para las que sus raíces características o autovalores son mayores que 1 (criterio de Kaiser). Por lo tanto se consideran las tres primeras componentes. Es decir se retendrán tres componentes principales que, conjuntamente, explican el 82.04 % de la varianza total.

Gráfico 1. Gráfico de sedimentación

El perfil del gráfico de sedimentación, ratifica que deben retenerse tres componentes principales.

Tabla 6. Matriz de correlaciones

	Componente		
	1	2	3
% población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua	,903	,247	,078
% Hogares con red pública de agua. *	,899	,262	,089
Proporción de población urbana que vive en tugurios	-,798	,132	-,240
% población con acceso a servicios de saneamiento mejorados	,746	-,332	,213
% de población en hogares que usa carbón o leña para preparar sus alimentos	-,599	,469	-,119
Temperatura promedio anual mínima *	,002	,934	,146
Temperatura promedio anual máxima *	,062	,922	-,103
Áreas verdes urbanas	,212	,027	,967
Usuarios de fuentes de radiación ionizantes *	,190	,031	,964
Municipios que informaron destino de basura *	,097	-,578	,610

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

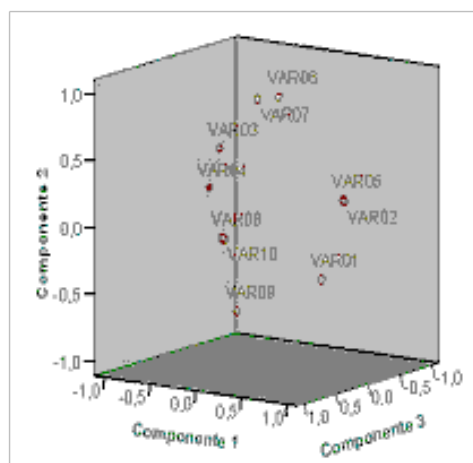
La matriz de componentes presenta los indicadores ordenados según el valor absoluto de los coeficientes de correlación con las sucesivas componentes. Los primeros cinco indicadores son los que tienen mayor coeficiente de correlación con la componente 1. A esta componente se le podría denominar componente condiciones de calidad ambiental en la vivienda. Los indicadores sexto y séptimo de la tabla son los que tienen mayor coeficiente de correlación con la componente 2. A esta componente se le podría denominar componente de variación de la temperatura del ambiente. Finalmente, los tres últimos indicadores de la tabla tienen mayor coeficiente de correlación con la componente 3. A esta componente se le podría denominar componente de calidad ambiental en el entorno de las viviendas.

Tabla 7. Matriz de coeficientes para el cálculo de las Puntuaciones en las componentes

	Componente		
	1	2	3
% población con acceso a servicios de saneamiento mejorados	,231	-,120	-,027
% población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua	,306	,105	-,081
% de población en hogares que usa carbón o leña para preparar sus alimentos	-,193	,181	,060
Proporción de población urbana que vive en tugurios	-,245	,038	,009
% Hogares con red pública de agua. *	,303	,112	-,074
Temperatura promedio anual máxima *	,038	,366	-,003
Temperatura promedio anual mínima *	-,020	,386	,129
Usuarios de fuentes de radiac ionizantes *	-,076	,072	,445
Municipios que informaron destino de basura *	-,057	-,195	,248
Áreas verdes urbanas	-,069	,071	,443

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.
Puntuaciones de componentes.

Esta tabla presenta los coeficientes de ponderación que permitirán calcular las puntuaciones de las componentes para luego calcular los índices sintéticos de calidad ambiental.

Gráfico 2. Gráfico de componentes en espacio rotado

El gráfico 2, también denominado gráfico de saturación permite visualizar en tres dimensiones a los factores o componentes como ejes la ubicación en el espacio de los diez indicadores.

Tabla 8. Matriz de cálculo del índice sintético de calidad ambiental para el dpto. de la libertad

	Comp 1		Comp 2		Comp 3		La Libertad
% población con acceso a servicios de saneamiento mejorados	0.2306	15.775	-0.1203	-8.2307	-0.0273	-1.8682	68.4
% población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua	0.3063	21.013	0.10535	7.2269	-0.0806	-5.5282	68.6
% de población en hogares que usa carbón o leña para preparar sus alimentos	-0.1926	-2.561	0.18139	2.4124	0.05984	0.79588	13.3
Proporción de población urbana que vive en tugurios	-0.2452	-15.18	0.03791	2.3464	0.00948	0.58682	61.9
% Hogares con red pública de agua.	0.3031	21.069	0.11171	7.7637	-0.0736	-5.118	69.5
Temperatura promedio anual máxima	0.0377	0.8975	0.36576	8.705	-0.0025	-0.0601	23.8
Temperatura promedio anual mínima	-0.0204	-0.363	0.38572	6.8658	0.12913	2.29854	17.8
Usuarios de fuentes de radiac ionizantes	-0.0761	-22.68	0.07248	21.598	0.44522	132.676	298
Municipios que informaron destino de basura	-0.0567	-4.252	-0.1955	-14.66	0.2481	18.6073	75
Áreas verdes urbanas	-0.0691	-17.23	0.07111	17.733	0.44338	110.566	249.3706
		-3.509		51.762		252.956	301.20768

Este procedimiento de cálculo se puede realizar para todos los departamentos, luego transformar los puntajes obtenidos, para cada uno de ellos, a la escala centesimal.

DISCUSIÓN

En primer lugar, es importante tener en cuenta que el propósito de este estudio, ha sido validar la aplicabilidad del ACP para la elaboración de indicadores sintéticos de calidad ambiental (ISCA), a través de su aplicación al diseño de índices para los departamentos de nuestro país, con el propósito de aplicarlo, después de esta prueba y de la experiencia obtenida, al cálculo de indicadores para las ciudades del país y con un número mayor de indicadores. Para realizar esta validación, sólo se trabajó con diez indicadores para los que era posible obtener información confiable y estandarizada. Por este motivo los ISCA obtenidos pueden considerarse referenciales o exploratorios, sin embargo puede considerarse que el ACP es un buen método para obtener fórmulas que permitan calcular los ISCA. Antes de aplicar el ACP se analizó la correlación entre las variables o indicadores de estudio con el propósito de decidir su aplicabilidad. La matriz de correlaciones obtenida utilizando el software SPSS permite establecer que de las 45 posibles correlaciones, generadas a partir de los 10 indicadores simples iniciales, 20 correlaciones (el 44.4%) presentaron correlaciones muy significativas, significativas o aproximadamente significativas, lo cual indicaba la posibilidad que las variables se podrían agrupar en componentes principales. En la tabla 6 se presentan en la matriz de componentes las correlaciones de los indicadores con cada una de las componentes. Estos resultados nos permitieron asignar posibles denominaciones a las componentes. A la componente 1 le podríamos denominar

componente de las condiciones de calidad ambiental en la vivienda, a la segunda, componente de la variación de la temperatura del ambiente y a la tercera, componente de calidad ambiental en el entorno de las viviendas. En esta matriz se puede verificar la coherencia de los resultados obtenidos con la realidad interpretando las relaciones entre las componentes y los indicadores. Así por ejemplo, la correlación entre la componente 1 y el indicador “%de población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua” es 0.903, es decir, a mayor % de población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua, mayor de calidad ambiental de la vivienda. La correlación entre la componente 1 y el indicador “proporción de población urbana que vive en tugurios” es -0.798, es decir “a mayor proporción de población urbana que vive en tugurios”, menores condiciones de calidad ambiental de la vivienda. La correlación entre la componente 2 y el indicador “temperatura promedio anual mínima” es 0.934, es decir, “a mayor temperatura promedio anual mínima”, mayor variación de la temperatura ambiental. La correlación entre la componente 3 y el indicador “áreas verdes urbanas” es 0.967, es decir, a mayor “áreas verdes urbanas”, mayor calidad ambiental en el entorno de las viviendas. Una de las correlaciones que requiere un análisis más detallado es la que asocia la componente 3 con el indicador “usuarios de fuentes de radiación ionizantes” que es igual a 0.964.

CONCLUSIONES

- Las componentes principales, halladas a partir del análisis de los diez indicadores utilizados, son las siguientes:
 - Componente 1:**
 - % población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua
 - % Hogares con red pública de agua.
 - Proporción de población urbana que vive en tugurios
 - % población con acceso a servicios de saneamiento mejorados
 - % de población en hogares que usa carbón o leña para preparar sus alimentos
 - Componente 2:**
 - Temperatura promedio anual mínima.
 - Temperatura promedio anual máxima.
 - Componente 3:**
 - Áreas verdes urbanas.
- Usuarios de fuentes de radiación ionizantes.
- Municipios que informaron destino de basura.
- Como ejemplo de cálculo, se obtuvo el índice sintético de calidad ambiental parcial para el departamento de La Libertad.
- La investigación realizada es la primera etapa de un proceso de validación del ACP como técnica para la agrupación de indicadores de calidad ambiental inter relacionados y como técnica para elaborar índices sintéticos de calidad ambiental.
- El índice sintético de calidad ambiental calculado para el departamento de La Libertad es sólo un ejemplo de procedimiento. Para calcular el verdadero índice, se requiere incluir en el análisis otros indicadores simples, que se obtengan de fuentes confiables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Johnson, D. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thomson Editores. Mexico. 2000
- Uriel, E. & Aldas, J. Análisis Multivariante Aplicado. Madrid: Ed. Thomson. 2005.
- Polo, C. Estadística Multivariable. Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, SL. Barcelona. 2001. Reimpresión.
- Calvo, F. Técnicas Estadísticas Multivariantes. Universidad de Deusto. Bilbao. 1993
- García, A. Métodos avanzados de Estadística Aplicada. Técnicas Avanzadas. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid. 2005
- Escobar, L. Construcción de Índices de Calidad Ambiental Urbana. Un Modelo General y Aplicación para Cali-Colombia., Trabajo de investigación para obtener Diploma de Estudios Avanzados. Universidad de Alcalá. Madrid-España. 2004
- Escobar, L. Indicadores Sintéticos de Calidad Ambiental. Un modelo general para grandes zonas urbanas. Revista EURE. Santiago de Chile. Versión electrónica: www.scielo.cl/eure.htm. 2006a
- INEI .Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, 2010. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales. Lima, Perú. 2010
- Martín, Q., Cabero, T., De Paz, Y. Tratamiento estadístico de datos con SPSS. Madrid. Thomson EditorsSpain. 2008

Recibido: 25 Agosto 2012 | Aceptado: 10 Octubre 2012