

Correlación y regresión lineal de variables climatológicas para el diseño ecotecnologías y arquitectura bioclimática

ALANÍS-NAVARRO, J.A., *† CASARRUBIAS-BAHENA, D., ALANÍS-CANTÚ, R., LAVÍN-DELGADO, J.E.

Universidad Politécnica del Estado de Guerrero

Recibido 28 Agosto, 2017; Aceptado 20 Noviembre, 2017

Resumen

Se presenta un análisis de correlación y regresión lineal de variables climatológicas para el diseño de ecotecnologías y arquitectura bioclimática. El estudio se basa en información histórica de una década: 2007-2016, de las variables: irradiancia solar, temperatura (promedio, mínima, máxima y de rocío), precipitación pluvial, humedad relativa y rapidez del viento de diferentes estados de la república mexicana. La información de las variables climatológicas se obtuvo de la base de datos de la NASA. Para la selección de las muestras o estados de la república se utilizó un muestreo estadístico estratificado a un nivel de confianza de 95%, considerando una población finita de treinta y dos, que corresponde a los estados del país. El tamaño de la muestra necesario para este estudio es de diez y nueve. Se muestran los principales parámetros de estadística descriptiva de cada variable, así como las variables que presentan una correlación moderada o fuerte, éstas son: las cuatro variables de temperatura, la irradiancia y la humedad relativa; se descarta la correlación entre el resto de las variables por presentar una correlación débil. Se realizó la extrapolación de la ecuación de la recta de cada par de variables moderada o fuertemente correlacionadas, para poder utilizarla como guía de diseño de ecotecnologías en cualquier zona geográfica.

Ecotecnología, arquitectura bioclimática, muestreo estadístico, correlación lineal de *Pearson/Spearman*, regresión lineal

Abstract

A linear correlation and regression analysis of climatological variables for the design of ecotechnologies and bioclimatic architecture, is presented. The study is based on historical information from a decade: 2007-2016, of the variables: solar irradiance, temperature (average, minimum, maximum and dew), rainfall, relative humidity and wind speed of different states of the mexican republic. Information on climatological variables was obtained from the NASA database. For the selection of the samples or states of the republic a stratified statistical sampling was used at a confidence level of 95%, considering a finite population of thirty-two, corresponding to the states of the country. The sample size required for this study is nineteen. The main descriptive statistics of each variable are shown, as well as the variables that present a moderate or strong correlation, these are: the four variables of temperature, irradiance and relative humidity; The correlation between the rest of the variables is discarded because it presents a weak correlation. The extrapolation of linear equation of each pair of moderately or strongly correlated variables was obtained, to be used as a parameter of ecotechnologies design in any geographical area.

Ecotechnologies, bioclimatic architecture, statistical sampling, linear *Pearson/Spearman* correlation, linear regression

Citación: ALANÍS-NAVARRO, J.A., CASARRUBIAS-BAHENA, D., ALANÍS-CANTÚ, R., LAVÍN-DELGADO, J.E. Correlación y regresión lineal de variables climatológicas para el diseño ecotecnologías y arquitectura bioclimática. Revista de Arquitectura y Diseño. 2017, 1-2: 1-12

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: aalanis@ueg.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor

1. Introducción

Las ecotecnologías han adquirido gran importancia desde el punto de vista económico, ambiental y social, al representar una alternativa accesible a cualquier sector de la población mundial, utilizando recursos naturales propios de la zona, para satisfacer las necesidades básicas del ser humano como: agua, alimentación, vivienda, acceso a la energía y el manejo adecuado de los residuos. Los problemas ambientales son tan antiguos como la existencia del hombre, ya que al estar interactuando con su entorno impacta al medio ambiente, aunque hoy en día, en mayor proporción, ya que existe una intrincada red de causales, entre las cuales se puede citar: el elevado crecimiento demográfico, la expansión de las industrias, los sectores agrícolas y la urbanización, entre otras (Ortiz *et al.*, 2014). Para que tal desarrollo se produzca, el ser humano debe modificar su ambiente, por lo tanto, debe usar la tecnología a su favor.

En lo referente al uso indiscriminado de los recursos –como consecuencia de la revolución industrial-, es necesario adoptar medidas ambientales, sociales y económicas que protejan los ecosistemas, a las personas y la economía de aquellos que son menos beneficiados, ya que el panorama se ve comprometido y poco alentador en los tres ámbitos. Como producto de la nueva revolución, nació otro tipo de clase social: el proletariado. Esta clase baja revelaba la desigualdad en la calidad de vida: la carencia de habitaciones fue el primer problema que sufrió esta población socialmente marginada; esta clase debía vivir en espacios reducidos carentes de las necesidades básicas (Solarte, 2014). A partir de estas problemáticas detectadas se hizo evidente la falta de tecnología apropiada para satisfacer los tres ámbitos: social, ambiental y económico. Por lo cual, las tecnologías existentes se adaptaron a las necesidades que surgían en aquellos momentos.

No obstante, estas tecnologías aún eran incompatibles con la rama ambiental, pues generaban un gran impacto ecológico. Sin embargo, la innovación tecnológica es una de las necesidades para impedir problemas sociales y de contaminación ambiental; la interacción de diversos factores determina el papel potencial y el impacto del uso de nuevas tecnologías en la solución de los problemas ambientales, implicando inversiones tanto públicas como privadas a lo largo de la cadena de innovación, dando origen a las ecotecnologías.

En la década de 1960, cuando Howard T. Odum, pionero del estudio de la ecología de ecosistemas, acuñó el término ingeniería ecológica o ecotecnología para referirse a lo que más tarde Barret (1999) definiría como el “diseño, construcción, operación y gestión (*i.e.*, ingeniería) de estructuras paisajísticas/acuáticas y sus comunidades de plantas y animales asociadas (*i.e.*, ecosistemas) para beneficiar a la humanidad y, a menudo, a la naturaleza”. Las ecotecnologías o ecotecnias, permiten solventar problemas con el abastecimiento de agua, la producción de energía eléctrica, el saneamiento, la producción de alimentos, la iluminación, la cocción y la conservación de alimentos, el diseño eficiente de edificaciones o arquitectura bioclimática, entre otras, que conllevan a una mejor calidad de vida como en muchos casos documentados fuera y dentro del país.

El desarrollo y empleo de las ecotecnologías promete una mejor calidad de vida sin comprometer los recursos naturales, evitando la contaminación generada por las tecnologías convencionales. Cabe destacar que las ecotecnias son puntuales y específicas, es decir, no existe una tecnología universal; ya que atienden a necesidades determinadas con características particulares, y requieren del conocimiento de las variables climatológicas necesarias para el correcto diseño de éstas (Ortiz *et al.*, 2014).

Una introducción a las ecotecnologías puede consultarse en (Ortiz *et al.*, 2014). En este trabajo se realiza un estudio para la comprensión de la interrelación que presentan algunas de las variables más utilizadas en el diseño de ecotecnologías y arquitectura bioclimática.

1.1 Objetivos

- Realizar un análisis de correlación lineal de *Pearson* y *Spearman* de variables climatológicas utilizadas en ecotecnologías y arquitectura bioclimática.
- Obtener la ecuación de la recta de las variables climatológicas moderada o fuertemente correlacionadas, mediante regresión lineal, para diseñar e implementar ecotecnologías en zonas marginadas o de bajos recursos.

2. Metodología a desarrollar

Conociendo el tamaño de la población, N , *i.e.*, treinta y dos, es posible determinar el tamaño de la muestra, n , necesario para realizar el estudio. Para ello se utiliza la técnica de muestreo estadístico estratificado para poblaciones finitas (Martínez, 2012). Se ha elegido un nivel de confianza de 95%, $Z_{95\%} = 1.96$, y una precisión o error permitido del 15%, *i.e.*, $e = 0,15$.

Habiendo determinado el tamaño de la muestra, se seleccionan las muestras utilizando una base de datos especializada en variables climatológicas, de un periodo de una década: 2006 – 2017. Se identifican las variables climatológicas que presentan un correlación entre ellas, y se obtiene una ecuación de la recta mediante el método de regresión lineal por mínimos cuadrados (Devore, 2008; Nieves, 2010).

Se reproduce y extrapolan las funciones de ecuación de la recta para los pares de variables que presentaron una correlación moderada o fuerte, tanto positiva como negativa, en el intervalo de interés para el diseño de ecotecnologías, como sistemas de captación de agua pluvial, destiladores solares, calentadores solares, etc.

3. Resultados

Los principales resultados de este estudio se agrupan en tres secciones: *i*) muestreo estadístico, *ii*) correlación lineal de variables y *iii*) regresión lineal, mismas que se describen a continuación. Se realizó el cálculo de las principales medidas de estadística descriptiva de las variables: irradiancia solar (G), temperatura ambiente promedio (T_m), temperatura ambiente mínima ($T_{mín.}$), temperatura máxima ($T_{máx.}$), temperatura de rocío (T_r), precipitación pluvial (P_p), humedad relativa (HR) y rapidez del viento (R_v), ver Tabla 1.

Variab le	Unidades	Media	Desviación típica	n
G	$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$	5,58	1,53	69124
T_m	°C	20,68	6,04	69388
$T_{mín.}$		15,70	6,94	69388
$T_{máx.}$		26,98	5,87	69388
T_r		11,99	8,52	69388
P_p	$\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$	2,29	6,39	61294
HR	%	61,38	20,50	69388
R_v	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	3,09	1,38	69407

Tabla 1 Estadística descriptiva de las variables climatológicas: media, desviación típica, y tamaño de la muestra, n , de cada variable

Fuente: *Elaboración propia*

3.1 Muestreo estadístico

La técnica de muestreo estadístico utilizada para este estudio es el estratificado para poblaciones finitas, la cual establece que el tamaño de la muestra depende de las variables:

Nivel de confianza, tamaño de la población, prevalencia (que en caso de desconocerse, considera un valor de 0,5, y esto permite obtener el mayor número de muestras (Martínez, 2012)), y de la precisión o error permitido. En la Ecuación 1, se presenta la forma para determinar el tamaño de la muestra para poblaciones finitas (Martínez, 2012):

$$n = \frac{Z^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{(N-1)e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

Z: nivel de confianza

N: tamaño de la población

p: prevalencia ($0 < p \leq 1$)

q: complemento de "p" a uno ($q = 1 - p$)

e: error de estimación ($0 \leq e \leq 1$)

En el Gráfico 1, se presenta el tamaño de la muestra en función de una población de cien elementos, para dos niveles de confianza. Considerando: $Z_{95\%}=1,96$ y $Z_{99\%}=2,58$; $N=32$; $p=0,5$; $q=0,5$; $e=0,15$, el tamaño de la muestra es: $n=19$ o 19 estados o municipios. El tamaño de la muestra tiene una dependencia cuadrática respecto al nivel de confianza, es decir; a mayor nivel de confianza, mayor será el tamaño de la muestra, asimismo, la precisión o error permitido, también influye de manera significativa en el tamaño de la muestra, a menor error permitido, mayor será el tamaño de la muestra.

La selección de las muestras fue acorde a la superficie del territorio de cada estado de la república mexicana, normalizado a la superficie total del país; es decir, el área total de la superficie de la república se divide por el número de estados o muestras, este dato representa la superficie mínima que debe tener un estado para poder considerarlo como una muestra.

Las muestras se tomaron de los principales municipios de los estados seleccionados aleatoriamente: Campeche, Chetumal, Chihuahua, Chilpancingo, Ciudad Juárez, Ciudad Victoria, Culiacán, Durango, Guadalajara, Guaymas, Hermosillo, La Paz, Mexicali, Monterrey, Morelia, Puebla, Saltillo, Tuxtla Gutiérrez y Xalapa.

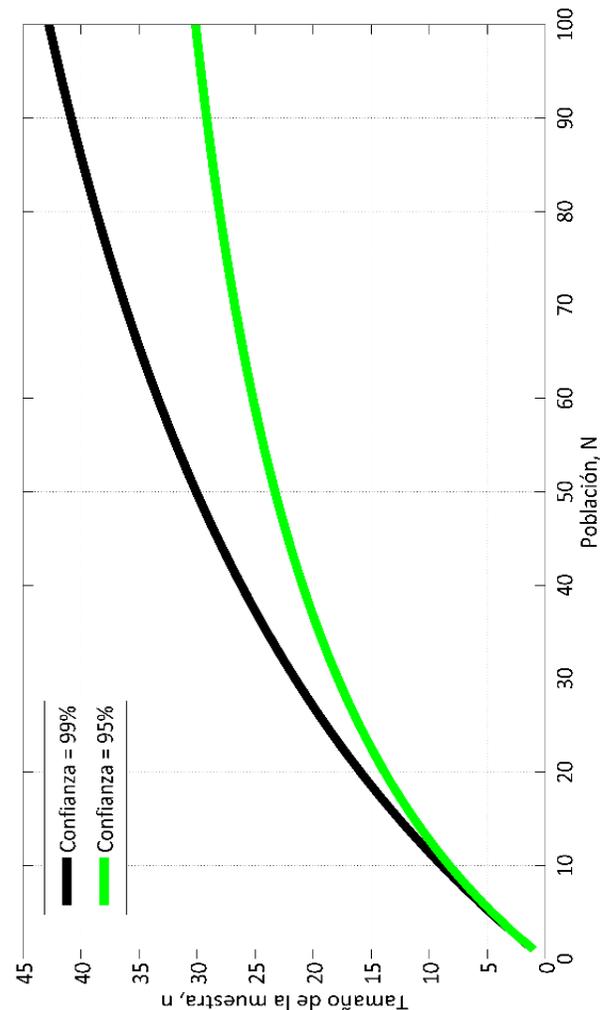


Gráfico 1 Tamaño de la muestra versus población para dos niveles de confianza: $Z_{95\%}=1,96$ y $Z_{99\%}=2,58$

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 1 se presenta el código en Matlab utilizado para reproducir el Gráfico 1 a partir de la Ecuación 1.

3.2 Correlación lineal de variables

Para analizar la relación que presentan las variables climatológicas de interés, se realiza un estudio de correlación lineal de *Pearson* y *Spearman*. El cálculo de estos coeficientes permiten establecer de manera cuantitativa la forma en que dos variables numéricas se relacionan entre sí, es decir, conocer si ambas aumentan o disminuyen de manera simultánea, o si una variable disminuye mientras la otra aumenta, o viceversa, inclusive si las variables no tienen relación alguna, lo cual sucede para fenómenos no lineales o aleatorios (Zou *et al.*, 2013).

Se realiza el cálculo de ambos coeficientes de correlación con fines comparativos, además de que el coeficiente de correlación de *Spearman* es robusto a la presencia de datos atípicos; es decir, si ambos coeficientes para un mismo par de variables es similar, se descarta la presencia de datos atípicos. En la Tabla 2, se muestra el grado de la correlación: perfecta, fuerte, moderada o débil, y el tipo de correlación: positiva o negativa; cuando el coeficiente de correlación tiene un valor de cero, significa que las variables no se relacionan o presentan una correlación nula.

Tipo	Grado	Coefficiente
Negativa	Perfecta	$r = -1$
	Fuerte	$-1 < r \leq -0,8$
	Moderada	$-0,8 < r < -0,5$
	Débil	$-0,5 \leq r < 0$
Positiva	Perfecta	$r = 1$
	Fuerte	$0,8 \leq r < 1$
	Moderada	$0,5 < r < 0,8$
	Débil	$0,5 \leq r < 0$

Tabla 2 Clasificación del coeficiente de correlación en función del grado y tipo

Fuente: elaboración propia con información de (Zou *et al.*, 2013; Nieves *et al.*, 2010)

En la Tabla 3 se muestran los resultados del análisis de correlación lineal de *Pearson*.

Se observa que algunas variables presentan una correlación positiva o negativa; fuerte, moderada y débil, pero ninguna variable presenta una correlación nula.

Variable	G	T _m	T _{mín.}	T _{máx.}	T _r	P _p	HR
T _m	0,41						
T _{mín.}	0,22	0,94					
T _{máx.}	0,55	0,89	0,69				
T _r	-	0,65	0,81	0,33			
P _p	-	0,10	0,19	-0,04	0,27		
HR	-	0,01	0,28	-0,33	0,74	0,32	
R _v	0,06	-	-	-0,06	-	-	-

Tabla 3 Coeficientes de correlación lineal de *Pearson* del conjunto de variables climatológicas analizadas

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se muestran los resultados del análisis de correlación de *Spearman*, los cuales muestran una similitud con los obtenidos con la correlación de *Pearson*. Las variables tienen una correlación positiva o negativa; fuerte, moderada y débil, aunque ninguna variable presenta una correlación nula. A partir de las Tablas 3 y 4, se identificaron las variables que presentan una correlación fuerte o moderada, todas de tipo positivo, con valores entre 0,55 y 0,94, ver Tabla 5.

Variable	G	T _m	T _{mín.}	T _{máx.}	T _r	P _p	HR
T _m	0,40						
T _{mín.}	0,21	0,93					
T _{máx.}	0,55	0,87	0,66				
T _r	-0,01	0,67	0,84	0,35			
P _p	-0,23	0,10	0,22	-0,08	0,38		
HR	-0,39	0,02	0,28	-0,31	0,70	0,46	
R _v	0,13	-0,13	-0,19	-0,01	-0,32	-0,20	-0,32

Tabla 4 Coeficientes de correlación lineal de *Spearman* del conjunto de variables climatológicas analizadas

Fuente: Elaboración propia

Relación	Pearson	Spearman	Media
	r	rs	0,5(r + rs)
Tmín.(Tm)	0,94	0,93	0,94
Tmáx.(Tmín.)	0,69	0,66	0,68
Tmáx.(Tm)	0,89	0,87	0,88
Tmáx.(G)	0,55	0,55	0,55
Tr(Tmín.)	0,81	0,84	0,82
Tr(Tm)	0,65	0,67	0,66
HR(Tr)	0,74	0,70	0,72

Tabla 5 Coeficiente de correlación linear de Pearson y Spearman de las variables que presentan una correlación positiva moderada y fuerte, se muestra el valor de ambos coeficientes y su promedio

Fuente: *Elaboración propia*

3.3 Regresión lineal por mínimos cuadrados

Habiendo identificado las variables que presentaron una correlación fuerte o moderada, se realizó un análisis de regresión lineal mediante la técnica de mínimos cuadrados, para obtener la ecuación de la recta de cada par de variables, la cual consiste en determinar el valor de la ordenada al origen, a , y la pendiente o razón de cambio, b , de la variable independiente, x , y la variable dependiente, y , así como el coeficiente de determinación de cada ajuste, el error del cálculo de cada coeficiente, a y b . Los detalles de esta metodología puede consultarse en las referencias (Devore, 2008) y (Martínez 2012), Las ecuaciones obtenidas del análisis de regresión lineal tienen la forma de la Ecuación 2, y los coeficientes obtenidos para cada par de variables se presentan en la Tabla 6.

$$y(x) = a + bx \quad (2)$$

Relación	Coeficientes		Error		
	a	b	a	b	R2
Tmín.(Tm)	-6,6363	1,0798	0,0321	0,0015	0,88
Tmáx.(Tmín.)	17,7917	0,5853	0,0398	0,0023	0,48
Tmáx.(Tm)	9,0826	0,8653	0,0362	0,0017	0,79
Tmáx.(G)	15,0745	2,1322	0,0705	0,0122	0,31
Tr(Tmín.)	-3,6046	0,9936	0,0469	0,0027	0,66
Tr(Tm)	-6,9015	0,9136	0,0878	0,0041	0,42
HR(Tr)	39,9048	1,7905	0,0898	0,0061	0,55

Tabla 6 Coeficientes de regresión lineal para cada par de variables que presentan una correlación moderada o fuerte

Fuente: *Elaboración propia*

En todos los casos, el error de ambos coeficientes de regresión lineal, a y b , es menor del 10%, lo cual indica que la regresión lineal es confiable para poder estimar valores específicos de una variable, en un amplio intervalo de valores, mientras que el coeficiente de determinación, R^2 , oscila entre 0,31 y 0,88 para las siete relaciones estudiadas.

3.3.1 Ecuaciones de la recta

La gráfica de dispersión de cada relación de variables mostradas en la Tabla 5, se presentan en los Gráficos 2 al 8, las ecuaciones de la recta se muestran en las ecuaciones 3 a la 9. En el Anexo 2 se presenta la nomenclatura completa de este trabajo.

$$T_{mín.}(T_m) = 1,0798T_m - 6,6363 \quad (3)$$

$$T_{máx.}(T_{mín.}) = 0,5853T_{mín.} + 17,7917 \quad (4)$$

$$T_{máx.}(T_m) = 0,8653T_m + 9,0826 \quad (5)$$

$$T_{máx.}(G) = 2,1322G + 15,0745 \quad (6)$$

$$T_r(T_{mín.}) = 0,9936T_{mín.} - 3,6046 \quad (7)$$

$$T_r(T_m) = 0,9136T_m - 6,9015 \quad (8)$$

$$HR(T_r) = 1,7905T_r + 39,9048 \quad (9)$$

En el Gráfico 2, se presenta la gráfica de dispersión y la línea de tendencia de la temperatura ambiente mínima y la temperatura ambiente promedio; en el Gráfico 3, se presenta la gráfica de dispersión y la línea de tendencia de la temperatura ambiente máxima y la temperatura ambiente mínima; en el Gráfico 4, se presenta la gráfica de dispersión y la línea de tendencia de la temperatura ambiente máxima y la temperatura ambiente promedio; en el Gráfico 5, se presenta la gráfica de dispersión y la línea de tendencia de la temperatura ambiente máxima y la insolación solar diaria; en el Gráfico 6, se presenta la gráfica de dispersión y la línea de tendencia de la temperatura de rocío y la temperatura ambiente mínima; en el Gráfico 7, se presenta la gráfica de dispersión y la línea de tendencia de la temperatura de rocío y la temperatura ambiente promedio.

Finalmente, en el Gráfico 8, se presenta la gráfica de dispersión y la línea de tendencia de la humedad relativa y la temperatura de rocío.

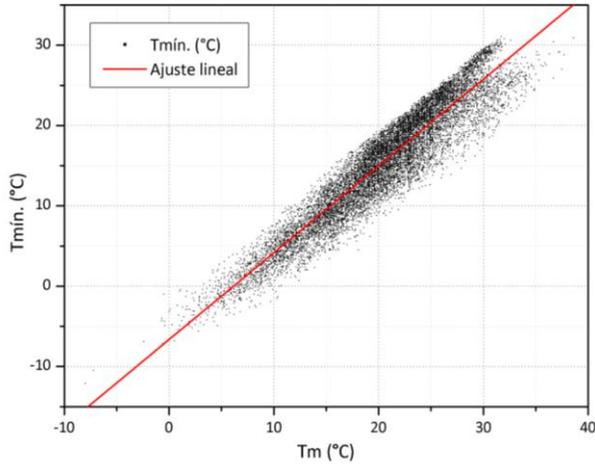


Gráfico 2 Temperatura ambiente mínima versus temperatura ambiente promedio
Fuente: Elaboración propia

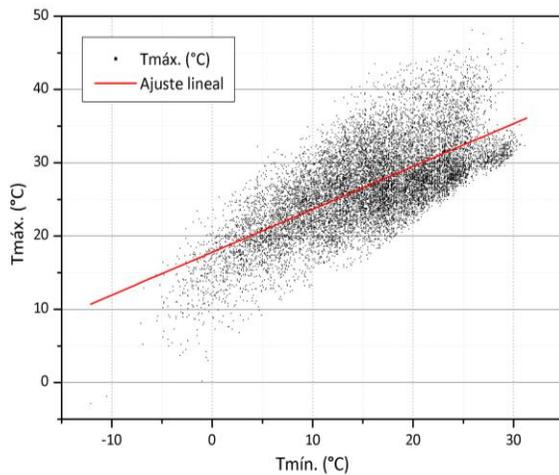


Gráfico 3 Temperatura ambiente máxima versus temperatura ambiente mínima
Fuente: Elaboración propia

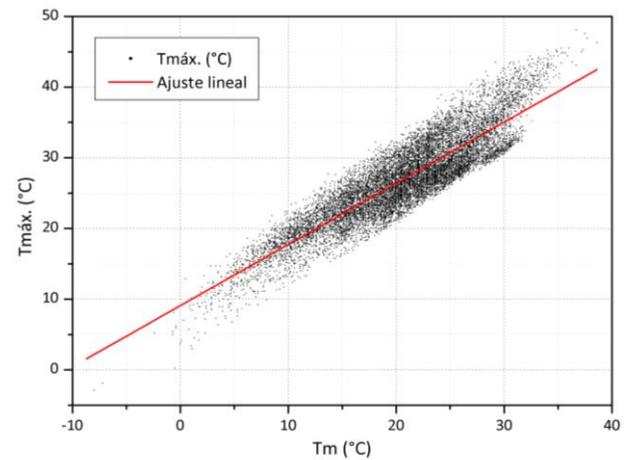


Gráfico 4 Temperatura ambiente máxima versus temperatura ambiente promedio
Fuente: Elaboración propia

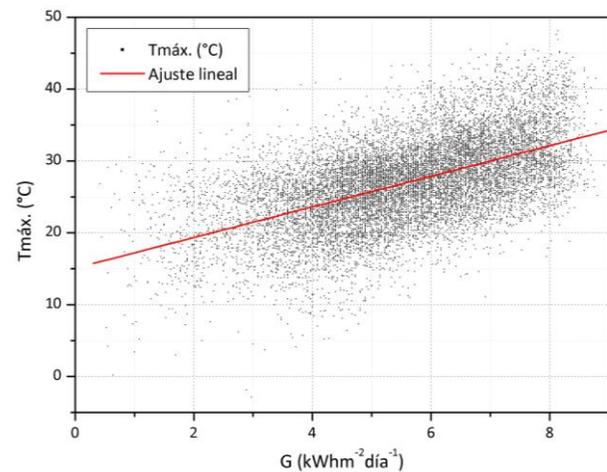


Gráfico 5 Temperatura ambiente máxima versus insolación solar diaria
Fuente: Elaboración propia

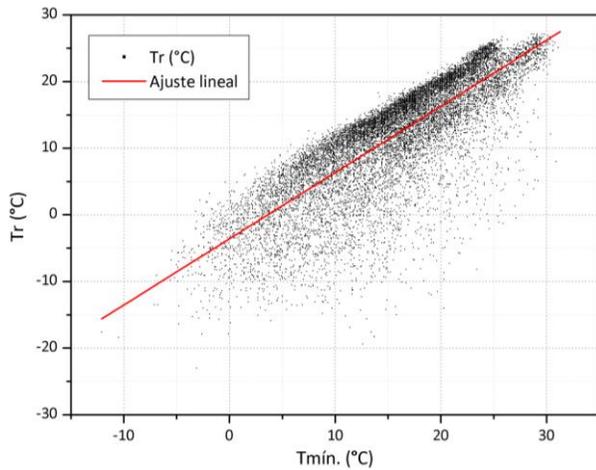


Gráfico 6 Temperatura de rocío versus temperatura ambiente mínima.

Fuente: *Elaboración propia*

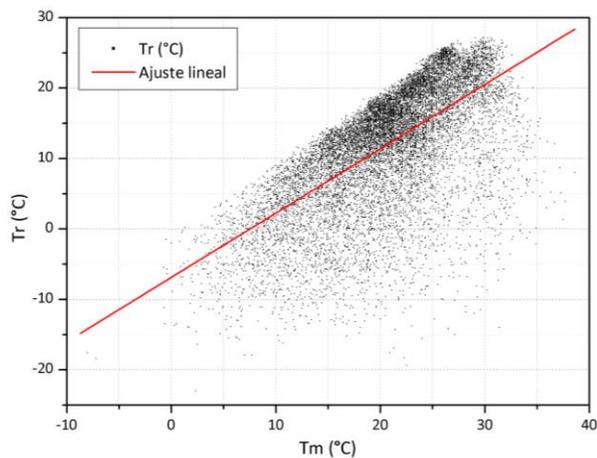


Gráfico 7 Temperatura de rocío versus temperatura ambiente promedio

Fuente: *Elaboración propia*

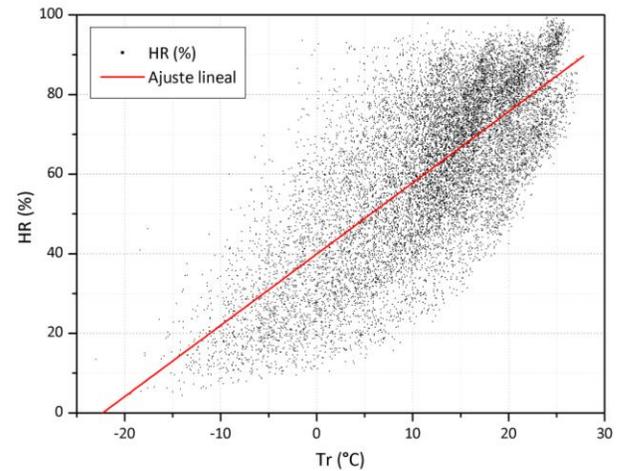


Gráfico 8 Humedad relativa versus temperatura de rocío

Fuente: *Elaboración propia.*

3.3.2 Extrapolación de la ecuación de la recta

En esta sección se realiza la extrapolación del ajuste o regresión lineal, en un amplio intervalo de valores, incluyendo el dato mínimo y máximo de las variables de interés, agrupadas respecto a la variable de la que dependen. Se utilizaron las Ecuaciones 3 a la 9.

En el Gráfico 9, se muestra la extrapolación de las variables $T_{mín.}$, $T_{máx.}$ y T_r en función de T_m , en un intervalo de -10 °C a 40 °C . La extrapolación de las variables T_r y $T_{máx.}$ en función de $T_{mín.}$, en un intervalo de -15 °C a 30 °C , se presenta en el Gráfico 10.

En el Gráfico 11, se muestra la extrapolación de la temperatura ambiente máxima, $T_{máx.}$, en función de la insolación solar diaria, G , en el intervalo cerrado de $0\text{ kWh}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}^{-1}$ a $10\text{ kWh}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}^{-1}$. Finalmente, la extrapolación del ajuste lineal de la humedad relativa, HR , en función de temperatura de rocío, T_r , en el intervalo de -22 °C a 30 °C , se presenta en el Gráfico 12.

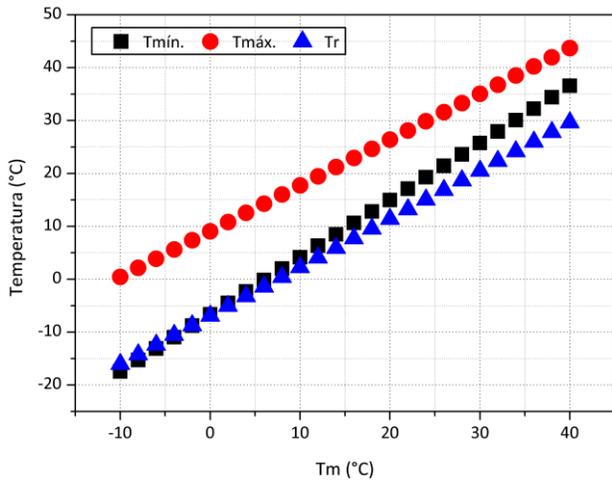


Gráfico 9 Temperatura ambiente mínima, máxima y de rocío en función de la temperatura ambiente promedio
Fuente: *Elaboración propia*

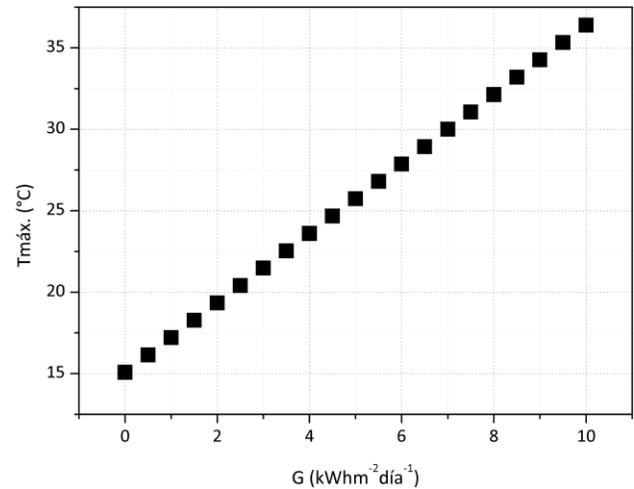


Gráfico 11 Temperatura ambiente máxima en función de la insolación diaria
Fuente: *Elaboración propia*

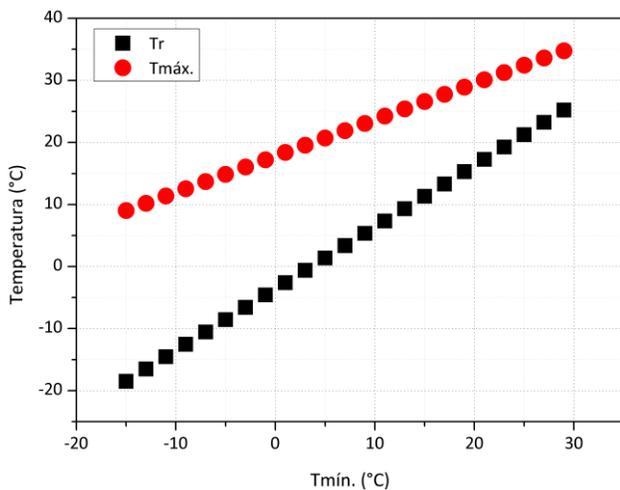


Gráfico 10 Temperatura ambiente máxima y de rocío en función de la temperatura ambiente mínima
Fuente: *Elaboración propia*

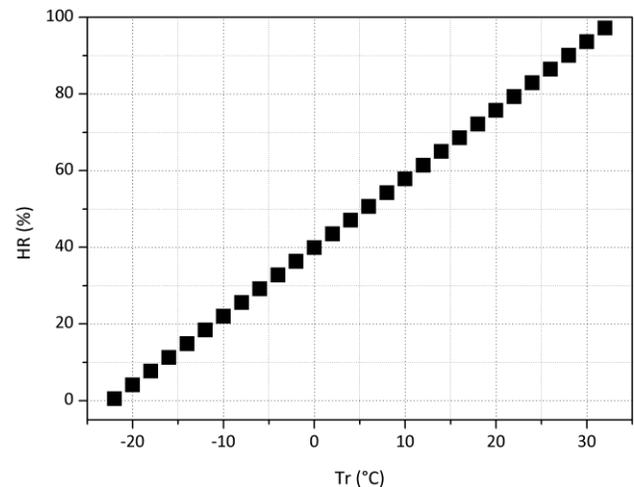


Gráfico 12 Humedad relativa en función de la temperatura de rocío
Fuente: *Elaboración propia*

4. Anexos

Anexo 1: Código en Matlab para determinar el tamaño de la muestra para una población finita
 close all; clear all; clc
 Z95=1.96; Z99=2.58; % Niveles de confianza
 p=0.5; % Prevalencia; q=1-p; % Complemento de q
 i=0.15; % Error permitido del estudio 15%
 % Tamaño de la población ingresada por el usuario

```

P=input('Escribe el tamaño de la población: ');
for N=1:P
n95(N)=(Z95^2*N*p*q)/(i^2*(N-
1)+Z95^2*p*q);
n99(N)=(Z99^2*N*p*q)/(i^2*(N-
1)+Z99^2*p*q);
end
N=1:P;
plot(N,n99,N,n95, 'linewidth', 5); grid on
xlabel('Población, N'); ylabel('Tamaño de la
muestra, n')
legend('Confianza = 99%', 'Confianza = 95%')
px=input('Tamaño de la población para conocer
tamaño de muestras: ');
display('El tamaño de la muestra es:')
display('Para un 95% confianza'); n95(px)
display('Para un 99% confianza'); n99(px)

```

Anexo 2 Nomenclatura

Símbolo	Descripción
a	Ordenada al origen (*)
b	Pendiente o razón de cambio (*)
e	Precisión o error permitido (adim.)+
G	Insolación diaria (kWh·m ⁻² ·día ⁻¹)
HR	Humedad relativa (%)
n	Tamaño de la muestra (adim.)
N	Tamaño de la población (adim.)
p	Prevalencia (adim.)
Pp	Precipitación pluvial (mm·día ⁻¹)
q	Complemento de la prevalencia (adim.)
r	Coefficiente de correlación de Pearson (adim.)
rs	Coefficiente de correlación de Spearman (adim.)
R ²	Coefficiente de determinación (adim.)
Rv	Rapidez del viento (m·s ⁻¹)
Tm	Temperatura ambiente promedio (°C)
Tmáx.	Temperatura ambiente máxima (°C)
Tmín.	Temperatura ambiente mínima (°C)
Tr	Temperatura de rocío (°C)
x	Variable independiente del ajuste lineal (*)
y	Variable dependiente del ajuste lineal (*)
z	Nivel de confianza (adim.)
* Adquiere la unidad de la variable a calcular	
+ Adimensional o de unidad uno.	

5. Agradecimientos

Al Ing. Reynel Contreras Carreño por su asistencia en la selección de la información utilizada para este estudio.

6. Contribución

Este estudio tiene la finalidad de servir como referencia para el diseño de ecotecnologías, como sistemas de captación de agua pluvial, destiladores solares, calentadores solares, sistemas de captura del vapor atmosférico, estufas ahorradoras de leña, entre otros, así como en arquitectura bioclimática, específicamente para el diseño de sistemas de ventilación cruzada, esto gracias al establecer la correlación que presentan algunas variables utilizadas en el diseño de estas tecnologías.

En algunas ocasiones se desconoce el valor de una variable climatológica o es difícil de medir; mediante la correlación y regresión lineal presentada en este trabajo de investigación, es posible predecir o estimar una variable desconocida, empleando una variable existente o que se puede medir con relativa facilidad; p.ej., si se desconoce la humedad relativa pero se conoce el valor de la temperatura de rocío, se puede determinar el valor de la humedad relativa utilizando la Ecuación 9. Inclusive, se pueden realizar despejes de estas ecuaciones para representar la relación inversa, p.ej., si se necesita conocer la insolación solar diaria, se puede obtener a partir de la Ecuación 6, sólo es necesario resolver para la variable de interés, *i.e.*, $G(T_{máx.})$:

$$G(T_{máx.}) = (T_{máx.} - 15,0745)/2,1322. \quad (10)$$

Los gráficos de extrapolación pueden servir como referencia visual para una persona que no tiene familiaridad con las ecuaciones descritas en este trabajo, y desee implementar alguna ecotecnología utilizando parámetros de referencia.

7. Conclusiones

Se presenta un análisis estadístico de correlación y regresión lineal empleando técnicas de muestreo estadístico estratificado para poblaciones finitas, de las principales variables climatológicas utilizadas para el diseño de ecotecnologías y arquitectura bioclimática. Las variables analizadas son: la temperatura ambiente (promedio, mínima, máxima, de rocío), precipitación pluvial, humedad relativa y rapidez del viento. Se determinaron las principales medidas de localización y de dispersión de cada variable climatológica, *i.e.*, media y desviación típica.

El tamaño de la muestra considerando un nivel de confianza de 95% es de 19 estados y/o municipios de la república mexicana. Se realiza el análisis de correlación lineal de la combinación del conjunto de variables, para determinar el grado y tipo de correlación que presentan. Con fines comparativos, se determina el coeficiente de *Pearson* y de *Spearman*. La rapidez de viento y la precipitación pluvial no presentan ninguna correlación con las demás variables, mientras que la temperatura ambiente mínima, máxima y de rocío tienen una correlación positiva con la temperatura ambiente promedio de: 0,94, 0,88 y 0,66, respectivamente; es decir, ambas variables aumentan o disminuyen simultáneamente.

Asimismo, la temperatura de rocío y la temperatura máxima presentaron una correlación positiva respecto a la temperatura ambiente mínima: moderada y fuerte, respectivamente. La humedad relativa se correlaciona positivamente a la temperatura de rocío, con un coeficiente de 0,72; y la insolación solar diaria tiene una correlación positiva de 0,55 respecto a la temperatura máxima, siendo el par de variables climatológicas con el menor grado de correlación.

De cada par de variables moderada o fuertemente correlacionadas, se obtuvo su ecuación de la recta mediante la técnica de regresión lineal por mínimos cuadrados. Todas las ecuaciones de la recta de cada par de variables, presentan una pendiente, b , positiva, y una ordenada al origen, a , diferente de cero, lo cual indica que ninguna línea cruza el origen del eje de las ordenadas o eje y . El error en el cálculo de cada coeficiente de la regresión lineal, a y b , es menor al 10%, y el coeficiente de determinación, R^2 , oscila entre 0,31 y 0,88, para las variables de menor y mayor grado de correlación; es decir, para la función $T_{máx.}(G)$ y $T_{máx.}(T_m)$, respectivamente.

Todas las gráficas de dispersión muestran una pendiente positiva. Se logró obtener un conjunto de ecuaciones y gráficos que pueden servir como referencia para el diseño de ecotecnologías y arquitectura bioclimática en un amplio intervalo de valores de temperatura, insolación solar diaria y humedad relativa.

8. Referencias

- Barret K. R. (1999). Ecological engineering in water resources: The benefits of collaborating with nature. *Water International, Journal of the International Water Resources Association*, (24), 182-188.
- Devore Jay L. (2008). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 7^{ma} ed. Cengage Learning.
- Martínez Bencardino C., (2012). Estadística y muestreo. 13 ed. Bogotá. Ecoe Ediciones.
- Nieves Hurtado A., Domínguez Sánchez F.C., Gutiérrez Banegas A.L. (2010). Probabilidad y estadística: un enfoque moderno. 1^{ra} ed. Mc Graw Hill.

Ortiz Moreno J.A., Masera Cerutti O.R. Fuentes Gutiérrez A.F., (2014). La ecotecnología en México. 1^{ra} ed. Unidad de ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas – UNAM. Imagia Comunicación.

Solarte Imbachi M.A. (2014). Revolución Industrial. Extraído de: <http://ecotegno.blogspot.mx/2014/06/revolucion-industrial.html> el 12 de junio de 2017.

Zou K.H., Tuncali K., Silverman S.G. Correlation and simple linear regression. Radiology, 227: 617-622, 2013.