

ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA REGIÓN DE ZUMPANGO DE OCAMPO, ESTADO DE MÉXICO COMO BASE DEL DESARROLLO REGIONAL

María Abril, Correa Quintos¹

María Antonina, Galván Fernández²

María Eva, Guadarrama Brito³

RESUMEN

De acuerdo con la ONU, cambio climático es un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

El sistema de lagos del Valle de México, formado por los lagos de Texcoco, Zumpango, Xochimilco, Chalco y Xaltocan, permitía la transferencia de masa-energía, base del sostenimiento de la biodiversidad entre los diferentes ambientes lagunares. Actualmente uno de los puntos reguladores de las aguas que inundan la Ciudad de México es la Laguna de Zumpango. En el año de 1976 se inicia el Proyecto Los Insurgentes que consistió en la transferencia de agua residual del Valle de México, a la región Noreste del Estado de México, utilizando la Laguna de Zumpango como centro receptor para ampliar la zona de riego periférica, considerada prioritaria en los planes hidráulicos; en 1978 y derivado de las obras hidráulicas, la laguna es desecada. Posteriormente es reactivada con la descarga de aguas residuales; la introducción de agua residual trajo como consecuencia la proliferación de lirio acuático, por lo que en 1997 fue desecada nuevamente con el fin de erradicar el lirio. En contraparte, los lagos de Xochimilco y Chalco eran alimentados por manantiales, que eran

¹Licenciatura: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, e-mail: airamlirba@hotmail.com

²Maestra en Ciencias, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Procesos e Hidráulica Ingeniería Hidrológica, e-mail: loralalik@gmail.com

³Maestra en Ciencias, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Procesos e Hidráulica Ingeniería Hidrológica, e-mail: mgb124@hotmail.com

utilizados para la agricultura, mientras los excedentes escurrían hacia el lago de Texcoco de tipo salobre; los lagos de Zumpango y Xaltocan drenaban sólo estacionalmente al lago de Texcoco y sus aguas son salobres pero en menor cantidad que Texcoco. Toda esta dinámica hidrológica regional ha sido modificada por los asentamientos humanos, la pregunta es si estos cambios han apoyado al desarrollo del Valle de México, o por el contrario, lo condicionan.

En este trabajo se determinaron los *valores característicos* de las variables meteorológicas de Temperatura, Evaporación y Precipitación en Zumpango de Ocampo, asociados a periodo de tiempo (T_R), en dos periodos distintos (años 70's y 2000), para comparar sus comportamientos y determinar si el cambio climático es detectable en la zona, y si es asociable al patrón de desarrollo del municipio.

PALABRAS CLAVE: Desarrollo, cambio climático, evaluación, análisis regional

1. INTRODUCCIÓN

El clima determina fauna y flora, la cantidad de agua dulce disponible, los tipos de cultivos de cada lugar; pero a partir del desarrollo industrial del siglo XIX, la sobreexplotación de los recursos naturales y subsecuente emisión de gases de invernadero ha provocado que los procesos ambientales se modifiquen en dos aspectos: las tasas de emisión de contaminantes son más altas, y los periodos de tiempo para su absorción más cortos. La capacidad de recirculación de elementos biológicos, químicos, químicos orgánicos, por parte de la tierra ha sido rebasada, modificando las tasas de transferencia de masa-energía entre los sistemas atmosfera-tierra; a esta modificación se le ha denominado cambio climático.

Originalmente se denominó Cambio Climático a la variación global del clima de la Tierra, sustentando el concepto en parámetros meteorológicos; de acuerdo con esto, los cambios se

producen a diversas escalas de espacio-tiempo, sin embargo, derivado del propio proceso de transferencia de masa-energía y de que la tierra funciona como un sistema cerrado, los procesos se mantiene dentro de la capa atmosférica, y por tanto sus efectos también. De acuerdo con lo anterior, los efectos se trasladan a los procesos de transferencia de atmósfera-superficie terrestre. Varios estudios alrededor del mundo han intentado estimar estos impactos, indicando que los cambios son principalmente sobre la *transferencia de agua*, efecto que se expresa al entorno humano como una baja en la disponibilidad del recurso para la totalidad de las actividades humanas. Otro de los impactos estimados es la transferencia de calor, efecto que se nota como los cambios en radiación y temperatura, lo que condiciona la producción de alimentos. En resumen, los efectos de las modificaciones descritas, redundan en un aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. Un impacto adicional en el medio ambiente será la extinción de animales y plantas, ya que los hábitats cambiarán tan rápido que muchas especies no se podrán adaptar.

México es uno de los espacios geográficos más diversos en términos biológicos y ambientales del planeta; esta diversidad ha sido reconocida como patrimonio de la Humanidad de la Unesco. De ahí la importancia de predecir el impacto de este cambio sobre el país.

2. ANTECEDENTES

Las variables meteorológicas monitoreadas a escala nacional, a través de estaciones de radiosondeo son Presión (P), Temperatura (T), Humedad (H) y Viento (V); estas variables determinan la transferencia de agua entre la fase atmosférica y la superficial, que permite la existencia de plantas y animales. Sin embargo, aun cuando el cambio climático se considera determinante de la salud ambiental, es la disponibilidad de agua el verdadero factor limitante de la vida. La disponibilidad de agua es la base de todos los procesos económico-productivo que

sustentan al desarrollo humano y que además garantiza que los diferentes grupos humanos alrededor del planeta tengan independencia agroalimentaria, medioambiental y económica.

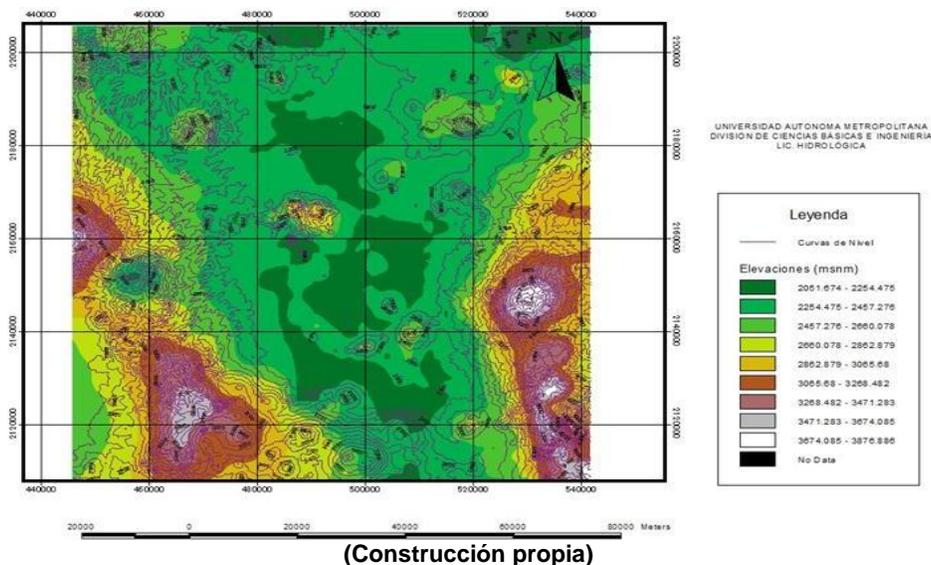
La humanidad tiene el reto de hacer que las acciones de hoy, mantengan el nivel de desarrollo necesario para sus habitantes, pero al mismo tiempo, dejar un remanente de recursos que permita a las generaciones futuras su sobrevivencia. Este concepto ha sido abordado a escala global como la sustentabilidad del planeta, sin embargo esta sustentabilidad global depende de las acciones implementadas en niveles de menor agregación, de ahí la importancia de evaluar las condiciones, actividades, recursos, y expectativas de cada comunidad.

El Desarrollo Sustentable se basa en tres ejes, el económico, el social y el ambiental, y es indispensable un avance equitativo y ordenado en los tres. De acuerdo con Galván et al. (2016) los actuales modelos de desarrollo han privilegiado los aspectos económicos en primera instancia, los sociales en segundo lugar, y en ambos casos han tomado como cimiento de desarrollo la explotación descontrolada de recursos naturales; esta sobre explotación ha llevado a un estado de vulnerabilidad al grueso de las comunidades que no habitan en las grandes ciudades. Entonces generar políticas de Desarrollo Regional para atender la problemática de la sustentabilidad, se debe hacer desde los aspectos ecológicos, sociales y económicos, que dan forma al medio ambiente.

Los países que se esfuerzan por establecer gobernabilidad se enfrentan al desafío de elaborar políticas que respondan a las necesidades de sus ciudadanos. Las entidades gubernamentales de orden internacional, han desarrollado mecanismos estructurales, un ejemplo es el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) que fomenta la eficacia de los gobiernos en todos sus niveles. Uno de sus apartados más importante es de protección ambiental, que al mismo tiempo salvaguarda a las comunidades rurales.

El sistema de lagos del Valle de México, formado por los lagos de Texcoco, Zumpango, Xochimilco, Chalco y Xaltocan fueron un sistema que permitía la transferencia de masa-energía y sostenimiento de la biodiversidad entre los diferentes ambientes (Figura 1), funcionando como un *corredor biológico*.

Figura 1. Sistemas de lagos en el Valle de México.

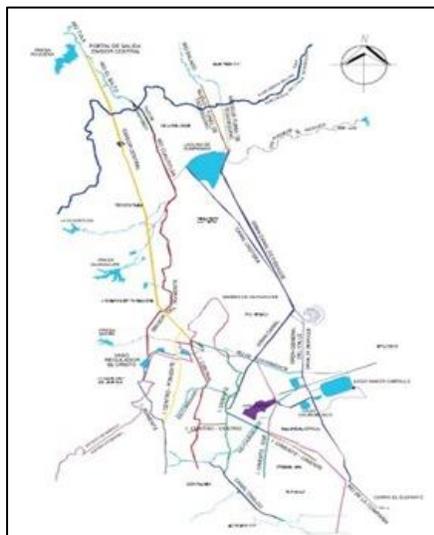


El sistema tenía la característica de tener aguas distintas; dulces de los lagos de Xochimilco y Chalco alimentados por manantiales, y salobres en el lago de Texcoco; los lagos de Zumpango y Xaltocan drenaban sólo estacionalmente al lago de Texcoco y sus aguas son salobres pero en menor concentración que Texcoco. El vaso del lago de Texcoco aun recibe escurrimientos provenientes de las cuencas de oriente; al poniente aporta la sierra de las Cruces, por el oriente los arroyos que bajaban de la sierra Nevada (Texcoco, Chimalhuacán y Atenco). Los límites sur y norte están delimitados por las sierra de Guadalupe y la de Santa Catarina que sólo contribuyen en temporada de lluvia. Esta dinámica determinaba que en época de lluvias estos lagos se convertían en un solo cuerpo de más de 2,000 km² de superficie, pero en estiaje se dividían en hasta 5 cuerpos independientes. Esta condición explica las periódicas inundaciones

que desde la fundación de Tenochtitlan se han dado en el Valle, y la necesidad de construir obras para el control de las aguas del valle.

Actualmente el lago de Texcoco ha desaparecido debido a que fue drenado artificialmente, pero si nos atenemos de que ecológicamente y ambientalmente era un solo sistema, aún debe funcionar como un corredor biológico. La continuidad se mantiene a través del Gran Canal del Desagüe que pasa por Xochimilco, Tláhuac, Los Reyes, Texcoco y Zumpango (Figura 2).

Figura 2. Sistema principal del drenaje de Valle de México.



Fuente. SEMARNAT 2009

Identificar tendencias en los fenómenos y predecir los resultados de la implementación de políticas de desarrollo regional, para determinar cuáles de los instrumentos obtendrán los efectos deseados, con el máximo de beneficios y el mínimo de efectos adversos en los objetivos sociales y ambientales es base para la toma de decisión. Por tanto, el análisis socio-económico de las poblaciones es tan esencial como la evaluación técnica de los recursos naturales, a fin de establecer la totalidad de supuestos racionales que fundamenten la implementación de políticas de Desarrollo, con la finalidad de que éstas sean técnica, económica socialmente y éticamente viables.

3. CONCEPTOS

Se considera que el clima es un sistema complejo, donde confluyen aspectos atmosféricos y de la superficie terrestre, como la cobertura vegetal y el relieve. El clima de la tierra nunca ha sido estático; como consecuencia de alteraciones en el balance energético global, está sometido a variaciones en todas las escalas temporales, desde decenios a miles y millones de años, así como las escalas espaciales, desde sistemas a nivel parcela, hasta regional. Estos cambios son percibidos por el ser humano a través de los impactos que sufre en las diferentes actividades que sustentan su vida: disponibilidad de agua potable, producción agrícola, inundaciones, sequías, deslaves, y hasta incendios forestales.

Pero, para migrar del aspecto *perceptivo* al *evaluativo*, se requiere de evidencia *medurable* y *comprobable* de a) los procesos que generan el clima, b) las variables que se integran a dichos procesos, y c) los efectos que producen. El gran problema que se tiene para evidenciar el fenómeno de Cambio climático, es que la medición de los procesos atmosféricos se hace desde una base puntual.

Los elementos meteorológicos se miden en puntos cercanos a la superficie del terreno y tienen en cuenta el paisaje que los circunda; existen normas para llevar a cabo las mediciones expedidas por la Organización Mundial de Meteorología (WMO). Las variables básicas que determinan en clima son temperatura (T), viento (V), presión atmosférica (P), evaporación (Ev), radiación solar (Rn), humedad relativa (Hr) y precipitación (Hp), y a través de modelos de predicción y probabilísticos se estima el clima (CONAGUA, 2010).

La cuenca es la porción de la superficie terrestre en la cual el agua precipitada se transfiere a las zonas del relieve más bajas, por medio del sistema de drenaje, concentrándose en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. Desde el punto de

vista de su salida existen dos tipos de cuencas: endorreicas (cerradas) y exorreicas (abiertas), (Aparicio, 2016). La cuenca tiene una serie de atributos fisiográficos que determinan la forma y capacidad de captar el agua y transferirla, definido como comportamiento hidrológico: son geología, edafología, relieve, vegetación.

Análisis Sistémico

El análisis sistémico se refiere a las interrelaciones entre los componentes cuyas funciones dentro del sistema no son independientes en los sistemas complejos, donde un subconjunto de datos conforma un subsistema cerrado. Aplicado a este problema, el clima es un sistema complejo, que a su vez se compone de subsistemas organizados en estructuras tridimensionales a partir de una distribución espacial (x, y) y sobre la columna atmosférica (z). Estos subespacios se organizan de forma lógica a partir de características comunes; se establecen conjuntos homogéneos sobre los que se construyen relaciones causa-efecto, que a su vez se relacionan a nivel superior (funcionales), con conjuntos de datos no homogéneos. Estos espacios homogéneos son definidos como *metavARIABLES*, dado que aglutinan una serie de variables *independientes* y/o de *medición directa*. En este estudio solo se analiza la *metavARIABLE* atmosférica (Meteorológica), (Galván et al., 2016).

De acuerdo con lo anterior, se tiene que el clima se presenta como la construcción de composición compleja, definida por:

$$\text{Clima} = f(\text{Meteorológico, Fisiográfica, Social}) \text{ _____ (1)}$$

Donde:

$$\text{Meteorológico} = f(T, P, Hr, V) \text{ _____ (2)}$$

$$\text{Fisiográfica} = f(S, T.S. TG) \text{ _____ (3)}$$

$$\text{Social} = f(\text{Agricultura, Economía}) \text{_____} \quad (4)$$

Definición de Cambio Climático

La derivada de la función f en el punto $x = a$, llamada f prima de a se denota por $f'(a)$, si existe, es el valor del límite:

$$f'(a) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a+h) - f(a)}{h} \text{_____} \quad (5)$$

Significa que si $f'(a)$ es un número real, la función f es derivable en $x=a$. Si $f'(a)$ no existe, la función no es derivable en dicho punto. La derivada también es definida como la *variación* de una función en un punto x_0 del dominio del conjunto A , en un instante de tiempo t_i , cuando se considera h como un incremento muy pequeño. De acuerdo con esto, el clima se define como un operador pero en este caso se tiene una matriz (Tabla 1).

Tabla 1. Derivadas Parciales de la ecuación 1.

Δ Clima	X	Y	Z
Meteoro	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Meteorológico})_x}$	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Meteorológico})_y}$	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Meteorológico})_z}$
Fisiográfica	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Fisiográfica})_x}$	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Fisiográfica})_y}$	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Fisiográfica})_z}$
Social	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Social})_x}$	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Social})_y}$	$\frac{\partial \text{Clima}}{\partial (\text{Social})_z}$

Esta construcción genera un espacio vectorial de 3 dimensiones, donde las transferencias son en todos sentidos (x, y, z); esta construcción compleja se simplifica para el entorno atmosférico, como un subespacio mensurable, y teniendo en cuenta la definición de la derivada entonces representamos el cambio climático (ΔC) por:

$$\Delta C = \left(\frac{\partial c}{\partial t} \Delta t, \frac{\partial c}{\partial (x,y)} \Delta(x, y) \right) \text{_____} \quad (6)$$

Donde el $\frac{\partial c}{\partial (x,y)} \Delta(x, y) = 0$; esta condición inicial representa que el cambio en dos zonas diferentes, es cero, por lo tanto, se limita a que sea solo en el tiempo. Para analizar la parte Meteorológico se desglosa la ecuación (6) de la siguiente forma:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial t} \Delta T + \frac{\partial P}{\partial t} \Delta P + \frac{\partial H_r}{\partial t} \Delta H_r + \frac{\partial V}{\partial t} \Delta V \text{-----} (7)$$

La ecuación 7 representa cambio climático a través del tiempo, considerando la evaluación de una sola región fisiográfica por lo que el cambio espacial se define a priori como inexistente.

4. ZONA DE ESTUDIO

El clima en el municipio Zumpango está clasificado como templado subhúmedo con lluvias escasas en verano, una temperatura mínima de 2.3 °C, una temperatura máxima de 31 °C y una temperatura media anual de 14.18 °C. La precipitación media anual es de 700-800 mm, con granizadas durante los meses de mayo y junio, mientras que la temporada de heladas se registra durante los meses de septiembre a marzo. Los vientos dominantes se registran hacia el noreste. El clima condiciona el ciclo de cultivo, realizándose en el ciclo primavera-verano, se ve afectado ocasionalmente por el desbordamiento de cuerpos de agua que inunda zonas urbanas y agrícolas. (Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zumpango, 2015).

Geología

Geológicamente hay dos tipos de rocas, sedimentarias que se localizan en la cabecera municipal, San Juan Zitlaltepec y en pequeña proporción en las localidades de San Sebastián, Buenavista, así como al norte y este del municipio. Rocas ígneas extrusivas (basaltos) se localizan en la parte noroeste del municipio entre la cota 2,350 y 2,550 msnm, al norte de San Juan Zitlaltepec. También se presentan 4 fallas y 5 fracturas regionales localizadas al noroeste en la zona montañosa (Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zumpango, 2015).

Suelos

En el municipio se localizan suelos aluviales en los márgenes del Río Avenidas de Pachuca y en las localidades de San Bartolo Cuautlalpan, San Juan Pueblo Nuevo, Colonia 1º de Mayo,

San Pedro de la Laguna, Santa María, Santa Cecilia y la zona sur de la Cabecera Municipal. Los suelos lacustres se localizan en todo el margen de la Laguna de Zumpango (Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zumpango, 2015).

Orografía

El Municipio registra pendientes que oscilan entre 2% y 15%, con una tendencia a incrementarse hacia la zona norte, presentando extensas zonas con pendientes menores al 6%. El municipio presenta una orientación de pendiente general hacia el norte; en el noroeste las elevaciones más representativas, la principal es el cerro de San Juan; las pendientes al norte se encuentran en el rango de 15% (Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zumpango, 2015).

Relieve

Zumpango, se encuentra enclavado en el sistema orográfico de la provincia del Eje Volcánico Transversal y las subprovincias de los Lagos y Volcanes de Anáhuac y de las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. El relieve es transicional, desde las llanuras, lomeríos y serranías. Siendo la base de referencia la orientación de norte a sur y de oeste a este, la orografía inicia con un sistema vinculado con la Sierra de Pachuca, donde sobresale el Cerro Picacho con 2,910 msnm. En otra sección está la Mesa La Ahumada que comprende la transición del Valle de México al Valle del Mezquital (Canul, 2016).

Vegetación

El tipo de vegetación típico de zonas semiáridas como el matorral xerófilo, crasicaule e inerme, pastizal y pastizal halófilo, existen de manera aislada manchones de bosque de encino, y especies introducidas por el hombre, utilizadas en la reforestación como casuarina, eucalipto, jacaranda, palmera y trueno (Diagnóstico Ambiental de la Región Zumpango, sf). En la planicie

dominan los sistemas agrícolas de riego en granos básicos y forrajes; los terrenos de temporal presentan algunas hortalizas y verduras y recientemente bajo invernaderos.

5. JUSTIFICACIÓN

El cambio climático tiene un impacto fundamental sobre el desarrollo humano: la disponibilidad de agua. Esto depende de varios factores como la humedad relativa, presión, viento y temperatura, aspectos de la naturaleza que los humanos no pueden controlar en su distribución, ocurrencia e intensidad. Por lo tanto, la única posibilidad que tiene el hombre es evaluar este cambio a partir de observaciones sobre el comportamiento de estas variables.

6. HIPÓTESIS

En el clima depende de 4 variables: Temperatura, Evaporación, Humedad Relativa y Viento. El cambio que pudiera presentar es en el espacio y en el tiempo, por lo tanto, si se comparan estas variables en dos periodos diferentes de tiempo, para después hacer una comparación entre dos espacios, se podrá definir si existe un cambio en el clima, y si éste es positivo o negativo.

7. METODOLOGÍA

En este estudio se utilizarán las series de las variables evaporación, temperatura y precipitación en dos diferentes periodos, para analizar el cambio climático. Tener una serie es muy importante porque con ella se puede hacer un pronóstico mediante un modelo de distribución de probabilidad. Las funciones Gumbell (Escalante et al. 2008) se desarrollaron para el análisis de los valores extremos de variables anuales definidas por:

$$F(x) = \alpha \exp(-e^{-y}) \text{_____} (8)$$

En la calibración de un modelo se consideraron los parámetros α y β de Gumbell que representan la variación temporal y espacial respectivamente; el grado de precisión con el que el modelo se ajusta a las observaciones es a través del coeficiente de correlación (Larrañaga, 2006).

Un sistema de información geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real para crear información basada en mapas que representan los modelos mencionados. En este caso se presentan los resultados de los modelos ajustados a través de SIG, para presentar la variabilidad espacial. Los cambios temporales se representan con la estimación de las variables por periodo de retorno.

8. RESULTADOS

Se determinaron los valores característicos de las variables T, Ev, hp en Zumpango de Ocampo, con esta información se estimaron los valores por periodo de tiempo (T_R) en dos épocas distintas de las cuatro variables (periodos de tiempo 1970-1985 y 2000-2015) (CONAGUA, 2015), para finalmente analizar los dos bloques de tiempo definidos anteriormente, y determinar si el cambio es positivo o negativo, a partir de la comparación entre ambos grupos de valores.

Se ubicaron 12 estaciones climatológicas de la zona de estudio, con las 3 variables básicas: temperatura, lluvia, evaporación; se identificaron las funciones de ajuste, y los respectivos parámetros, para dos espacios de tiempo: periodo 1 enero de 1970 a diciembre de 1985, periodo 2 enero de 2000 a diciembre de 2015. Se obtiene el periodo de retorno por estación y por variable aplicando la ecuación 8. En un primer acercamiento a las funciones de ajuste se encontró que el sistema es inestable, por lo que se dividió la muestra de datos en dos

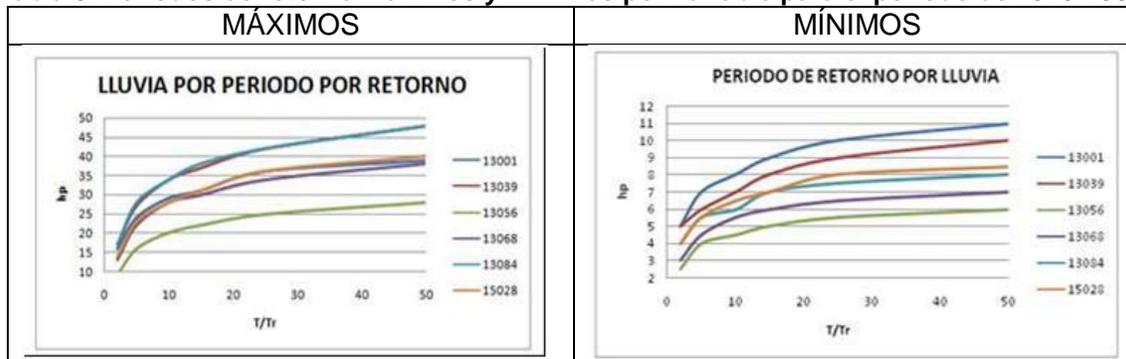
poblaciones, máximos y mínimos. La Tabla 2 presenta los valores de los parámetros α y β , por variable, por periodo de tiempo y población evaluada. Obtenidos las funciones por periodo de retorno, para eventos máximos y mínimos, por intervalo de tiempo y para cada variable, para cada estación se grafica su comportamiento.

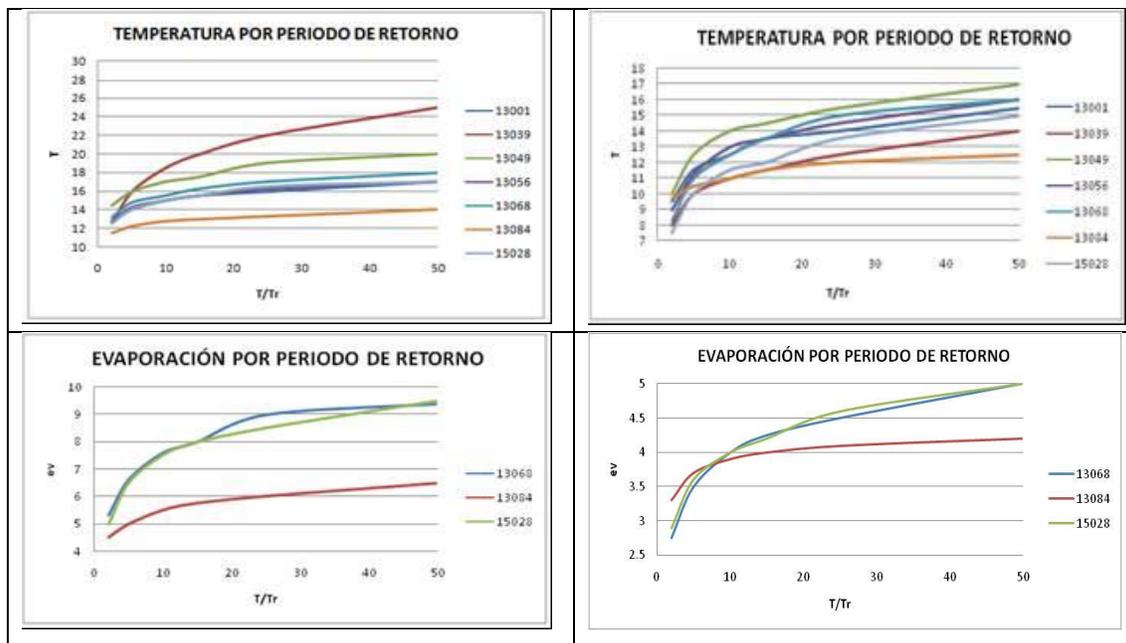
Tabla 2. Valores de α y β , por variable, por periodo de tiempo y población evaluada.

Población	Variable meteorológica	Periodo 1970-1985		Periodo 2000-2015	
		Parámetro			
		α	β	α	β
Máximos	Lluvia	10.00-16.00	6.91-13.92	0.12-0.13	8.73-13.15
	Evaporación	0.78-1.66	4.19-4.83	1.10-1.15	5.13-6.24
	Temperatura	0.65-1.45	11.10-13.77	0.72-0.96	10.12-10.75
Mínimos	Lluvia	0.63-0.96	2.13-4.69	0.61-0.76	2.81-4.46
	Evaporación	1.61-3.03	2.51-3.02	1.40-1.63	3.05-4.18
	Temperatura	0.42-1.34	7.12-9.48	0.50-0.71	6.02-10.70

La Tabla 3 presenta los comportamientos funcionales para: 2, 5, 10, 15, 20 y 25 años para el intervalo 1970-1985.

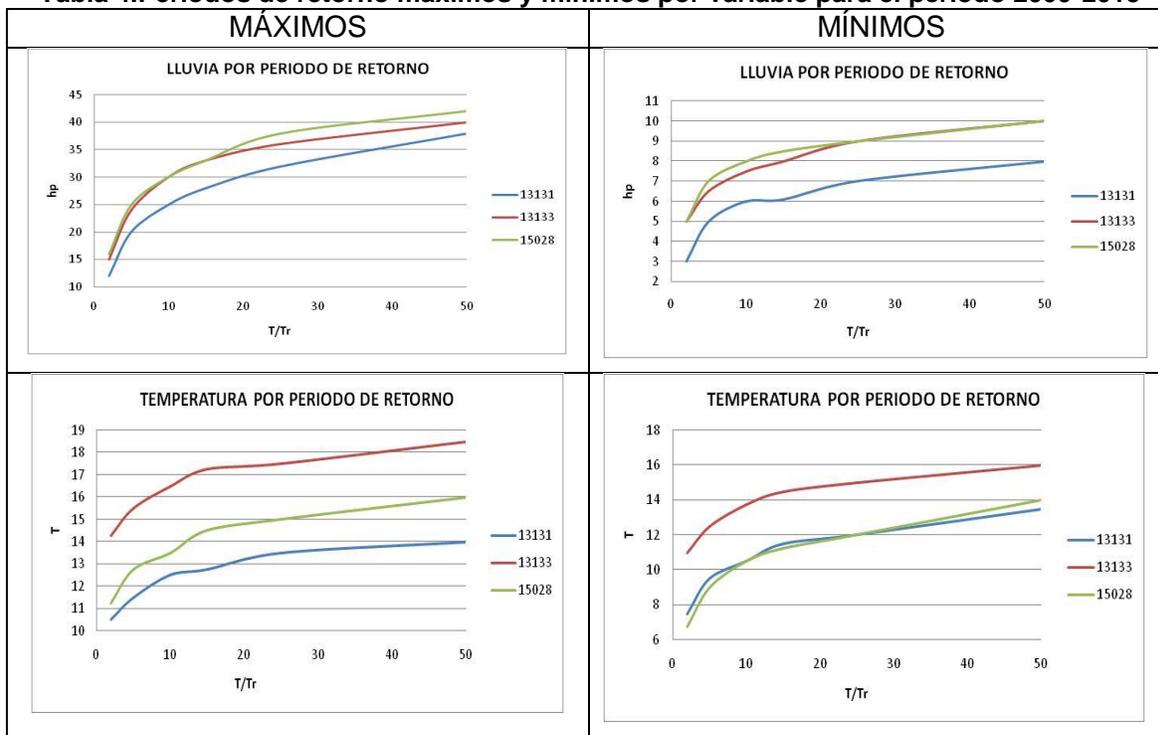
Tabla 3. Periodos de retorno máximos y mínimos por variable para el periodo de 1970-1985.

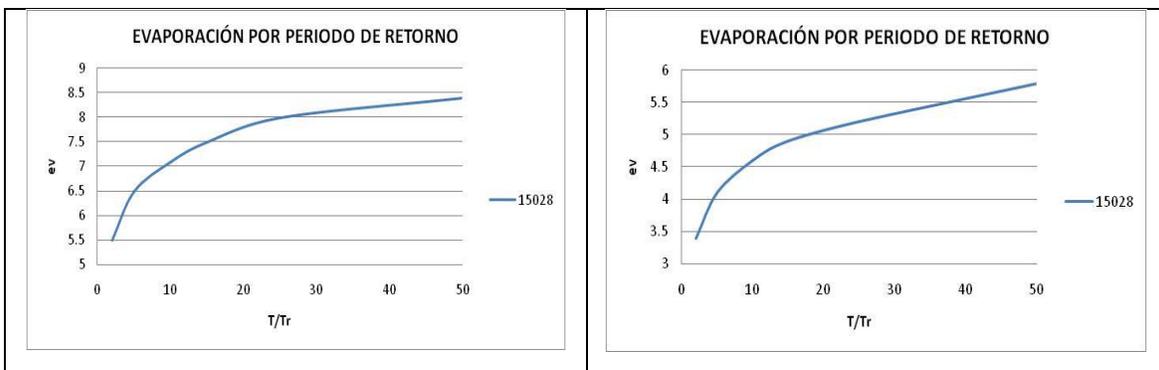




De igual forma, la Tabla 4 presenta los comportamientos funcionales para: 2, 5, 10, 15, 20 y 25 años para el intervalo 2000-2015.

Tabla 4. Periodos de retorno máximos y mínimos por variable para el periodo 2000-2015





Para analizar espacialmente los comportamientos funcionales, se realizaron polígonos de Thiessen con base en las estaciones, y acoplado los valores numéricos de los parámetros α y β . Esta organización de la información representa a la *derivada numérica* con respecto al tiempo. En este caso se realizó la diferencia entre rangos (intervalo total), y fue dividido en los 15 años del intervalo de tiempo de evaluación, que representa la derivada por 1 año de tiempo; la Tablas 5 presenta estas variables.

Tabla 5. Derivada numérica en el tiempo para α y β .

Población	Variable meteorológica	Periodo 1970-1985		Periodo 2000-2015	
		Parámetro			
		α	β	α	β
Máximos	Lluvia	0.0007	-0.0012	0.0026	-0.0015
	Evaporación	0.0017	-0.0013	-0.0012	-0.0012
	Temperatura	0.0000	0.0001	-0.0007	0.0015
Mínimos	Lluvia	0.0010	-0.0004	0.0015	-0.0010
	Evaporación	-0.0108	-0.0015	0.0003	-0.0014
	Temperatura	0.0008	0.0010	0.0000	0.0036

9. DISCUSIÓN

Variabilidad temporal

De acuerdo con lo definido anteriormente, la variable a representa el cambio temporal (Momento de primer orden); para el periodo 1970-1985, las variables H_p y T en la población de máximos tienen un comportamiento cercano a cero. En términos absolutos, se tiene que la

estación 13056 es la más seca con un rango de 10-25 mm; la estación más humedad es la 13001 con un rango de 18-40 mm; en cuanto a T, se tiene la estación 13039 con un rango de 15-25 °C presenta valores mayores de temperatura a comparación de la estación 13084 con un rango es de 10-15 °C. Esto significa que el comportamiento meteorológico de la región es estable. Contrariamente, la Ev presenta un valor “alto”, que deberá ser explicado por variables no meteorológicas. Para la evaporación se tiene únicamente la estación 15028 donde el rango numérico en que la variable está definida es 5.5-8 mm.

Para este mismo periodo con parámetros mínimos, las variables de Hp y T se despegan un poco del valor cero. En términos de montos, para la lluvia la estación 13056 es la más seca con un rango es de 2.5-4 mm y la estación 13001 es la más humedad con un rango es 5-9.5 mm. Para la Temperatura se tiene que la estación 13049 con un rango es 10-15 °C presenta valores mayores de Temperatura que la estación 13084 con un rango es 10-12 °C.

Para la evaluación del periodo 2000-2015 solamente se cuenta con algunas estaciones climatológicas, porque hubo un cambio de tecnología para mejor las mediciones. Sin embargo este cambio redujo algunas estaciones climatológicas por lo tanto solo se tiene información para la variable T y Hp se tienen las estaciones climatológicas 13131, 13133 y 15028; para la evaporación se tiene solo la estación 15028.

Para los eventos máximos, como se nota, el comportamiento de la variable cambia completamente, con valores negativos y altos en el caso de Ev y T, mientras que Hp se incrementa. En términos absolutos Hp en la estación 13131 es la más seca con un rango es de 12-30 mm y la estación húmeda es 15028 con un rango es de 15-35 mm; la T de la estación 13133 tiene como rango 14-18 °C y la estación 13131 con un rango es 10-12 °C.

Para el periodo, las 3 variables en la población de mínimos tienen un comportamiento mucho más diverso que en el caso de los máximos. Esto significa que el comportamiento meteorológico de la región es afectado en el caso de los eventos mínimos, es decir época de estiaje, lo importante de señalar, es que no hay un patrón entre variables: Hp y Ev crecen, mientras que T baja. En términos absolutos, la Hp en la estación 13131 es la más seca, con un rango de 3-6 mm y la estación más húmeda es 15028 con un rango de 5-8 mm. La T de la estación 13133 tiene como rango 10-16 °C y la estación 15028 con un rango es 8-14 °C.; finalmente la evaporación se tiene únicamente la estación 15028 con un rango 3.5-5 mm.

Variabilidad espacial

La variabilidad espacial se analiza a través del parámetro β . Para el periodo 1970-1985 en población de máximos, Hp y Ev presentan valores casi iguales, esto representa que ambas variables están ligadas. Para temperatura notamos que tiende a cero, indicativo de poco o nulo cambio en la región. Para el caso de mínimos la Ev se mantiene casi constante, pero Hp baja y T se incrementa, es decir, presenta un patrón completamente diferente al caso de máximos y más diverso. Igual que el caso de la variabilidad temporal, es en época de estiaje cuando se modifican los patrones hidrológicos.

Para el periodo 2000-2015, en la fase de máximos, el comportamiento de Hp y Ev es muy similar, e igual al caso del periodo anterior; solo T se incrementa. Para el caso de los mínimos los valores se mantienen en el rango de los máximos. Esto se interpreta como que no hay variabilidad entre los periodos.

En resumen, se tiene que para la T hay tres casos 1) Para el periodo 1970-1985 máximo la derivada es cero, 2) Para el periodos 2000-2015 máximo y mínimo periodo 1975-1980 la derivada no es cero, y 3) solo para el Periodo 2000-2015 mínimo la deriva tiene un cambio

descendente. Para el caso de Hp las 4 condiciones se comportan diferente. 1) Periodo 1970-1985 máximos cambio en tiempo tiende a cero, 2) periodo 2000-2015 máximos tiempo se incrementa y espacio continua a la baja; 3) periodo 1970-1985 mínimos, cambio en tiempo es importante, espacio descende; 4) periodo 2000-2015 mínimos, tiempo es cero y espacio continua crece. Respecto a la Ev, el comportamiento es similar a la Hp: cambios no relacionados en espacio y tiempo.

Es decir, que de las 3 variables, y de las 9 comparaciones, solo un elemento del conjunto datos *tiende a cero o es cero*, el resto presenta cambios en espacio y tiempo, sin embargo, si lo sometemos a una evaluación numérica más rigurosa, tenemos que el valor central de parámetros es de -0.0003 que tiende a cero. Entonces, y acuerdo con la hipótesis planteada, donde el *cambio* se definió como *la suma de las derivadas parciales* de las metavARIABLES meteorológicas, uso del suelo y factor humano, las que a su vez son desagregadas, en nuestro caso, en las 3 variables atmosféricas de Hp, Ev y T, y que estas a su vez, se expresan en dos campos: el espacio (x, y) y el tiempo (t) (ecuación 6). Entonces el análisis aquí logrado lo que está representando es:

$$\frac{\partial C}{\partial((x, y), t)} = [0, \exists]$$

Es decir, que se ha logrado determinar el cambio de forma separada, en el caso del tiempo el cambio $\frac{\partial hp}{\partial t} \Delta hp + \frac{\partial Ev}{\partial t} \Delta Ev + \frac{\partial T}{\partial t} \Delta T$ tiende a 0, pero en el caso del espacio si existe $\frac{\partial hp}{\partial t} \Delta hp + \frac{\partial Ev}{\partial t} \Delta Ev + \frac{\partial T}{\partial t} \Delta T$, sintetizado por: máximos al periodo 2000-2015 hay un incremento de 271% en la Hp, del 80% en T, pero un descenso del 170% para Ev; respecto mínimos al periodo 2000-2015 hay un incremento de 50% en la Hp, pero un descenso del 102% y 100%.

10. CONCLUSIONES

De forma inmediata se puede aseverar que entonces, la derivada es cero, y por tanto, el cambio climático como fue definido, tiende a cero para el caso del tiempo, pero no para el caso espacial; retomando el supuesto inicial:

$$\frac{dC}{dxyt} = \left[\frac{d(\text{Meteorológica})}{dxy} + \frac{d(\text{Uso de Suelo})}{dxy} \right] \left[\frac{d(\text{Meteorológica})}{dt} + \frac{d(\text{Uso de Suelo})}{dt} \right]$$

Si hay cambio en el tiempo, pero no en el espacio, esto se expresaría por:

$$\frac{dC}{dxyt} = [0] \left[\frac{d(\text{Meteorológica})}{dt} + \frac{d(\text{Uso de Suelo})}{dt} \right]$$

Pero de acuerdo con esta evaluación queda:

$$\frac{dC}{dxyt} = \left[\frac{d(\text{Meteorológica})}{dxy} + \frac{d(\text{Uso de Suelo})}{dxy} \right] [0]$$

Que es un comportamiento *contrario* a la hipótesis. Esto podría explicarse por diversos razonamientos; el comportamiento podría ser condicionado por la pobreza de la información en el aspecto temporal. Una primera conclusión es que entonces, los datos *no son capaces de representar* la realidad de forma efectiva y fehaciente, y la conclusión contraria es que si son capaces de representar la realidad, pero debe mejorarse la calidad de éstos, para elevar la confianza del cálculo, y con ello la contundencia de los análisis.

Lo importante de este análisis son las observaciones parciales: en la variable T para el parámetro máximo α en los periodos de tiempo 1970-1985 y 2000-2015 hay un cambio en el espacio y para el parámetro mínimo α en el mismo tiempo también hay un cambio en el espacio. La variable Hp en el parámetro máximo α en los periodos de tiempo 1970-1985 y 2000-2015 *no hay cambio* en su intensidad y distribución se mantiene constante, sin embargo

para el parámetro mínimo α en el mismo tiempo hay cambio en su intensidad. Para la variable Ev en el parámetro máximo y mínimo α en los periodos de tiempo 1970-1985 y 2000-2015 sólo hay cambio en el espacio.

Para el parámetro máximo β en los periodos de tiempo 1970-1985 y 2000-2015 hay un *cambio en el espacio*, este cambio representa la derivada (x, y) , y para el parámetro mínimo β en el mismo tiempo, también hay un cambio en el espacio. La variable hp para el parámetro máximo β en los periodos de tiempo 1970-1985 y 2000-2015 presenta cambio en su intensidad y para el parámetro mínimo β en el mismo tiempo hay cambio en su intensidad; la combinación de estos dos aspectos representa la *derivada de la función en (x, y, t)* . Para la variable Ev en el parámetro máximo y mínimo β en los periodos de tiempo 1970-1985 y 2000-2015 sólo hay cambio en el espacio. En todos los casos, lo que detectamos es un cambio espacial, es decir sobre el *uso del suelo*. Por definición, el concepto de uso del suelo está asociado a la forma en que se explota el espacio geográfico: vivienda, industria, comunicaciones o agricultura; en el extremo opuesto están aquellas designaciones asociadas a la protección ambiental: Reserva de la Biosfera, Área Natural Protegida, etc., este catálogo lo que representa es el potencial productivo del espacio geográfico, respecto de los intereses del hombre como sociedad.

La calidad de vida es un concepto que abarca tres significados: 1) la sanidad del entorno en que vivimos; 2) la capacidad de gestión, y 3) el grado de acceso a satisfactores de subsistencia y sociales; estos tres significados se evalúan a través de la *percepción individual* como nociones, por lo que las características *visibles y mesurables* del espacio geográfico determinan como percibe el individuo su forma de vida.

Respecto a intervalo de tiempo faltante entre los dos periodos de tiempo evaluados, se debe recalcar que hubo un salto tecnológico (sistematización de la década de los 80's), se centró en

la mejora de sistemas de monitoreo (radares y satélites) y computacionales, lo cual permitió mejorar el cálculo de modelos matemáticos, pero sobre todo, calibrar con datos observacionales. Este avance se reflejó como un cambio significativo en los dominios de las variables, la resolución de las mediciones, y un cambio metodológico. Por lo anterior, las variables atmosféricas en tiempo están mostrando un comportamiento numérico estable pero esta pudiera ser cuestionada por la calidad de la información que se tiene; al respecto se considera indispensable la mejora en la colecta de información. El clima es un sistema complejo donde cada subsistema tiene su propio dominio, lapsos de tiempo breves de información solo permiten hacer comparaciones puntuales entre espacios de estudio, que no se pueden generalizar. Sin embargo, el análisis presentado permite identificar claramente que el cambio mostrado en la variable espacial es asociable al manejo de parte del ser humano, más que aspectos climáticos o meteorológicos.

El vector espacial presenta cambios, y es lo interesante ya que el territorio es fuertemente influenciado por la intervención del hombre. El hombre modifica su entorno para obtener los satisfactores necesarios para su pervivencia; la calidad de vida está estrechamente vinculada con el desarrollo del ser humano, cuyo resultado es el bienestar psicológico y social, por tanto no es posible separar ambos conceptos. Cuando se combinan estos dos niveles nosológicos, se genera un mapa de *desarrollo humano*: una buena calidad de vida, genera satisfacción personal (nivel individuo), que combinado con un bienestar alto, produce una *alta satisfacción* personal que redundará a nivel de grupo social en la generación de *valores*.

Contrariamente, la ausencia de alguno de estos elementos detiene el desarrollo humano, y la ausencia de los dos genera problemas a la supervivencia a nivel individual y colectivo. El resultado son los problemas sociales, económicos, de migración, contaminación ambiental y agotamiento de los recursos naturales; por tanto, debiera estar presente en el interés de los

gobiernos el inducir a los agentes económicos y sociales hacia conductas que impliquen promover la capacidad de proveer satisfactores económicos, sociales y ambientales para la totalidad de sus miembros de forma equitativa y sustentable, bajo la forma de *Políticas Públicas de Desarrollo*.

Por otro lado, el paradigma actual de la sostenibilidad dice que las actividades humanas requeridas para suplir necesidades básicas y secundarias (calidad de vida), deben incorporar elementos como mínimas emisiones, buenas prácticas de producción y operación, manejo adecuado y aprovechamiento de subproductos y residuos, disminución en el consumo de insumos, responsabilidad social, equidad social, inclusión etc., por lo tanto la definición de una política de desarrollo que sea compatible con el desarrollo sostenible se debe basar en elementos tecnológicos, económicos integrados en la plataforma de *evaluación dura*, y los elementos sociológicos, culturales, formación de valores, la equidad, justicia y derechos humanos en la fase *perceptiva*, de tal forma que los procesos de producción y el bienestar de las comunidades tengan roles con un mismo peso.

Por último, sin dejar de ser importante, se integra el sistema ecológico. Actualmente se considera que el cambio climático es más asociado a los cambios de los *patrones hidrológicos* (transferencia de masas de agua entre fases hidrológicas), los que a su vez son determinados por el uso del suelo. El uso del suelo es un reflejo fiel de los manejos antropogénicos asociados al desarrollo, en cualquiera de las acepciones reconocidas: regional, local o sustentable.

La definición de desarrollo sustentable se basa en la combinación equitativa de los términos sostenibilidad ambiental, sostenibilidad económica y sostenibilidad social, donde los tres aspectos se integran por la relación entre el *bienestar humano* con el *medio ambiente* y la *bonanza económica*. El triple resultado es un conjunto de indicadores de desempeño en las tres

áreas (Políticas Públicas). Dicho de otra forma, deben satisfacerse las necesidades humanas como alimentación, ropa, vivienda y trabajo, bajo esquemas que mantengan el equilibrio del medio ambiente dado que el desarrollo económico está limitado por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana. Entonces el objetivo de una Política Pública de Desarrollo es definir proyectos viables conciliando los aspectos económico, social, y ambiental de las actividades humanas, tal que:

- a) Aspecto económico: se refiere al funcionamiento financiero, que debe tener la capacidad de contribuir al *desarrollo económico regional* o de la estructura de gobierno-social.
- b) Ámbito social: se toman en cuenta las consecuencias sociales de la actividad de la comunidad, como se afectan los individuos en su calidad de vida, cultura, acceso a la riqueza, etc., como se modifica la estructura social de la comunidad y como afecta la economía y el sistema de gobierno.
- c) Ámbito ambiental: se trata de lograr la compatibilidad entre la producción de bienes y riquezas y la preservación de los recursos naturales como primer impacto y del ecosistema que alberga a la comunidad como segundo impacto. Incluye un análisis del consumo de recursos lentamente renovables, así como de la generación y reconversión de residuos y emisiones.

Las pautas actuales de sobre-consumo, expansión y construcción de núcleos urbanos no son generalizables a la totalidad de las comunidades que habitan el planeta, sin que se produzca un colapso de los sistemas naturales.

Hoy por hoy el desarrollo se considera un fenómeno complejo de difícil evaluación, y más aún para el desarrollo sustentable, dado que combina las dimensiones social, ambiental, económica y cultural. De todo este cúmulo de información, normalmente se privilegia las fases humanas:

económica y cultural, y en último lugar se dejan los aspectos climático-ambientales; la dificultad se incrementa al ser sistemas de evaluación distintos: un espacio numérico, uno perceptivo, y uno mixto, el biológico. Lograr un sistema único de valoración hasta ahora es imposible, sin embargo en este ejercicio ha quedado mostrado que los planteamientos sistémicos son capaces de reflejar en algún grado esta complejidad.

REFERENCIAS

- Aparicio M. F. J.** (2016) *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, p.19.
- Canul S. Y. I.** (2016) *Calidad del agua y su impacto en la salud pública de Zumpango de Ocampo, Estado de México*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- CONAGUA.** (2015) www.conagua.com.mx. (Consulta 10 octubre).
- Diagnóstico Ambiental de la Región Zumpango**, sf. Región 11
- Escalante S. C. A. y C. Reyes L.** (2008) *Técnicas Estadísticas en Hidrología/ Facultad de Ingeniería / UNAM México*.
- Galván F. A.; Bustamante A. y Martínez M. M.** (2016) *Construcción de un Indicador para la Valoración de Programas Ambientales en la Cuenca del Valle de México: Aplicación de Metodología. (Generación de Indicadores para la Toma de Decisión en el Manejo Integral de Cuencas. Parte IV. México*.
- Larrañaga E.** (2006) *Para la aplicación de modelos informáticos para el transporte y el flujo de contaminantes en el agua subterránea*, p. 36-40.
- Comisión Nacional del Agua,** (2010) *Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie*, marzo. México.
- Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zumpango,** (2015) Estado de México.
- SEMARNAT.** Estadísticas de las aguas del Valle de México. Edición 2009