

Caracterización del fenómeno “Isla Urbana de Calor” en la zona central de la ciudad de Guayaquil

Carlos Palacios Portés

Characterizing of “Urban Heat Island” phenomenon in central zone of city of guayaquil

Resumen

El presente artículo tiene como finalidad la determinación de las condiciones físicas que ocasionan el fenómeno de la isla urbana de calor en el casco comercial de la ciudad de Guayaquil, un sector cuya apariencia actual ha sido imitada en todos los procesos de restauración urbana locales. Para ello se procedió a realizar el levantamiento in-situ de los perfiles térmicos de veinte y tres intersecciones viales a lo largo de un transecto de estudio, junto con la cuantificación de las masas térmicas intervinientes según los materiales de cobertura y sus capas subyacentes hasta una profundidad de sesenta y un centímetros bajo el nivel de piso terminado; además se estimó la producción de calor antropogénico al evaluar la intensidad de edificación y usos de suelo en la zona de estudio, y se computó los porcentajes de cielo visible respectivos en función de la geometría urbana que ocasionan los edificios, árboles y la topografía en general. Se espera que, con los resultados obtenidos, el modelo numérico generado sea un punto de partida para las futuras investigaciones del clima urbano que apunten a predecir los efectos derivados de la replicación de estas coberturas en sectores con similar grado de consolidación de geometría urbana.

Palabras claves: isla urbana de calor, calor antropogénico, coberturas urbanas, geometría urbana, masa térmica de edificios.

Summary

This paper deals with the determination of the physical conditions that cause the urban heat island phenomenon in the central zone of the city of Guayaquil, a place of which actual appearance has been replicated in every local process of urban regeneration. In order to achieve this, it was necessary to take in-situ thermal profiles of twenty three street intersections along a study transect, with the quantification of thermal masses in accordance with coverage materials and their underlying layers one foot depth down the finished floor elevation; besides worked with the estimated anthropogenic heat production after evaluate the built intensity and land use in the study zone, finally calculated sky view factors caused by buildings, vegetation and topography in general. With the results, the numeric model will be a starting point for future urban climate investigations that are intended to predict the effects of replication of these covers in other urban zones with similar urban geometry.

Keywords: urban heat island, anthropogenic heat, urban covers, urban geometry, building thermal mass.

Introducción

Dentro de toda ciudad existen sectores urbanos consolidados con materiales de cobertura y geometría urbana características que, debido a sus propiedades térmicas, definen microclimas particulares y forman zonas con capacidades diferentes de acumulación diurna de energía térmica y liberación nocturna de la misma; a los sectores que registran lecturas más elevadas de temperatura que su entorno se los conoce como “islas de calor”. ⁽¹⁾

En las ciudades de países desarrollados en donde el monitoreo del clima urbano es importante se elaboran modelos numéricos a partir de registros meteorológicos y de catastro municipal con datos de fuente remota y de campo para determinar la evolución de la intensidad del fenómeno; consecuentemente se desarrollan políticas de mitigación y prevención que apuntan a la elección de los materiales de cobertura para contribuir a consumos energéticos eficientes de operación en las edificaciones ⁽²⁾⁽³⁾. De momento en la ciudad de Guayaquil (2°25'S; 79°47'W) *¹ las investigaciones al respecto son incipientes pero, en base a la experiencia de otras grandes ciudades, se conoce bien que las principales causas del fenómeno residen en la presencia de obras civiles de bajo albedo con grandes masas térmicas, gran actividad antropogénica y disminuido factor de cielo visible.

Los contenidos mostrados a continuación están basados en los resultados de la investigación “Isla de calor en expansión: El futuro térmico de la zona residencial en desarrollo de la autopista Guayaquil-Salinas desde el km10 hasta el km26”

⁽⁴⁾, en donde se identificó por vía terrestre las propiedades y respuesta térmica de seis zonas urbanas consolidadas de la ciudad de Guayaquil reconocidas como islas de calor para definir sus perfiles térmicos representativos en función del factor de cielo visible SVF, energía irradiada P , flujos de calor antropogénico Q_a y la capacidad térmica de la obra civil C_s . Como objeto de análisis de este artículo se ha tomado la isla de calor de la zona central (casco comercial) porque es la de mayor intensidad y porque es el actual estereotipo de expresión de materiales y texturas de cobertura para todos los procesos de restauración urbana que se dan en otros sectores de la ciudad.

Los hallazgos encontrados serán de vital importancia en los procesos de planificación urbana y control de edificaciones en observación a su contribución en la mitigación de la expansión del fenómeno isla de calor, además de que proveerán de un punto de partida para futuras investigaciones del clima urbano local que puede complementarse con información de fuente remota financiada por el estado nacional.

Materiales y métodos

Esta investigación partió de la asunción axiomática de que el fenómeno Isla Urbana de Calor existe en la zona central de la ciudad de Guayaquil, pues posee las características urbanas que ocasionan típicamente el fenómeno (edificios altos, escasa vegetación) y en la imagen satelital infrarroja de la figura 1 se muestra como una franja muy calurosa por sus tonos más pigmentados en azul.

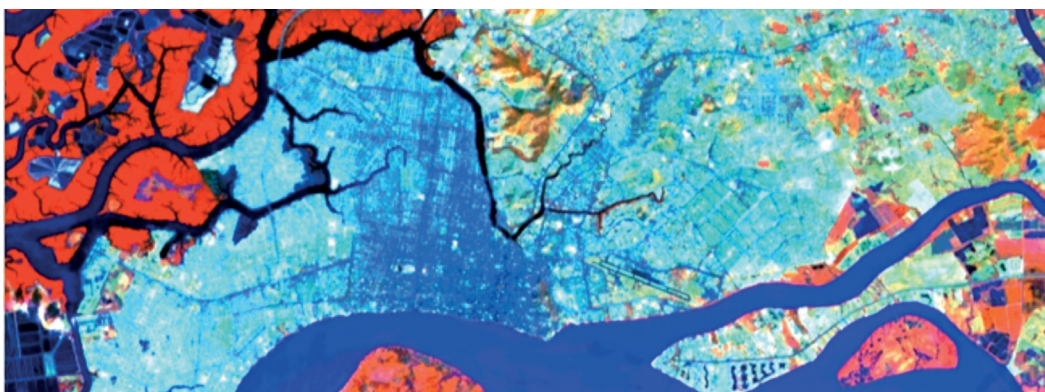


Figura1: Imagen satelital infrarroja de la ciudad de Guayaquil

Fuente: Dirección de la Dirección de Ordenamiento e Infraestructura Territorial – M.I. Municipalidad de Guayaquil

¹ * Dato disponible en http://www.tutiempo.net/clima/Guayaquil_Simon_Bolivar/842030.htm

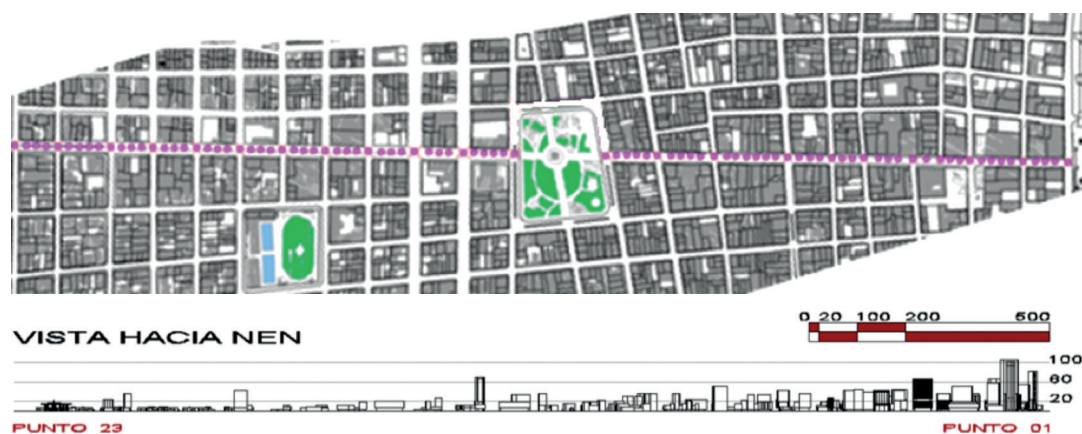


Figura 2: Transecto del Blvd. 9 de octubre (T:01-23) y sección longitudinal.

Fuente: Elaboración propia a partir del plano de catastro vigente de la M.I. Municipalidad de Guayaquil.

Para facilitar la toma de datos de campo se definió una ruta vehicular a lo largo de la avenida más importante de la zona central de Guayaquil, el Blvd. 9 de octubre, con sus veinte y tres intersecciones viales desde el malecón Simón Bolívar Palacios (Av. 12NE/SE) hasta la Av. Tungurahua (Av. 10NE/NO), en adelante también referido como T:_{01.23}. La línea segmentada en color magenta de la figura 2 indica la forma y recorrido de T:_{01.23} y a la vez muestra una sección longitudinal con vista hacia el Norte-Este-Norte que representa la geometría urbana formada por los edificios.

Al revisar la literatura, se encontró apropiada la forma en que en el estudio de las causas de la Isla de Calor nocturna de la ciudad de Belo Horizonte, Brasil ⁽³⁾ se relaciona la masa térmica de los edificios BM [kg/m²] y el factor de cielo visible SVF [%] con las temperaturas del aire T [°C] que fueron tomadas también a lo largo de recorridos vehiculares; no obstante, a efectos de tener en cuenta otros agentes antropogénicos con sus propiedades térmicas incluidas, esta investigación reemplazó la variable de masa térmica de edificios BM por la capacidad calorífica por unidad de superficie Cs [MJ.K⁻¹.m⁻²] que además incluye la masa térmica M/A [kg/m²] de aceras, calzadas y áreas verdes y las multiplica por su calor específico respectivo; reemplazó la temperatura instantánea del aire por la diferencia promedio de temperaturas ΔT [K] y los porcentajes SVF fueron convertidos a coeficientes. También se agregó el poder emisivo de cada muestra G [m²] que resulta del producto del área vista de los materiales de acabado por el valor de su emisividad ^{*2} y, por último, se asignó valores presuntivos de flujos de calor antropogénico Qa [W/m²] según el tipo de zona climática de cada zona de estudio ⁽⁶⁾.

La intensidad del fenómeno Isla Urbana de Calor se mide por la diferencia aritmética de temperaturas nocturnas simultáneas entre el sector urbano más caluroso de una ciudad y un sector rural ⁽¹⁾. En el caso de Guayaquil, a la fecha de la investigación no existían estaciones meteorológicas fijas en zonas rurales, por lo que se tomó como referencia “rural” a los datos reportados por la estación 842030 (SEGU) del antiguo aeropuerto Simón Bolívar. En cada punto muestreado se trabajó diariamente con la diferencia aritmética de temperaturas entre la lectura instantánea de la estación móvil y el registro de la estación fija para después obtener promedios.

A efectos de evitar distorsiones significativas en los datos tomados en campo, se recorrió vehicularmente el transecto en máximo treinta minutos con un termómetro digital de bolsillo dentro de una garita meteorológica portátil. Por cada intersección vial se promedió aritméticamente diez lecturas tomadas a altura del estándar meteorológico sin la afectación de agentes comprometedores como precipitación, ráfagas de viento y cercanía con radiadores. Los registros fueron tomados por varios días consecutivos dentro del mismo rango horario (de 20h30 a 22h00) en los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2010 en las veinte y tres intersecciones viales que corresponden a este transecto.

También se realizó el procesamiento de la información cartográfica obtenida de la M.I. Municipalidad de Guayaquil; primero se modeló tridimensionalmente los edificios, topografía y vegetación existente con la ayuda de “Autodesk AutoCad 2011”, luego se exportó el archivo a “Autodesk Ecotect Analysis

^{2*} La expresión del poder emisivo G resulta de la asociación de las variables A y ϵ de la ley de Stefan: $P = \sigma \cdot A \cdot \epsilon \cdot \Delta T^4$ [W]

2011” para obtener la proyección estereográfica en cada una de las veinte y tres intersecciones viales a nivel de la calzada para finalmente exportarlas en formato de imagen al programa “MATLAB Sky View Factor Calculator” para el cómputo del factor de cielo visible. El trabajo gráfico asistido por computador fue de utilidad para cuantificar las superficies de cobertura de edificios, aceras, calzadas y zonas verdes existentes en cada muestra y así determinar su capacidad calorífica en base a tablas de peso y calor específico de los materiales intervinientes hasta una profundidad de sesenta y un centímetros a partir del nivel del suelo (profundidad del plano de temperatura constante en latitudes ecuatoriales a nivel del mar); en esta investigación se entiende que una muestra describe un polígono con forma de cruz ya que abarca todas las masas existentes desde el punto de intersección de los ejes viales concurrentes y se extiende hasta la mitad de las cuatro cuadras que la rodean.

Todos los datos obtenidos fueron tabulados en el programa “Microsoft Excel 2007” para generar diagramas de dispersión con sus respectivos modelos numéricos de regresión lineal múltiple.

Resultados y discusión

Como todo casco comercial, en la zona céntrica de Guayaquil la mayor actividad antrópica está concentrada en horas del día, pero después de las 19h00 el tránsito vehicular y peatonal disminuye dramáticamente. Las lecturas de temperatura del transecto T₀₁₋₂₃ fueron tomadas desde las 20h30 hasta las 22h00. El Blvd. 9 de octubre es una vía principal con apariencia física uniforme en todas las intersecciones viales, es un ambiente altamente urbanizado que ha sido sometido a restauración de coberturas urbanas con la superposición de adoquines de hormigón en colores rojo y gris oscuro sobre las calzadas originales de hormigón armado y de hormigón asfáltico, y con revestimiento de porcelanato antideslizante de color rojo sobre los pavimentos de hormigón simple paleteado de las veredas originales.

La tabla 1 resume el cómputo de superficies de los distintos materiales de cobertura realizado a partir del plano de catastro de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil. Los datos delatan que, de toda la superficie horizontal muestreada (178075.46 m²), el 46.60% responde al área ocupada por la planta baja de los edificios; 21.50% y 8.35% equivalen al revestimiento de calzadas por adoquines y hormigón asfáltico respectivamente y; 13.77% y 6.90%, son las coberturas respectivas de porcelanato rojo y pavimento de hormigón simple en las veredas.

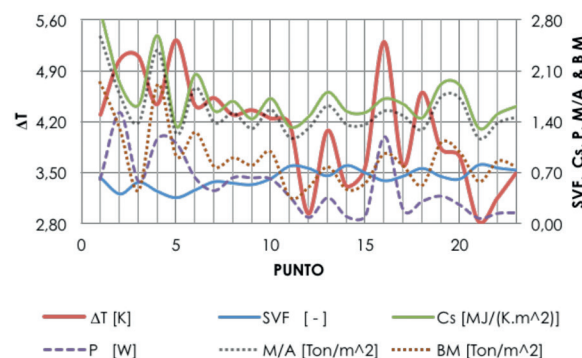
Aunque no coincidieron proporciones significativas de áreas verdes en los puntos muestreados, está claro cuáles son los materiales típicos de la regeneración urbana de Guayaquil que han de replicarse en otros sectores.

	Material de cobertura	Porcentaje
TRANSECTO T ₀₁₋₂₃	porcelanato rojo	13,77%
	hormigón simple	6,90%
	hormigón asfáltico	8,35%
	adoquín vehicular de hormigón	21,50%
	áreas verdes	1,76%
	adoquín peatonal de arcilla	1,12%
	ocupación del suelo	46,60%
		100,00%

Tabla1: Materiales de cobertura intervinientes en el Blvd. 9 de octubre.

Fuente: Resumen del Cuadro3 de la tesis “Isla de calor en expansión: El futuro térmico de la zona residencial en desarrollo de la autopista Guayaquil-Salinas desde el km10 hasta el km26”

El diagrama1 permite visualizar el comportamiento simultáneo de las variables medidas en cada punto muestreado del transecto, la escala vertical de la izquierda reporta los valores de diferencia de temperatura ΔT , mientras que la de la derecha es para los valores SVF, Cs, P, M/A y BM.



Distribución espacial de: ΔT , SVF, Cs, P, M/A y BM

Diagrama1: Variables térmicas del Blvd. 9 de octubre

Fuente: Datos tomados del Diagrama2 de la tesis “Isla de calor en expansión: El futuro térmico de la zona residencial en desarrollo de la autopista Guayaquil-Salinas desde el km10 hasta el km26”

En promedio, el sector presenta una diferencia de temperaturas de 4.12K con respecto a la estación referencial, el valor máximo se registra en el

punto05 con 5.32K y el mínimo en el punto21 con 2.83K. Por su parte, el punto01 se reporta como el de mayor masa térmica por unidad de superficie con un valor de 2.57Ton/m², mientras que el punto21 registra el menor valor con 1.17Ton/m². El lugar que posee el mayor peso de edificios se mantiene en el punto01 y registra 1.94Ton/m², mientras que el más ligero marca 0.37Ton/m² en el punto11. El punto01 arroja la mayor capacidad térmica por unidad de superficie con 2.92MJ.K⁻¹.m² y el punto21 1.32 MJ.K⁻¹.m². El punto02 registra la mayor potencia irradiada con 1.52W, mientras que el punto21 indica 0.07W. En cuanto a visibilidad del cielo, el mínimo valor está en el punto05 con 0.36puntos, mientras que el máximo es de 0.81 en el punto21.

En comparación a las intensidades del fenómeno Isla Urbana de Calor que se han registrado en ciudades similares a Guayaquil, el valor de 5.32K reportado en el punto05 está catalogado como "fuerte" (5).

Al revisar primero todos los datos de BM y SVF con ΔT se encontró clara coherencia con la explicación determinada en el modelo de Lara Goncalves para Minas Gerais (5), en donde los incrementos de temperatura se relacionan con el incremento de BM y disminución de SVF; lo que es posible comprenderlo al comparar la figura2 con el diagrama1 ya que, en el caso del presente estudio, un menor valor de SVF significa la presencia de edificios más altos que incrementan el peso de cada metro cuadrado de muestra y con ello aumentan la energía térmica almacenada. Se pudo constatar cualitativamente que las temperaturas más frescas se manifiestan en los

lugares con cercanía a las áreas verdes del parque Centenario (puntos 11 y 12) y que las más altas se registran cerca del río Guayas (punto01), este particular se debe a la inercia térmica de las masas: mientras los árboles generan entornos más frescos porque liberan rápidamente durante la noche la energía térmica que acumularon durante el día en sus copas, además de que protegieron los pavimentos de la radiación directa solar, los cuerpos de agua se toman más tiempo en liberarla y mantienen entornos más calurosos.

Además de lo anterior, se estudió también la relación con los factores de Cs, G y Qa; como ya se indicó, el primero se obtuvo a partir de los datos ya conocidos de M/A, BM y calores específicos, el segundo se lo extrajo de la ley de Stefan y, el último fue tomado de la tabla de clasificación de zonas climáticas de Oke y Stewart (4). Se encontró que desde el punto01 hasta el punto11, las características de la zona responden al denominado LZ4 que es capaz de producir hasta 50W/m² de calor antropogénico; mientras que desde el punto12 hasta el punto23, la zona coincide con las características de LZ5, con una capacidad de producción de hasta 25W/m² de calor antropogénico.

El análisis de variables de la tabla 2 permitió constatar que a medida que SVF decrece y Cs, G, M/A y BM y Qa van en aumento, ΔT tiende al incremento. ΔT mantiene una correlación moderada en proporción inversa con SVF; una correlación débil en proporción directa con Cs, una correlación débil en proporción directa con G y parcial en proporción directa con Qa.

Correlaciones

Variables	SVF	Cs	G	Qa	ΔT	ΔT
SVF	1,0000					-0,7426
Cs	-0,3632	1,0000				0,1958
G	-0,6364	0,6222	1,0000			0,3347
Qa	-0,7796	0,3860	0,5634	1,0000		0,6203
ΔT	-0,7426	0,1958	0,3347	0,6203	1,0000	1,0000

Tabla2: Correlaciones entre variables térmicas del Blvd. 9 de octubre.
Fuente: Resumen del Cuadro14 de la tesis "Isla de calor en expansión: El futuro térmico de la zona residencial en desarrollo de la autopista Guayaquil-Salinas desde el km10 hasta el km26"

Lo anterior determinó que el modelo de regresión lineal múltiple que más se ajusta a la realidad térmica de la zona central de la ciudad de Guayaquil, representada por el transecto del Blvd. 9 de octubre responde a los siguientes parámetros:

$$\Delta T' = 6.9946 - 4.3711SVF + 0.025Cs - 1.88E-05G + 0.0082Qa$$

Este modelo será de especial utilidad para visualizar los efectos que surtiría el cambio de materiales

de cobertura dentro de la misma geometría urbana ante un nuevo proceso de restauración urbana.

Comentarios finales

El hombre debe aceptar que el fenómeno Isla Urbana de Calor es indestructible ⁽⁶⁾ y tiene que aprender a vivir con él de manera sustentable...

La presente investigación estableció una primera caracterización del fenómeno Isla Urbana de Calor en la zona central de la ciudad de Guayaquil con la identificación y representación espacial de las propiedades térmicas de los puntos de muestra situados en cada una de las veinte y tres intersecciones viales posibles del transecto de estudio trazado a lo largo del Blvd. 9 de octubre. Se determinó por vía terrestre que, a medida que aumentan la capacidad calorífica y el poder emisor de la obra civil y disminuye el factor de cielo visible, la temperatura del aire a nivel del suelo urbano entre las 20h30 y las 22h00 tiende a ser mayor que la que se regis-

tra simultáneamente en la estación meteorológica 842030 (SEGU) del antiguo aeropuerto.

No obstante lo obtenido, todo sistema de información termo-gráfica debe ser objeto de actualización perenne y no puede estar limitado exclusivamente a la investigación por vía terrestre de temperaturas, al contrario, debe aspirar también al cruce de datos de monitoreo remoto con registros históricos, a la medición en tiempo real de flujos de calor antropogénico y al ensayo de propiedades térmicas de los materiales de construcción. Con la finalidad de desarrollar medidas de mitigación de los impactos ambientales derivados del fenómeno, así como la reducción de consumos energéticos, se recomienda verificar el modelo numérico dentro de los escenarios futuros más probables en los sitios destinados a alojar procesos de expansión urbana planificada, como la autopista Guayaquil-Salinas, y en aquellos que están sujetos a restauración urbana con tendencia de replicar coberturas.

Bibliografía

1. Climate Protection Partnership Division U.S. Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency. EPA. [Online] <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>.
2. Hitchcok, David. Urban Heat Island Policies Measures: Examples. [Draft] Houston, Texas : Houston Advanced Research Center, 2007.
3. Reducing urban heat island effects: A systematic review to achieve energy consumption balance. Shah-mohamadi, P. (6), s.l. : International Journal of Physical Sciences, June 2010, Vol. 5. ISSN 1992 -1950.
4. Palacios Portés, Carlos. Isla de calor en expansión: El futuro térmico de la zona residencial en desarrollo de la autopista Guayaquil-Salinas desde el km10 hasta el km26. Guayaquil, Ecuador : Universidad de Guayaquil, 2012.
5. dos Santos, Iara Goncalves; Lima, Henrique Gazzola de; Assis, Eleonoar Sad de. A comprehensive approach of the sky view factor and building mass in urban area of the city of Belo Horizonte, Brazil. http://nargeo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/P_3_12.pdf. [Online] august 21, 2003. [Cited: march 23, 2012.] <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=a%20comprehensive%20approach%20of%20the%20sky%20view%20factor%20and%20building%20mass%20in%20an%20urban%2>.
6. Oke, Tim; Stewart, Iain. American Meteorological Society - Journals Online. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. [Online] december 12, 2012. [Cited: march 23, 2012.] <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=circle%20issn%20university%20of%20british%20columbia%20redefining%20the%20urban%20heat%20island&source=web&cd=1&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fjournals.ametsoc.org%2Fdoi%2Ffull%2F10.1175%2FBAMS-D-11-00019.1&ei=A03>. Online ISSN: 1520-0477.
7. Stewart, Iain Douglas. Local Climate Zone Classification System. Department of geography. [Online] october 19, 2011. <http://www.geog.ubc.ca/urbanflux/resources/lcz.pdf>.

Artículo recibido: 22/Julio/2013

Fecha aprobado: 05/Agosto/2013



◀ Arq. Carlos Palacios Portés.

Título Obtenido: Arquitecto. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Guayaquil.

Magíster en Impactos Ambientales, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Diplomado Superior en Pedagogía Universitaria Facultad de ingeniería industrial.

Docente de Proyectos V, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Email: cpalacios_arq@yahoo.com