

## *Aplicación de sistemas de información geográfica en el análisis de la isla de calor urbana.*

Raúl Matos, PPL. (Planificador Profesional Licenciado)  
Profesor de Agrimensura, PUPR

Marisol Rodríguez, PPL.

---

### **SINOPSIS**

*La isla de calor urbana es un fenómeno que surge por el crecimiento de las ciudades no adaptado a las condiciones naturales preexistentes. Es definido como las diferencias en temperaturas entre las ciudades y su periferia rural no edificada. Para efectos de esta investigación se estableció una metodología utilizando una imagen de satélite con la cual se definiría la condición de isla de calor urbana en el municipio de Caguas.*

### **ABSTRACT**

*An urban heat island has been described as the difference in temperature between the city and its peripheral rural area. It is caused mainly by the growth of the city not taking into consideration the conditions previous to the settlement. This study designed a methodology to define the urban heat island in the municipality of Caguas, using a Landsat satellite image.*

## **I- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **A- INTRODUCCIÓN**

Los asentamientos urbanos del mundo son portadores de problemas complejos. La expansión acelerada y desarticulada que ha enfrentado la mayoría de ellos los ha llevado a producir una baja calidad de vida. Cuando se habla de problemas como el estrés, la contaminación, la congestión vehicular y el ruido excesivo, éstos son relacionados directamente con la ciudad. Se plantea que el ser humano vive en un medio ambiente ajeno al que le corresponde por naturaleza.

Al hacerse cada vez más necesario para el ser humano escapar de estas situaciones complejas, invariablemente busca estar en contacto con la naturaleza. Evidencia de esto puede ser el éxodo temporero que se observa en los fines de semana con el cual cientos de personas abandonan sus hogares en las ciudades en busca de espacios que les permitan experimentar algún contacto con la naturaleza, principalmente en playas o en el campo.

Este dilema plantea el hecho que el ser humano sólo ha subsistido en la vida de ciudad y no se ha adaptado a ella, como lo hacen otras especies ante un cambio en su hábitat. Esto presenta un fenómeno contradictorio ya que el origen de las ciudades se basa, precisamente, en la necesidad de la especie en cohabitar en ambientes más seguros para su supervivencia, interacción con sus congéneres, posterior desarrollo y sofisticación de su ambiente social. El ser humano ha creado un medio ambiente cada vez más ajeno a su naturaleza; por lo tanto, las crecientes contradicciones con la ciudad son endógenas a las actividades de la misma.

Toda esta cadena de problemas que se pueden observar en las ciudades se debe mayormente a la falta de adaptación de los nuevos desarrollos urbanos al paisaje natural existente. El rompimiento con esta relación hace que en las grandes ciudades se encuentren problemas de inundaciones, escorrentías rápidas, ruido, contaminación y cambios en el patrón del clima, entre otros. Esta necesidad de desarrollos que se encuentran interrelacionados a la naturaleza ya ha sido planteada históricamente, como lo ejemplifica el concepto de la ciudad jardín de Ebenezer Howard<sup>1</sup>.

Como alternativa a toda esta complejidad de situaciones creadas en las ciudades, surgen en las mismas proyectos de parques urbanos y otras intervenciones para forestación de las áreas urbanizadas<sup>2</sup>.

En el caso de Puerto Rico se pueden identificar tres factores principales que ayudan a moldear lo que son hoy las ciudades puertorriqueñas y los fenómenos medioambientales que en ellas ocurren. Estos son: el patrón de expansión urbana, el modelo de desarrollo económico y la dependencia del automóvil.

### **B- ISLA DE CALOR URBANA**

Se ha planteado cómo el proceso de urbanización y los procesos que lo acompañan pueden generar condiciones desagradables a los

seres humanos. Relacionados a la expansión de la ciudad, las combinaciones de actividades productivas que se dan en la misma, los medios de transportación y la contaminación del aire provocado por todos éstos, se encuentra el incremento térmico y su mayor efecto en las zonas urbanas es lo que los científicos han denominado la isla de calor urbana. Se puede identificar un patrón de crecimiento similar en las zonas urbanas en Puerto Rico. Sin embargo el tema de la isla de calor urbana nunca ha sido considerado en los estudios sobre la ciudad en Puerto Rico.

Las diferencias de calor generadas entre las zonas urbanas y sus periferias rurales se conocen como el fenómeno de la isla de calor urbana. Son varios los elementos que ayudan a la formación del mismo encontrándose entre ellos las industrias, la deforestación masiva, la estructura de la ciudad y los sistemas de transportación de áreas urbanas. El asfalto, el concreto y los metales utilizados en la construcción de la ciudad, mientras reciben radiación durante el día, lo almacenan, dadas sus características mecánicas. En las tardes, cuando se reducen los niveles de irradiación solar y la temperatura del aire se reduce, los materiales de las superficies en las zonas urbanas comienzan a liberar el calor que acumularon durante el día. A su vez la temperatura en las áreas rurales se reduce con más rapidez que en el área urbanizada, por haberse acumulado el calor en menor cantidad, dado que hay menos superficies construídas y que la vegetación utiliza la energía solar para el proceso de fotosíntesis. Es entonces cuando mejor se distinguen las diferencias en temperaturas que definen el fenómeno de la isla de calor.

En combinación a los elementos mencionados, los gases emitidos por motores de combustión interna (tanto de automóviles individuales, transporte colectivo y otros), las industrias, las emisiones de aires acondicionados y los polvos fugitivos con componentes metálicos amplifican el efecto del fenómeno en la ciudad. Estos quedan expuestos al no haber cubierta vegetal que los pueda capturar.

El tema de isla de calor urbana ha sido percibida desde tiempos remotos<sup>3</sup>. No obstante, la verificación científica de su existencia data de principios del siglo XIX, en estudios llevados a cabo por el químico Luke Howard<sup>3</sup>. Posterior al trabajo de Howard aparecen los trabajos de Emilien Renou (1868) donde reafirma la existencia de estas diferencias térmicas entre la ciudad y su periferia<sup>4</sup>. Otros estudiosos continuaron comprobando la existencia del fenómeno en otras ciudades pero no

es hasta la década del cincuenta del presente siglo que Gordon Manley (1958)<sup>4</sup>, agrupa las diversas investigaciones sobre el particular bajo el nombre de *isla de calor urbana*.

A partir del trabajo de Manley comienzan a proliferar estudios relacionados a la isla de calor urbana. Estos van desde la definición teórica y la investigación sobre su generación hasta estudios aplicados sobre modificación térmica y la generación de modelos urbanos óptimos para la reducción del impacto de la ciudad sobre las temperaturas, entre otros.

Entre los estudios relacionados es particularmente importante el de Oke<sup>5</sup> donde establece relaciones entre la isla de calor y el tamaño de la ciudad, de acuerdo al número de habitantes en la misma. Sobre el particular también Marsh<sup>6</sup> aporta una descripción del fenómeno de isla de calor, las variaciones de la misma entre sectores de una misma ciudad y la proposición de un esquema sobre el tratamiento que se le debe dar al mismo. Este es propuesto desde la perspectiva de la planificación y el diseño urbano a través de la introducción de diversos tipos de cubierta vegetal en la ciudad. La vegetación en la ciudad viene a ser entonces elemento de prevención y mitigación del fenómeno de isla de calor urbana. La misma es utilizada como herramienta para la planificación y el diseño urbano analizando el potencial de atenuación de la irradiación solar sobre las superficies técnicas, la ampliación de la circulación del viento a nivel del terreno, la reducción del impacto de diversos tipos de contaminantes que flotan en el aire, la reducción de la presencia de superficies selladas ampliando la captación de agua y reduciendo la absorción de calor por las superficies.

La rápida expansión de las ciudades puede ser asociada con un constante aumento en las temperaturas. Akbari y cols.<sup>7</sup> han promediado el aumento en temperaturas entre 0.5 a 1 grado Fahrenheit por década en áreas urbanizadas en crecimiento. Según estos, la demanda por electricidad aumenta entre 3 y 4 por ciento por un aumento de entre 1.5 y 2 grados Fahrenheit. Se estima que entre un 3 y un 8 por ciento de la demanda utilizada para el enfriamiento de edificios en Estados Unidos se utiliza solo para compensar los efectos de la isla de calor. Científicos del Laboratorio Lawrence Berkley estiman en mil millones de dólares anuales el costo necesario para compensar los efectos de la isla de calor en las ciudades de los Estados Unidos<sup>7</sup>.

El patrón espacial de este fenómeno

generalmente se muestra de forma concéntrica a la ciudad, lo que significa que el mismo variará con el tamaño y densidad de edificación de la misma. Otros elementos que ayudan a definir la isla de calor es la población total de la ciudad, el nivel de concentración de la misma y la fisiografía donde se ubica. El efecto de la isla de calor muestra variaciones entre una ciudad costera y una ciudad ubicada en un valle. Ciudades grandes, de densidad alta, con un clima calmado\* y soleado producen mayores islas de calor.

Los elementos contaminantes mencionados anteriormente crean una especie de cúpula en la atmósfera la cual genera el efecto de inversión térmica sobre la ciudad evitando que la radiación solar escape<sup>6</sup>. Este efecto se manifiesta bajo condiciones de calma climática. Cuando no se cuenta con estas condiciones la nube de polvo es disipada por los vientos. Algunos estudios demuestran que el aumento en la nubosidad y la precipitación en áreas urbanas se debe mayormente a las condiciones de la atmósfera urbana<sup>6</sup>.

Los efectos de la isla de calor en los humanos son muchos, pasando la mayoría de ellos en forma desapercibida para sus habitantes. Ya han sido mencionados los costos económicos que éstos representan, no sólo para los consumidores si no también a los gobiernos por la necesidad de adquirir mayores cantidades de combustible para la generación de energía. Un mayor consumo de energía representa a la vez una mayor generación de contaminantes y la necesidad de mayores facilidades especializadas para la disposición de los mismos. También son de consideración los efectos a la salud de las personas, principalmente por enfermedades en el sistema respiratorio pero sin descontar las producidas por el agotamiento provocado por calores extremos. En los Estados Unidos existen datos que relacionan casos de muertes con periodos de calor excesivo conocidos como el síndrome de calor humano<sup>6</sup>. Se asocia también los calores extremos de las ciudades con problemas en el sistema cardiovascular y con una reducción los niveles de esperanza de vida<sup>6</sup>.

### C- IMPORTANCIA DE LA VEGETACIÓN/ISLA DE CALOR

Existen varios métodos para la mitigación del fenómeno de la isla de calor urbana. Entre éstos,

trabajar con la geometría de la ciudad, la implantación de superficies claras que reduzcan el nivel de almacenamiento de calor y la naturación de espacios urbanos. El método tal vez más utilizado para combatir la isla de calor, es la introducción de vegetación en la ciudad o naturación de espacios urbanos. Con este se busca generar espacios verdes en las zonas urbanas, bien sea por la introducción de árboles, generación de bosques urbanos y la naturación de superficies de edificios. La vegetación en la ciudad es un factor de primer orden en el análisis sobre la calidad de vida para sus residentes, indistintamente del estrato social en la que se desenvuelvan. En situaciones donde se han reducido y marginado los espacios verdes, los indicadores sobre calidad de vida reflejan degradación de la misma al comparar series históricas. Los árboles y la vegetación en general en las zonas urbanas tienen una serie de beneficios que en ocasiones pasan desapercibidos para los habitantes de la ciudad.

Uno de estos beneficios es la reducción de niveles de contaminación en la atmósfera. Los árboles sirven de filtros para el aire que se respira. No es casualidad escuchar a las personas señalar la pureza del aire que se respira en el campo. Otros beneficios son la reducción de calor que se puede lograr al producirse sombra, reducir la irradiación solar directa sobre las estructuras y así reducir parcialmente la demanda de energía para el funcionamiento de acondicionadores de aire en las oficinas y hogares. Esto, aunque no parezca significativo, representa un ahorro considerable de dinero a los consumidores y, en última instancia, al estado. Por ejemplo, un edificio de 334.5m<sup>2</sup> (3,600 pies cuadrados) de construcción en condiciones de temperatura exterior de 89° F Bulbo seco<sup>†</sup> necesita un aire acondicionado central de capacidad mínima de 207,889 Btu/hora. Para condiciones de temperatura exterior de 88°F requiere un equipo de 205,567 Btu/hora. Entonces a disminución de 1°F Bulbo seco representa una reducción de 2,322 Btu/hora. En equipos modernos de eficiencia energética de 10 Btu/W esto representa una reducción en consumo de 232.2 W/hora. En un año esa diferencia representaría un ahorro en consumo de 847,530 W (847.53 KW). Si el tiempo de operación del aire acondicionado es de 10 horas diarias entonces ésta reducción representará 2.322KW/día que al precio actual de

\*"Clima Calmado" - Que se encuentra en calma o ausente de turbulencias.

<sup>†</sup>Temperatura de bulbo seco - temperatura medida utilizando un termómetro típico.

\$0.10 por KW es igual a \$0.2322 diarios. En un año el ahorro será de \$84.75 por cada grado Fahrenheit de temperatura que se logre reducir para cada 3,600 pies cuadrados de área ocupada. Es importante señalar que el estimado anterior puede verse afectado por otras condiciones tanto estructurales como en el ambiente exterior.

En el orden urbano, se puede mencionar que la localización de árboles y espacios abiertos, además del embellecimiento, la sombra que producen y la reducción de altos niveles de ruido, muchos sirven para ocultar edificaciones y proveer espacios de recreación y relajación.

En el año 1991 el Instituto Urbano del Suelo (ULI) junto a la Sociedad Americana de Arquitectos Paisajistas (ASLA) estudió once proyectos de desarrollo para identificar si el dinero dedicado a la conservación de árboles y a la generación de espacios abiertos justificaba el valor añadido a los costos del desarrollo<sup>8</sup>. Encontraron que no sólo se justificaba sino que, la preservación y generación de los mismos, representaban un aumento en ganancias de entre el 5 y 15 por ciento, dependiendo el tipo de desarrollo. El elemento vegetación en los desarrollos aumentó las capacidades de venta del proyecto y generó mayor nivel de competitividad a los desarrolladores que decidían incluir la misma en sus proyectos, contrario a los que optaban no hacerlo.

Otro estudio realizado por la Asociación Nacional de Constructores de Hogares (NAHB) indicó que los desarrolladores que decidan establecer planes de enverdecimiento en sus desarrollos pueden tener ahorros en su inversión, generar ingresos y aumentar su prestigio. En Puerto Rico se cuenta con el ejemplo de la comunidad Sabanera, en Cidra (ver mapas), el cual ha sido elogiado localmente por la efectiva integración del complejo residencial al entorno natural preexistente. Este estudio reveló que aquellos solares con árboles se vendían entre un 20 y un 30 por ciento más caros que otros solares similares pero que no cuentan con árboles.

#### **D- MÉTODO DE APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE LA ISLA DE CALOR**

Tradicionalmente, la identificación de la isla de calor se ha realizado tomando temperaturas en el lugar de estudio, generando con éstos valores isotermas, las cuales ayudan a identificar la intensidad del fenómeno en diferentes puntos del espacio estudiado. Sin embargo la complejidad de la toma de datos y los recursos necesarios para

emprender tal tarea hacen que ésta sea de difícil aplicación para el presente proyecto. En Puerto Rico existe solamente un estudio que toca el tema de la isla de calor. En este, Cruz Báez utilizó información de la banda termal de una imagen producida por el "Thematic Mapper" para demarcar el fenómeno en parte del área Metropolitana de San Juan<sup>9</sup>. El presente trabajo seguirá en parte esta metodología. Constituye el primero que aplica un análisis de este tipo al campo de la planificación.

Este tipo de estudio de la isla de calor urbana utilizando imágenes de satélites es de reciente generación. El análisis del componente termal de estas imágenes, unido a la extracción de datos sobre vegetación de otras bandas ha abierto todo un nuevo campo de investigación y nuevos métodos de estudio para el fenómeno de la isla de calor. Sensores tales como el "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR) y el Landsat MSS y TM son los más utilizados para estos fines<sup>10</sup>. Las imágenes de satélite pueden ser obtenidas de diferentes fuentes a nivel internacional. En el caso de Puerto Rico uno de los mayores proveedores es el gobierno de los Estados Unidos.

En los últimos años los sistemas de información geográfica se han convertido en una herramienta de primer orden en la toma de decisiones en diferentes profesiones. Su aplicación se generaliza cada vez más siendo utilizados para identificar, resolver y programar en torno a problemas de índole urbana y ambiental, entre otros. En este estudio su utilización conlleva dos fines. Inicialmente para la identificación de la isla de calor, segundo para la identificación de zona potenciales de conservación de vegetación.

## **II- AREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA**

La metodología presentada es una que en términos generales puede ser aplicada en cualquier zona urbana en Puerto Rico y con pequeñas variantes en zonas urbanas de otros países. Para efectos del presente estudio se ha seleccionado al municipio de Caguas como espacio para la aplicación de la metodología. La zona urbana de Caguas ha evolucionado de una manera vertiginosa en los últimos 40 años. Esto la ha llevado a ser una de las principales ciudades de Puerto Rico. El rápido crecimiento poblacional genera una serie de condiciones que acentúan las islas de calor, estableciéndose así que la isla de calor varía proporcionalmente con el tamaño de la zona urbana y la cantidad de población que en ella habita. Esto hace que el municipio de Caguas sea un espacio

interesante para el estudio y definición de la isla de calor y por ende para la aplicación de la metodología establecida. Además de las condiciones humanas que la hacen interesante se encuentran las de tipo físico. La condición de valle en que se encuentra el centro urbano plantea unas condiciones climáticas especiales. Entre estas se pueden mencionar las inversiones térmicas de valles, patrón de circulación de los vientos y la concentración de nubes de contaminación entre otros.

#### A- DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El Municipio de Caguas está localizado en la porción central este de Puerto Rico, contando con una extensión aproximada de 152 kilómetros cuadrados (58.68 millas cuadradas). Ocupa el 1.7% del territorio de Puerto Rico. Caguas colinda por el norte con los municipios de Trujillo Alto y San Juan, por el este con Gurabo, por el sureste con San Lorenzo, por el suroeste con Cayey y al oeste con Cidra y Aguas Buenas.

Sus características fisiográficas principales son: las tierras llanas y semillanas del valle central, el cual ocupa aproximadamente 41 kilómetros cuadrados (15.83 millas cuadradas) y se encuentra a una elevación promedio de 200 pies (60 metros) sobre el nivel del mar, las colinas al norte del valle con elevaciones entre los 300 y 800 pies (90-243 metros) sobre el nivel del mar y la zona más escarpada hacia el sur y el oeste que cuenta con elevaciones máximas de 2,000 pies (609 metros) sobre el nivel del mar<sup>11</sup>. Aunque se le llama Valle de Caguas, la extensión del mismo cubre parte del municipio de Gurabo.

El clima de la ciudad es característico de los valles. La topografía y la localización en el centro de la isla afecta el patrón de temperaturas y vientos que se registran. La oscilación en la temperatura diurna promedio para el año varía alrededor de 11 grados. El patrón de precipitación es influenciado enormemente por la orografía municipal. En las zonas sureste y suroeste, donde se encuentran las mayores elevaciones, las precipitaciones varían entre las 80 y 100 pulgadas anuales. En la zona del valle el promedio de precipitación es de unas 70 pulgadas anuales.

Incide en el término municipal el paso de elementos hidrográficos de gran importancia como son: el Río Grande de Loíza, el Río Turabo, el Río Caguaitas, el Río Cañas y el Río Bairoa. En la zona del barrio Bairoa se puede observar la unión del Río Grande de Loíza y el Río Gurabo donde también comienza la formación del Lago Carraizo, el cual es compartido con los municipios de Gurabo y Trujillo Alto. Estos ríos, unidos a otros elementos hidrográficos, crean un área inundable que cubre 10.9 Km<sup>2</sup> del territorio municipal, según el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio.

#### I- POBLACIÓN

Caguas se ha caracterizado en este siglo por dos marcadas tendencias poblacionales; el aumento consistente de su población y su transformación en municipio predominantemente urbano, patrón que ha sido general para Puerto Rico. Es importante considerar que la demarcación de áreas urbanas y rurales varía entre décadas de acuerdo a las definiciones censales. Cuando los datos arrojan variaciones en la tendencia inversa entre urbano, en

Tabla 1: Población rural y urbana. Municipio de Caguas.

Años	Total	Urbano	%	Rural	%
1950	60132	33759	56.14	26373	43.86
1960	65098	32020	49.19	33080	50.81
1970	95661	65629	68.61	30032	31.39
1980	117959	87111	73.85	30848	26.15
1990	133447	92429	69.26	41018	30.74

Fuente: Censo de Población y Viviendas, 1950 al 1990.

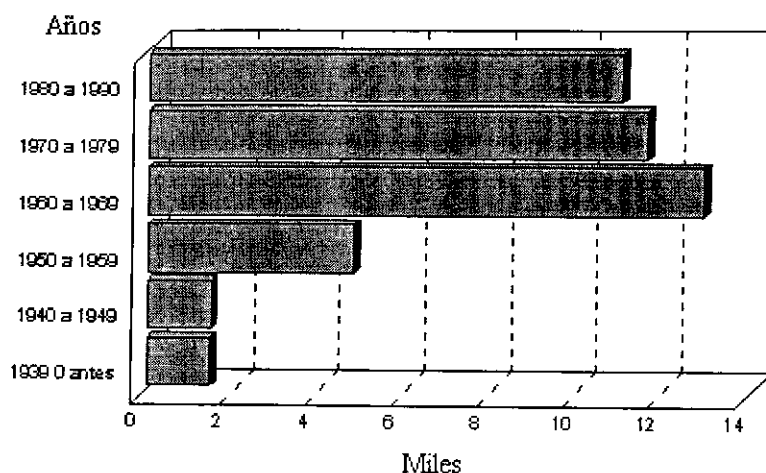


Figura 1: Año de construcción de viviendas. Municipio de Caguas.

Fuente: Censo de Población, 1990

aumento, y rural, en descenso, estas podrían ser explicadas no como un real retroceso al estado de la década precedente y sí como retraso en la inclusión de sectores de nueva urbanización al momento de recopilar los datos censales o como asentamientos suburbanos, intermedios entre rurales y urbanos.

## 2- VIVIENDA

El uso residencial que predomina en Caguas es el de baja densidad con solares que fluctúan entre los 300 y 400 metros cuadrados, con estructura típica de urbanización de una planta y en cemento. En los últimos años se puede observar la construcción de segundas plantas, muchas de ellas en madera. Además de estos desarrollos se encuentran los complejos de edificios multipisos, mejor conocidos como "townhouses", los desarrollos típicos de residenciales públicos (alta densidad) y los desarrollos de baja densidad que se generan mayormente en las periferias y las zonas rurales. En la actualidad existen en Caguas un total de 43,293 unidades de vivienda. El mayor porcentaje de estas fue construido en la década de 1960 cuando se construyeron 12,921 unidades de vivienda.

### B- METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES

La interpretación de imágenes termales y su distribución sobre el espacio no es tarea fácil. En la gran mayoría de los casos los esfuerzos deben ir dirigidos a la definición de patrones de temperaturas relativas más que los valores absolutos de la misma. Esto se debe principalmente

a que se torna sumamente difícil considerar o contar con los diferentes y numerosos factores que pueden llevar a tomar determinaciones cuantitativas al respecto. En cuanto a esto Short<sup>12</sup> señala que entre los factores que afectan la definición de valores absolutos a partir de la información obtenida de una imagen de satélite se encuentran:

- 1- Número y distribución de la clase de materiales que se encuentran en la superficie terrestre.
- 2- Variaciones en el ángulo de la insolación termal con relación a la posición del sensor.
- 3- Dependencia de la respuesta termal a la composición, densidad y textura de los materiales.
- 4- Emisividad de la superficie de los materiales.
- 5- Influencia del flujo de calor geotermal.
- 6- Irregularidades topográficas incluyendo elevación, ángulo de la pendiente y el aspecto.
- 7- Historial de precipitación, humedad del terreno, efectos enfriadores de la evapotranspiración en la superficie.
- 8- Características de la vegetación, la copa de las arboledas, forma de la hoja y planta.
- 9- Temperatura de las hojas como función de la evapotranspiración y la presión (stress) de las plantas.
- 10- Temperatura de aire en la superficie (entre 1 y 3 metros de la misma), humedad relativa y efectos del viento.
- 11- Historial de temperatura.
- 12- Nubosidad
- 13- Absorción y re-emisión de radiación termal debido a los aerosoles, vapor de agua y gases.

Esto implica la recolección de gran parte de estos datos al momento de paso del satélite sobre la

**Tabla 2: Bandas espectrales que componen el "Thematic Mapper"**

Banda	Longitud Onda (m)	Localización Nominal	Aplicación Principal
1	0.45-0.52	Azul	Penetración de agua, vegetación, rasgos culturales
2	0.52-0.60	Verde	Reflectancia del verde, análisis de vegetación
3	0.63-0.69	Rojo	Evaluación de clorofila, diferenciación de especies
4	0.76-0.90	Infrarrojo Cercano	Tipos de vegetación, humedad del suelo
5	1.55-1.75	Infrarrojo Medio	Humedad de la vegetación y diferenciar nieve de nubes
6	10.4-12.5	Infrarrojo	Aplicaciones termales
7	2.08-2.35	Infrarrojo medio	Estudio de minerales y rocas

Fuente: Cruz Báez, Angel D. *Ecología urbana y agricultura alternativa en San Juan, Puerto Rico*; JIP A.E.P Proceedings, Alemania, 1993.

superficie. Esto no resta méritos a la potencialidad de análisis que presentan las bandas termales. Estas pueden dar una orientación clara de las tendencias térmicas de un espacio. Sobre todo si el análisis se relaciona con las otras bandas existentes.

Para fines de este estudio, la imagen utilizada en el estudio fue provista por John Tomlinson y Marilyn Estades del Instituto de Estudio de Ecosistemas Tropicales. La escena fue capturada el 23 de octubre de 1989 a las 9:50 de la mañana y proviene del satélite Landsat 4. La imagen es de tipo Thematic Mapper (TM). La misma tiene 7 bandas y su resolución es de 30 metros por 30 metros, excepto en la banda termal, que es de 120 por 120 metros. La misma fue georeferenciada al sistema de coordenadas UTM Zona 19\*. Para este procedimiento se utilizó el módulo *Resample* del programa Idrisi†. Como cartografía adicional se utilizaron los Cuadrángulos Topográficos Caguas y Aguas Buenas provenientes del United States Geological Survey en formato digital. Estos fueron transformados al formato de lectura de Idrisi con el módulo DLG. Además se utilizaron los Mapas de Zonas Inundables generados por el Federal Emergency Management Agency (FEMA) y el Mapa de Suelos de Alto Potencial Agrícola

\* UTM - Universal Transverse Mercator, Zona 19, es la zona correspondiente a Puerto Rico.

† Idrisi - Programa para el análisis de imágenes de satélites desarrollado por la Universidad de Clark. En el estudio se utilizaron las versiones 1 y 2 para el sistema operativo Windows.

generado por el Departamento de Agricultura de Puerto Rico.

El propósito principal para la utilización de esta información digital es identificar por un método científico la existencia del fenómeno de estudio y aplicar los resultados al momento de tomar la decisión de cómo priorizar u organizar la programación de futuras posibles intervenciones.

Una vez importadas y georeferenciadas las diferentes fuentes de información a utilizar, se procedió a generar combinaciones de bandas cuyas características ayudarían en la identificación de la isla de calor. Estas combinaciones ayudan a identificar la dispersión de diferentes elementos en el territorio, a través de su descomposición del espectro de luz. La primera combinación fue con las bandas 1, 2 y 3, las cuales al combinarse resultan en una imagen con colores naturales. Esta combinación se realizó con el módulo COMPOSIT el cual combina y genera en una nueva imagen una combinación basada en las características de las bandas identificadas como las fuentes para la combinación.

La segunda combinación se trabajó con las bandas 2, 3 y 4. En esta combinación se simula el infrarrojo cercano. Esta combinación es buena para la distinción de la vegetación dado al alto nivel de absorción de la clorofila de las plantas por las bandas. En esta combinación a más intenso el color rojo, más saludable y densa es la vegetación. Con esta combinación las áreas urbanas aparecen con tonos azules y grises<sup>9</sup>. Al igual que en la primera combinación se utilizó el módulo COMPOSIT.

En la tercera combinación se generó un Índice de Vegetación Normalizado (NVI, por sus siglas en inglés). Esta imagen se obtiene por medio de la siguiente fórmula<sup>13</sup>:

$$IVN = \frac{IRC-R}{IRC+R}$$

donde IRC es la banda que representa al Infrarrojo Cercano y R es la banda que representa al color rojo. Mientras más amarillo aparezca en la imagen menos vegetación y mientras más rojo y verde más abundante y vigorosa es la misma. Esta combinación se realizó con el módulo VEGINDEX, el cual es un nuevo módulo que contiene la nueva versión del programa Idrisi, y el cual ejecuta la fórmula antes mencionada.

La cuarta imagen surge de la combinación de las bandas 3, 4 y 7. En esta se destaca el nivel de humedad de los objetos que se encuentran en la superficie. Los tonos de verde muestran las superficies con mayor humedad mientras que los suelos con mayores intensidades de violeta muestran menores niveles de humedad. También fue aplicado el módulo COMPOSIT para la generación de esta combinación.

La quinta imagen es el resultado del análisis de la banda termal. Dada la complejidad para el tratamiento de la misma se estableció un procedimiento particular para extraer datos de ésta. El primer paso fue transformar los valores crudos que contiene la banda a "Blackbody Temperatures". Esto se realizó con el módulo THERMAL del programa Idrisi. Para estimar la temperatura real de la superficie es necesario multiplicar los valores dados ("blackbody temperatures") por valores de emisividad<sup>†</sup> de los tipos de cobertura que están presentes en la superficie que se analiza.

Los tipos de cobertura se obtuvieron realizando una clasificación supervisada de la imagen que muestra el Índice de Vegetación Normalizado y estableciendo tres categorías: espacios en concreto, espacios vegetados y espacios con agua. Con el módulo ASSIGN se asignaron los valores de 0.92 a lo identificado con espacios en concreto, un valor de 0.95 a los espacios vegetados y un valor de 0.97

\* "Blackbody" - Es un cuerpo que emite y absorbe radiación termal de manera perfecta. La emisión de radiación se dá al máximo posible el cual es determinado por la temperatura del cuerpo.

† Emisividad - Se puede definir el concepto emisividad como la razón existente entre la radiación termal emitida por una superficie y la radiación emitida por un "Blackbody" del mismo tamaño y misma temperatura física.

a los espacios bajo agua<sup>‡</sup>. Se procedió entonces a multiplicar la imagen con los valores de emisividad asignados, por la banda termal con valores de "blackbodies". El producto es una imagen con valores de temperatura reales.

Se categorizó la imagen en cinco rangos de temperatura. Estos son:

- 1- Por debajo de los 75 grados F.
- 2- 75.1 a 80 grados F.
- 3- 80.1 a 85 grados F.
- 4- 85.1 a 90 grados F.
- 5- 90.1 grados F. o más

Una vez trabajadas estas combinaciones de bandas, se procedió a sobreponer el sistema vial e hidrográfico para realizar un análisis de las imágenes e identificar los lugares donde ocurre con mayor intensidad la isla de calor. Además, se procedió a identificar las zonas que, dadas sus características naturales, cuentan con gran potencial para el desarrollo de espacios verdes dentro en la ciudad. Estos espacios fueron relacionados con otros elementos como pueden ser la propensión a inundaciones, o el potencial agrícola de los mismos.

### III- RESULTADOS DEL ESTUDIO

El estudio de la isla de calor muestra dos vertientes bien marcadas. La primera reúne todos los estudios dirigidos a refinar la teoría con respecto al fenómeno y la segunda agrupa los estudios dirigidos a la mitigación del fenómeno en las ciudades<sup>15</sup>. El propósito de ésta investigación va dirigido a establecer una metodología que ayude en la formulación de propuestas correspondientes al segundo grupo: la mitigación del fenómeno. Para estos fines el trabajo principal de investigación se realizó utilizando una imagen de satélite. Este muestra ser un medio costo-efectivo de obtener información del territorio a estudiar. Dependiendo del tipo de sensor utilizado no sólo permite obtener información sobre el espacio urbano y las temperaturas que en ella se reflejan, sino también permite obtener datos sobre aspectos como la

‡ Para fines de éste estudio se toman los valores establecidos por Nichol E. Janet; "A GIS-Based approach to microclimate monitoring in Singapore's High-Rise housing Estates", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 60, No. 10, Octubre, 1994. Ella estableció los valores de 0.92 para espacios en concreto y 0.95 para espacios vegetados como valores del cálculo de emisividad.



vegetación y su condición, los niveles de humedad, calidad de las aguas y otros. Estas imágenes pueden cubrir gran espacio de terreno, contrario a las fotos aéreas las cuales han sido parte de las herramientas más útiles para el estudio de la distribución de fenómenos sobre la superficie terrestre.

Las combinaciones de bandas escogidas van dirigidas principalmente a medir dos fenómenos: intensidad de vegetación y exceso de calor. La primera combinación fue con las bandas 1, 2 y 3, las cuales resultan en una imagen (Mapa 1) con colores naturales. En ésta se notan las tonalidades de verde para los espacios periféricos a la ciudad y en los que todavía existe vegetación dentro de ésta. Los espacios urbanos se muestran con tonalidades de grises y los espacios erosionados o que se encuentran en construcción se muestran con colores amarillentos o tonos color arena. Las áreas de agua aparecen color negro. Se debe destacar la existencia de nubes en la imagen. Las mismas aparecen color blanco.

La segunda combinación generada se obtuvo con las bandas 2, 3 y 4 (Mapa 2). En ésta se simula el infrarrojo cercano. Esta combinación facilita la distinción de la vegetación dado al alto nivel de absorción de la clorofila de las plantas por las bandas. En ella los espacios vegetales mientras más densos más intensas son sus tonalidades de rojo. Las zonas urbanas aparecen con tonalidades de azul y gris. A mayor intensidad el tono azul, mayor densidad urbana.

En la tercera combinación se generó un Índice de Vegetación Normalizado (IVN). Esta imagen (Mapa 3) se obtiene por medio de la fórmula<sup>15</sup>:  $IVN = (IRC - R) / (IRC + R)$  donde IRC es la banda que representa al Infrarrojo Cercano y R es la banda que representa al color rojo. Las bandas correspondientes en el "Thematic Mapper" son la banda 4 para el infrarrojo cercano y la banda 3 para el rojo. Mientras más amarillo aparezca en la imagen menos vegetación y mientras más rojo y verde más abundante y vigorosa. Con tonalidades de color marrón aparecen las zonas húmedas, como lo es en el caso de la imagen de las zonas del Río Grande de Loíza.

La cuarta imagen (Mapa 4) es el resultado de la combinación de las bandas 3, 4 y 7. Al contener al menos una banda de onda corta, esta combinación debe su reflectancia al contenido de humedad en los materiales que se encuentran en la superficie. Las cubiertas con altos niveles de humedad se muestran con tonalidades que van del verde claro hasta el color negro. El ejemplo del extremo negro

lo puede constituir las zonas de ríos y el Lago Carraízo. Las zonas con poca humedad se reflejan con colores rosados y violetas.

La quinta imagen es el resultado del análisis de la banda termal (Mapa 5). Esta banda fue tratada con el módulo "Thermal" del programa IDRISI. Con este módulo se puede calcular los valores reales de temperatura en la superficie al momento de recogido de los datos por parte del satélite. Se debe recordar que la hora de paso del satélite fue las 9:50 de la mañana en el mes de octubre. Las temperaturas reflejadas varían desde los 78 grados Fahrenheit en la zona del Lago Carraízo hasta los 92 grados en el centro comercial Plaza Centro (punto de más calor). Para facilitar la lectura de la imagen, una vez calculadas las temperaturas reales del terreno se procedió a establecer cinco categorías. Estas categorías destacan los espacios donde se reflejan temperaturas bajo los 75 grados (color verde), temperaturas entre 75.1 y 80 grados (color amarillo), zonas con temperaturas entre los 80.1 y 85 grados (color anaranjado), zonas con temperaturas entre los 85.1 y 90 grados (color rojo) y zonas con temperaturas sobre los 90 grados (color violeta). Al observar la imagen se puede distinguir claramente que la temperatura promedio de la zona urbana fluctúa entre los 75 y 85 grados. Sin embargo, se distinguen claramente espacios por debajo y sobre tal categoría. Como espacios en los 75 grados o por debajo se encuentran zonas como donde se localiza el centro comercial Las Catalinas, los terrenos donde ubica el Fondo del Seguro del Estado, los terrenos adyacentes al peaje sur, los Montes de San Luis (Finca Longo), Montes Borrás, parque de pelota y espacio verde en Barriada Morales, terrenos al comienzo de la Avenida Muñoz Marín, los terrenos inundables al sur del centro comercial de Villa Blanca, la ribera del Río Cagüitas, los remanentes de la Central Santa Juana, terrenos adyacentes a la confluencia del Río Turabo y el Río Grande de Loíza, los terrenos inundables frente al Hospital HIMA, el Hospital Regional, los terrenos de la servidumbre de paso de la Autoridad de Energía Eléctrica y los terrenos adyacentes a la comunidad Villa Esperanza.

Como espacios que se encuentran sobre los 85 grados de temperatura se encuentran el centro comercial Plaza Centro (el de mayor temperatura con 91.2 grados F.), el centro comercial de Villa Blanca, el Parque Industrial Velázquez (Panasonic), el complejo de Ferreterías Massó, la escuela intermedia Nicolás Aguayo Aldea, el centro comercial de Villa del Carmen, el Parque Industrial de Bairoa, la Funeraria Parque de Luz junto al

centro comercial vecinal de Villa Guadalupe, el conglomerado del centro comercial Plaza del Carmen (con el centro comercial de Villa del Carmen y el Consolidated Mall), el Centro Judicial, la Farmacéutica Searle y los desarrollos de urbanización al oeste del Río Caguaitas.

Los resultados obtenidos del trabajo con estas imágenes muestran claramente los extremos que se buscaba identificar para establecer el plan de intervención posterior. Por un lado como puntos críticos en cuanto a temperatura se pueden señalar aquellos que en la imagen infrarroja y en el índice de vegetación normalizado no muestran grandes concentraciones de vegetación, en la imagen del infrarrojo lejano no muestran grandes niveles de humedad y en la banda termal muestran temperaturas sobre los 90 grados Fahrenheit. Los puntos que reúnen estas características son :

- 1- El centro comercial Plaza Centro
- 2- El Parque Industrial Bairoa
- 3- El conglomerado del centro comercial Plaza del Carmen, centro comercial Villa del Carmen y el Consolidated Mall.
- 4- Complejo de Ferreterías Massó
- 5- Centro Judicial
- 6- Escuela Nicolás Aguayo Aldea
- 7- Estacionamiento Lincoln
- 8- Parque Industrial Velázquez (Panasonic)
- 9- Corredor de la Avenida Degetau entre intersección con autopista PR 52 e intersección con Avenida Gautier Benítez
- 10- Corredor de la PR 172 desde la zona del Hospital Regional hasta de zona donde termina la sexta sección de Villa del Rey.
- 11- Corredor de la Avenida el Troche.
- 12- Funeraria Parque de Luz

No todos estos puntos reflejan características críticas en las imágenes. Los que presentan mayor incidencia en todas las imágenes son: El centro comercial Plaza Centro, el Parque Industrial Bairoa, el conglomerado del centro comercial Plaza del Carmen, centro comercial Villa del Carmen y el Consolidated Mall, las fábricas de Villa Blanca, el corredor de la Avenida Degetau entre intersección con autopista PR 52 e intersección con Avenida Gautier Benítez y el corredor de la PR 172 desde la zona del Hospital Regional hasta de zona donde termina la sexta sección de Villa del Rey. Los espacios mencionados anteriormente se agrupan por características críticas en cuanto a temperaturas se refiere. Los mismos pueden ser agrupados en tres categorías: centros comerciales, parques industriales y corredores comerciales.

Por otro lado, los espacios para preservar como bosque o parque vegetado dentro de la ciudad son aquellos que en la banda infrarroja y del índice de vegetación normalizado muestran grandes concentraciones de vegetación entrelazados con el espacio urbano, en el infrarrojo lejano muestran grandes concentraciones de humedad y en la banda termal muestran temperaturas debajo de los 79 grados Fahrenheit. Estos espacios son :

- 1- Montes de San Luis
- 2- Montes de Bairoa (Parque del Turabo)
- 3- Hospital Regional
- 4- Espacio adyacente al peaje sur
- 5- Ribera del Río Caguaitas
- 6- Remanentes de la Central Santa Juana
- 7- Zona frente al Hospital HIMA
- 8- El espacio donde se encuentra centro comercial Las Catalinas
- 9- Zona en comunidad Villa Esperanza
- 10- Zona de parque y espacio verde en la Barriada Morales
- 11- Confluencia del Río Turabo y Río Grande de Loiza
- 12- Espacio donde ubica centro comercial Plaza Centro II
- 13- Espacio donde ubica el Fondo del Seguro del Estado
- 14- Espacio del meandro del Río Caguaitas al sur del centro comercial de Villa Blanca
- 15- Zona verde al final de la Avenida Muñoz Marín
- 16- Servidumbre de paso de la Autoridad de Energía Eléctrica

Los espacios que cumplen una función vital de purificación del aire como lo son los Montes de San Luis y los terrenos adyacentes al peaje sur reciben la amenaza de ser desarrollados ante la propuesta de construcción de urbanizaciones en los mismos. Estos espacios se encuentran adyacentes a los dos peajes que se ubican dentro de los límites del municipio, siendo los mismos dos de los mayores generadores de contaminación dada la alta concentración de vehículos en las horas pico de tráfico.

Los espacios antes enumerados (excepto los ya desarrollados o en vías de desarrollarse) merecen ser preservados como espacios verdes dentro de la ciudad muchos de ellos como las riberas de los ríos y el espacio al sur del Centro Comercial de Villa Blanca reúnen además características de inundabilidad lo que aumenta la dificultad para su construcción y encarece las obras de urbanización en los mismos.

#### IV- CONCLUSIONES

De la investigación conducida sobre la isla de calor urbana y las alternativas para su mitigación han resultado diversas interrogantes y limitaciones para el estudio y tratamiento del problema. Estas interrogantes pueden dividirse en cuatro aspectos principales: técnico, reglamentario, organizacional y comunitario.

En cuanto al aspecto técnico para la investigación sobre la magnitud y relevancia de la isla de calor en las áreas urbanizadas de Puerto Rico, prácticamente inexistente no hay datos sobre fenómenos microclimáticos para las mismas. Datos sobre temperaturas, precipitación, niveles de partículas nocivas en el aire, transformación en los usos del suelo, entre otros son medulares para el estudio de la isla de calor urbana. El recurso de la imagen de satélite puede ser útil para investigación sobre este fenómeno, sin embargo es tecnología costosa, de difícil acceso, de disponibilidad escasa, sobretodo para análisis histórico, y requiere del conocimiento en el manejo tanto de la tecnología como de los datos para poder usarse.

No obstante las limitaciones encontradas para la conducción del estudio, se ha logrado el objetivo de utilizar la herramienta de los Sistemas de Información Geográfica para lograr la demarcación y comprensión de un ejemplo de isla de calor urbana en Puerto Rico

#### BIBLIOGRAFIA

- 1- Hamburg, John R.; "Impact of Transportation Facilities on Land Development"; Highway Research Board; Washington D.C.; 1970.
- 2- Casar Pinazo, J.I., et al.; Geografía Humana y Económica: Claves para conocer la ciudad; Editorial Akal; Madrid, España; 1989.
- 3- Cuadrat Prats, J. M., et al.; Ciudad y Medio Ambiente: La Isla de Calor de Terruel; Revista Geographicalia, Vol. 30; Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio; Universidad de Zaragoza; 1993.
- 4- Moreno, María del C.; Bibliografía sobre climatología urbana: la Isla de Calor, I; España.
- 5- Oke, T.R.; "Thermal Environment in Urban Areas"; Estocolmo, Suecia; 1980.
- 6- Marsh, William, M.; "Landscape Planning,

Environmental Applications"; John Wiley & Sons, Inc.; USA; 1991.

- 7- Akbari, Hashad y Rosenfeld; "Urban Tree and White Surface for Saving Energy and Reducing Atmospheric Pollution"; Lawrence Berkeley Laboratory, Heat Island Project; USA; 1989.
- 8- McMahon, Ed; "Green Enhances Growth"; Planning Commissioners Journal, Winter; 1996.
- 9- Cruz Báez, Angel D.; Ecología urbana y agricultura alternativa en San Juan, Puerto Rico; JIP A.E.P Proceedings; Alemania; 1993.
- 10- Gallo, Kevin P.; "Identification of Urban Heat Islands Using Remotely Sensed Data"; Office of Research and Applications, National Climatic Data Center, NOAA; 1996.
- 11- Estudio sobre el uso de la tierra: Sector Agrícola de Caguas; Plano Regulador sobre el Uso del Terreno; Junta de Planificación de Puerto Rico; 1977.
- 12- Short, Nick; "Remote Sensing and Photo Interpretation Tutorial"; Goddard Space Flight Center; NASA; USA; 1996.
- 13- Chuvieco, E.; Fundamentos de Teledetección Espacial; Ediciones Rialp; Madrid, España; 1990.
- 14- Nichol, Janet E.; "A GIS Approach to Microclimate Monitoring in Singapore's High-Rise Housing Estates"; Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 60, No. 10, Octubre 1994.
- 15- Orvis, K. H. y H. Akbari; "The Use of Remotely Sensed Data as a Tool for Urban Heat Island Investigation"; Lawrence Berkley Laboratory, University of California; USA; 1992.

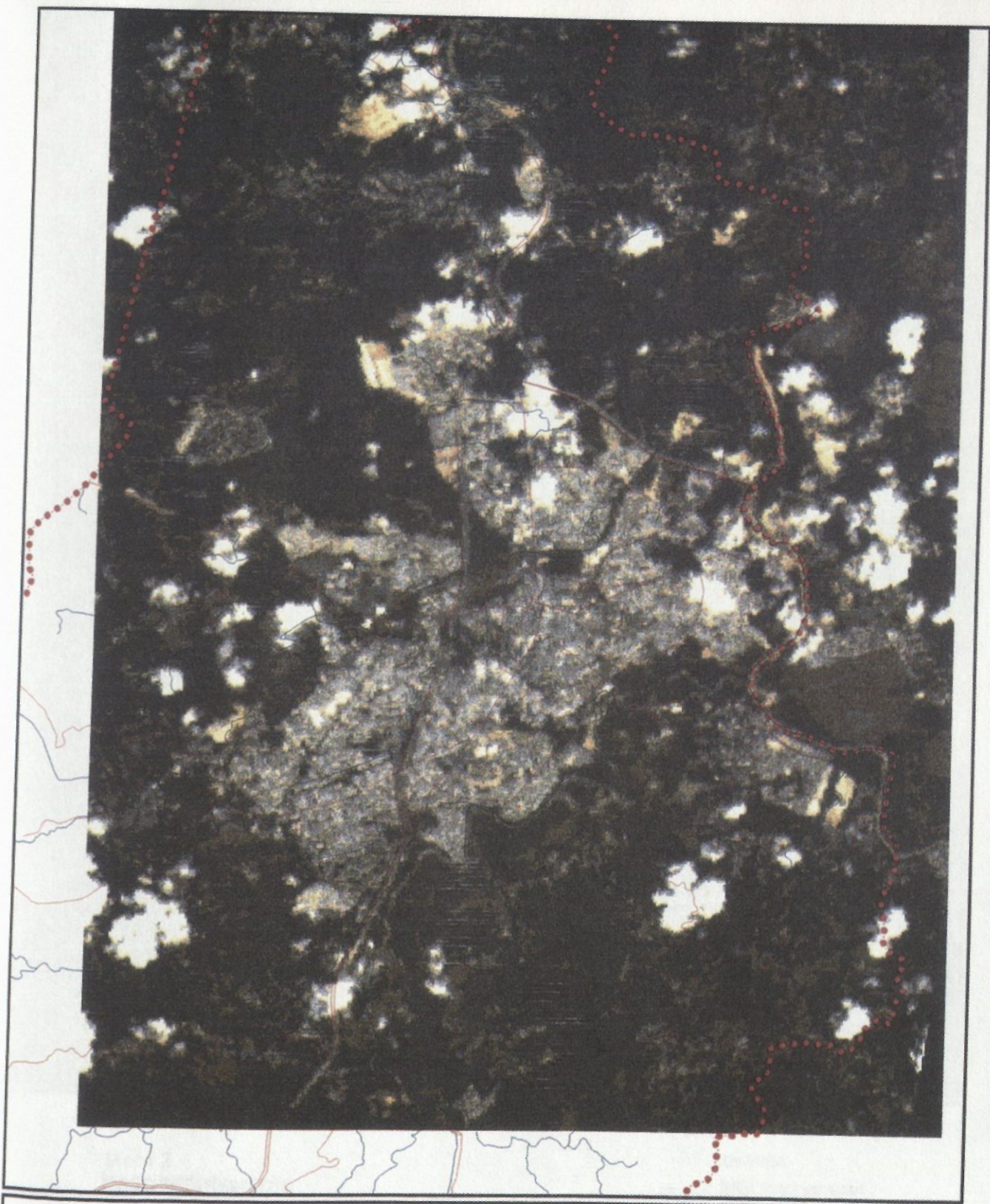
#### OTRAS BIBLIOGRAFIAS RELACIONADAS

- 1- Acosta, Yvonne; Santa Juana y Mano Manca; Editorial Cultural; Puerto Rico; 1995.
- 2- Appleyard, Donald; "Livable Streets"; University of California Press; Berkley; USA; 1981.
- 3- Bardet, G.; El urbanismo; Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina; 1955.

- 4- Barnett, Jonathan; "The Elusive City: Five Centuries of Design, Ambitions and Miscalculations"; Harper Row; New York; USA; 1986.
- 5- Bas, Carlos A. y Aníbal Sepúlveda; El desarrollo urbano de San Juan y la planificación urbana en Puerto Rico; SIAP; 1977.
- 6- Briz Escribano, Julián, Rudolf, Franz, Rudolf, Wolfgang y Severino, Carlos E.; Del desierto a la estepa en las grandes ciudades: ecología urbana en el marco de la colaboración científica internacional; Mimeo; Alemania; 1995.
- 7- Calonge Cano, E.; La isla de calor urbana; Mimeo; Universidad de Valladolid; España; 1993.
- 8- Calthorpe, Peter; "The Next American Metropolis"; Princeton Architectural Press; USA; 1993.
- 9- Derrau, Max; Geografía Humana; Editorial Vicens; Barcelona, España; 1981.
- 10- Grant J., P. Manuel y D. Joudrey; "A Framework for Planning Sustainable Residential Landscapes"; APA Journal, Summer; USA 1996.
- 11- Hartshorn, Truman A.; "Interpreting the City: An Urban Geography"; Second Edition; John Wiley & Sons, Inc; USA; 1992.
- 12- Le Corbusier; Cómo concebir el urbanismo; Ediciones Infinito; Argentina; 1967.
- 13- Ley 35 del 23 de julio de 1992, enmienda Ley 133; Senado de Puerto Rico; 1992
- 14- Ley 76 del 30 de agosto de 1990, enmienda Ley 133; Senado de Puerto Rico; 1990.
- 15- Ley 111 del 11 de agosto de 1996, enmienda Ley 133 del 1 de julio de 1975; Senado de Puerto Rico; 1996.
- 16- Ley 133 del 1 de julio de 1975, Ley de Bosques de Puerto Rico; Senado de Puerto Rico; 1975.
- 17- Ley 150 del 4 de agosto de 1988, para crear Programa de Patrimonio Natural; Senado de Puerto Rico; 1988.
- 18- Martín Vide, J.; La percepción del clima en las ciudades; Revista de Geografía, Universidad de Barcelona, Vol. XXIV; España; 1990.
- 19- McHarg, Ian L.; "Design with Nature"; John Wiley & Sons; USA; 1992.
- 20- McPherson, E. G.; "Using Urban Forests for Energy Efficiency and Carbon Storage"; Journal of Urban Forestry, Vol. 92, No. 10; USA; Octubre 1994.
- 21- Memorial del Plan de Ordenamiento Territorial; Municipio de Caguas; Puerto Rico; 1995.
- 22- Platt, Rutherford H.; "The Ecological City: Preserving and Restoring Urban Biodiversity"; University of Massachussets Press; USA; 1994.
- 23- Reglamento de Lotificación y Urbanización, No. 2; Junta de Planificación; Puerto Rico; Revisión 1992.
- 24- Reglamento de Siembra, Corte y Forestación para Puerto Rico, No. 25; Junta de Planificación; Puerto Rico; 1996.
- 25- Reglamento sobre los Planes de Ordenamiento Municipal y la Transferencia y Administración de Facultades, No. 24; Junta de Planificación; Puerto Rico; 1994.
- 26- Reglamento de Zonificación de Puerto Rico, No. 4; Junta de Planificación; Puerto Rico; 1992.
- 27- Román Seda, Roque; "An Introduction to Environmental Considerations in Transportation Activities"; Transportation Technology Transfer Center, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez; Puerto Rico; 1995.
- 28- Rudolf, Franz y Wolfgang Rudolf; Necesidad de naturación de grandes áreas edificadas; Revista de Agricultura, No. 749; Madrid, España; 1994.
- 29- "Soil Survey of San Juan Area of Puerto Rico"; United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service in cooperation with University of Puerto Rico Agricultural Experiment Station; Puerto Rico; 1973.

- 30- Stutz, Frederick, P.; "The Geography of Urban Transportation"; Guilford Press; USA; 1995.
- 31- "Tejados Verdes: Ecología urbana, naturación de edificios y agricultura alternativa"; Revista Agricultura, No. 749; Madrid, España; Diciembre, 1994.
- 32- Trueba, Ignacio; Azoteas verdes en Madrid; Revista Agricultura, No. 749; Madrid, España; Diciembre, 1994.





Mapa 1

**Combinación colores reales**











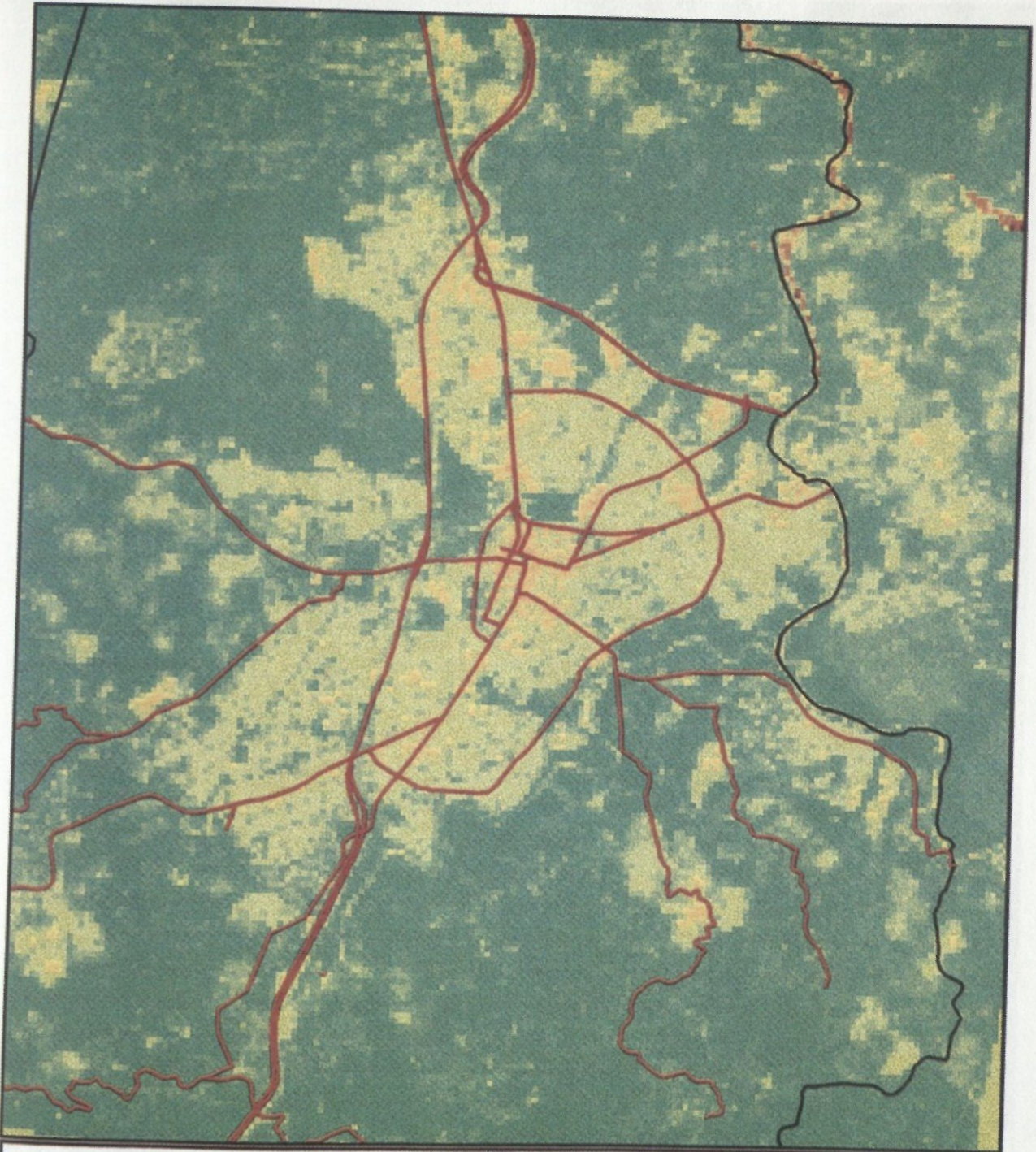
Mapa 2  
Imagen Infrarroja



LEYENDA

-  Mayor densidad Vegetal
-  Menor densidad Vegetal
-  Menor densidad Vegetal
-  Mayor densidad Vegetal








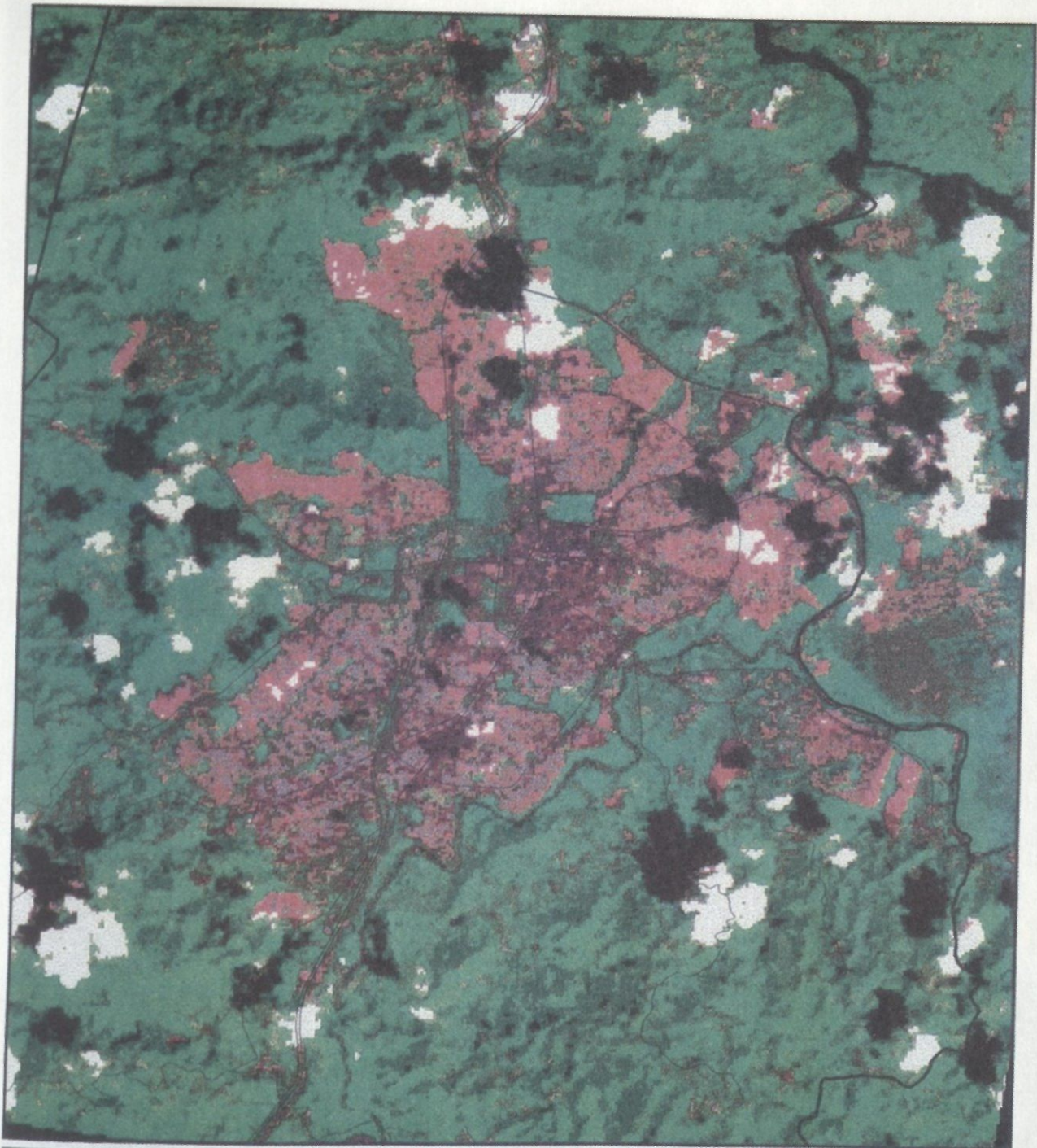
Mapa 3  
Índice de vegetación normalizado



LEYENDA

-  Mayor intensidad vegetación
-  Ausencia vegetación
-  Ausencia vegetación

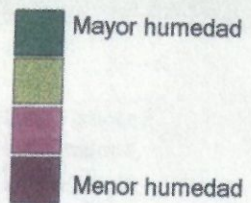




Mapa 4  
Infrarrojo cercano



**LEYENDA**







Mapa 5  
Imagen Termal



**LEYENDA**

- Bajo los 75 grados F.
- 75.1 a 80 grados F.
- 80.1 a 85 grados F.
- 85.1 a 90 grados F.
- 90.1 grados F. o más