

# Forestación de calles, su impacto en el microclima urbano. Laguna Nuevo Amanecer, Ciudad Madero, México

*Foresting streets, its impact in the urban microclimate. Laguna Nuevo Amanecer, Madero City, Mexico*

Sonia Laura León-Trejo, Mireya Alicia Rosas-Lusett, Miguel Ángel Bartorila<sup>1</sup>  
Vinculación

Primera versión recibida en: 23 enero, 2017  
Última versión recibida en: 05 mayo, 2017

## Resumen

El desarrollo sostenible de las áreas naturales urbanas se encuentra estrechamente relacionado con la conexión a través de calles forestadas. El estudio es parte del proyecto de investigación “Reforestación y Rescate de Espacios Abiertos Urbanos y Naturales. Laguna Nuevo Amanecer. PFI2014-54”, financiado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas en 2014-2015. Para evaluar la situación del polígono se utilizaron los indicadores del Plan de Sostenibilidad Urbana de Vitoria Gasteiz (2010): densidad de árboles por tramo de calle, percepción espa-

cial del verde urbano y confort térmico. Actualmente, el 2 % de las calles del polígono de estudio se encuentran en los parámetros mínimos de densidad de árboles por tramo de calle. Con la propuesta de vegetación, alcanza el 99 % del valor establecido entre mínimo y deseable, y aumenta el confort térmico de 2 a 9 horas. La arborización de las calles mejora de manera directa la calidad de vida en las ciudades tropicales, reduce el consumo de energía, sirve de conector con otros espacios verdes y contribuye al aumento de la biodiversidad en los ecosistemas naturales.

Palabras clave: densidad de árboles, confort térmico, vegetación nativa.

## Abstract

The sustainable development of urban natural areas is closely related to the connection through forested streets. The study is part of the research project “Reforestation and Rescue of Urban and Natural Open Spaces. Laguna

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Tamaulipas, mrosas@docentes.uat.edu.mx

Nuevo Amanecer. PFI2014-54” funded by the Universidad Autónoma de Tamaulipas in 2014-2015. In order to evaluate the situation of the polygon, the indicators of the Urban Sustainability Plan of Vitoria Gasteiz (2010) were used: tree density per section of street, spatial perception of urban green and thermal comfort. Currently, 2 % of the streets on the polygon are in the minimum parameters of density of trees per section of Street. With the proposal of vegetation, it reaches 99 % of the established value between minimum and desirable, and increases the thermal comfort from 2 to 9 hours. The foresting of the streets directly improves the quality of life in tropical cities. It reduces energy consumption, serves as a link with other green spaces and contributes to the increase of biodiversity in natural ecosystems.

Key words: tree density, thermal comfort, native vegetation.

## Sumario

- Sumario
- Introducción
- Justificación
- Marco conceptual. La forestación de calles
- Aspecto ambiental de la vegetación
- Reducción de la contaminación atmosférica y regulación de la humedad y la temperatura
- Control de la radiación solar
- Método
- Densidad de árboles por tramo de calle
- Percepción espacial del verde urbano
- Resultados

- Confort térmico
- Conclusiones
- Referencias

## Introducción

La presencia de la vegetación en los espacios exteriores ayuda a mejorar las condiciones de vida física, psíquica y estética de la población, especialmente en el hábitat popular. Los criterios de selección, organización e implantación tienen un impacto positivo en el aspecto ambiental, morfológico, económico, social, entre otros.

Según indica Ochoa (1999), la vegetación desempeña funciones benéficas ecológicamente. La vegetación es un elemento que protege al suelo, contribuye a la reducción de la evaporización, consolida los suelos y previene las erosiones tanto eólica como hídrica, disminuye el riesgo de inundación, purifica el aire y crea microclimas. Permite, además, el aprovechamiento de la radiación solar en invierno.

Debido a la acelerada tasa de crecimiento que hoy en día se registra en los centros urbanos de todo el mundo, se ha hecho cada vez más necesaria la creación de los espacios verdes arbolados para contrarrestar la contaminación antropogénica. El desarrollo armónico de las ciudades implica un adecuado diseño urbanístico que incluya un ordenamiento acorde a las construcciones, enmarcadas en un contexto humanizado. El crecimiento de las ciudades no ha permitido cumplir por completo este precepto. La mayor parte de las ciudades de nuestro continente sufren una reducción de la movilidad social, más marginación y aumento de la delincuencia, a

causa de una inadecuada planificación urbana.

El relleno de cuerpos de agua es una situación que comúnmente se presenta en los asentamientos urbanos que colindan con las zonas lagunares, olvidando los riesgos que conllevan para quienes se asientan en estos lugares. Tal es el caso de la Laguna Nuevo Amanecer, que se encuentra rodeada de sectores de viviendas con densidad media y baja, donde las colonias están constituidas por casas-habitación unifamiliares, mixtas, pareadas o agrupadas varias en un lote familiar y en condominio.

La laguna llamada anteriormente El Blanco redujo la superficie de agua por invasiones de sus márgenes desde 1990 al 2010, de 62 a 15 has. Como afirma Batres (2013), en veinte años redujo su área a un 24 %. El problema se presenta por los asentamientos de viviendas ubicadas alrededor de la laguna; como lo menciona Solís (2013), las invasiones han ganado varios metros al lacustre generando problemas de insalubridad, riesgo e inconformidad para la población. El calor y la poca lluvia, en el periodo de estiaje, provocan que se seque lentamente esta zona, mientras que, en la época de lluvias de los meses de junio a septiembre, recupera parte de lo perdido, provocando graves problemas de inundación en las colonias aledañas. La población de este sector se encuentra marginada y da la espalda a la laguna.

## Justificación

El desarrollo urbanístico de las ciudades se encuentra relacionado con la

integración a los espacios naturales. La calidad de vida de una zona urbana depende en gran parte de la calidad y el mantenimiento de los espacios naturales inmersos en el artefacto urbano. Las áreas verdes urbanas son fundamentales en la regulación del microclima ya que reducen el ruido y mejoran la calidad del aire. Son indispensables para el incremento de la sostenibilidad y sirven de hábitat y alimento para la fauna silvestre; funcionan como lugar de asentamiento y descanso de muchas especies.

La vegetación mejora las condiciones ambientales de las ciudades; la sombra de los árboles incide directamente en las condiciones térmicas del entorno próximo a las personas que usan el espacio público. El objetivo de este trabajo es analizar el aumento de confort que se produce con la propuesta de arborización de las calles de la laguna Nuevo Amanecer en Ciudad Madero, Tamaulipas.

Se utilizó el Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana (Rueda, 2010), ya que es un instrumento para valorar cuantitativa y cualitativamente el proceso de diseño de un tejido urbano. Desde un punto de vista integral se evaluó el progreso hacia el objetivo, lo que permitió realizar ajustes para la realización de la propuesta y poder visualizar la viabilidad de acuerdo a la información bibliográfica y trabajo de campo.

## Marco conceptual

### La forestación de calles

La necesidad de implantar vegetación en la ciudad surge tardíamente con la

extensión urbana de la ciudad industrial, como un factor más de higiene y salubridad para los nuevos asentamientos urbanos. En la ciudad preindustrial, el espacio público con árboles se daba fuera de la ciudad, en sus paseos de unión con los núcleos suburbanos o en las grandes fincas rurales públicas usadas para la protección de la ciudad; las calles y plazas pocas veces tenían árboles porque la proximidad del suelo rural lo hacía innecesario.

Posteriormente, como menciona Herce (2002), las corrientes higienistas imponen el verde urbano como un género más del espacio público en la extensión de la ciudad industrial. El sistema verde, con su continuidad y posición en trama urbana, posibilita la creación de una red en la ciudad para mejorar las condiciones de habitabilidad y calidad ambiental del entorno urbano. Las calles arboladas, conectadas a zonas verdes que cumplen un importante papel en mitigar los efectos de la isla de calor y la contaminación local.

Rueda (2007), menciona que es conveniente integrar los espacios de alto valor ecológico, abundantes en agua o con especial riqueza natural, en la red de espacios públicos y verdes de la ciudad. Los árboles que son aptos para las calles de una ciudad dependen del clima, el suelo y la orientación; su sombra contribuye al enfriamiento por evaporación, como ha demostrado Rosas (2013) en el estudio del fraccionamiento Jesús Elías Piña, sobre los efectos de la cobertura vegetal en comparación con el concreto, el asfalto o el suelo. Los árboles de los parques presentan temperaturas más bajas que los árboles

de las calles rodeadas de tierra o concreto; el tamaño de las hojas de los árboles modula la temperatura, como lo demuestra Rojas (2016) en su estudio: con hojas más pequeñas y mayor densidad se presentan temperaturas más bajas.

## Aspecto ambiental de la vegetación

El ser humano, para desarrollar sus actividades en el espacio público, requiere que se pueda interactuar, convivir, recorrer, descansar, realizar actividades de recreación, culturales de convivencia, donde las condiciones de habitabilidad necesitan que existan varias horas de confort térmico; para que se puedan desarrollar las actividades cotidianas sin alterar el metabolismo normal del cuerpo humano.

La zona de confort, según establece Olgyay (1963), está determinada por los rasgos de los individuos y de las condiciones climáticas; sus rasgos no son únicos ni tienen límites absolutos, sino por el contrario, son relativos, dependen de características de las personas como su edad, vestimenta y zona geográfica, entre otras. Los elementos del clima que afectan el confort humano son cuatro: la temperatura del aire, la radiación solar, el movimiento del aire y la humedad.

Peña (1998) menciona que las múltiples características de las plantas les permiten participar en diferentes papeles en el mejoramiento de la calidad ambiental de un lugar. Por ejemplo, a través de sus procesos fisiológicos, son capaces de producir oxígeno y absorber el bióxido de carbono o de aumentar la humedad a través de la

evapotranspiración; por medio de sus características morfológicas, como su forma, altura o la densidad de su follaje son capaces de dirigir circulaciones, ocultar vistas o servir como barreras; y por medio de sus cualidades estéticas como su olor, fragancia o textura, son capaces de crear colorido y belleza en la naturaleza.

Los espacios verdes mejoran las condiciones de la ciudad, ya que favorecen la aportación del oxígeno, fijan el CO<sub>2</sub>, reducen la contaminación atmosférica, suavizan las temperaturas extremas, amortiguan el ruido y evitan la erosión de los suelos. Estos espacios, ya sean parques, jardines o arbolado en alineación, favorecen entornos que poseen una alta biodiversidad, son más ricos y equilibrados. Las zonas verdes extensas cumplen funciones de manera natural como el control de plagas o la polinización. Hay que tomar en cuenta la influencia positiva de la vegetación sobre el equilibrio ambiental.

### **Reducción de la contaminación atmosférica y regulación de la humedad y la temperatura**

Según Falcón (2007), en un estudio para la ciudad de Chicago, estima que los árboles eliminan 5575 toneladas de contaminantes atmosféricos por un año, lo que supone un servicio de limpieza que costará 9 millones de dólares. Una calle con árboles reduce de un 10 a 15 % las partículas de polvo en suspensión que una calle similar sin arbolado.

Las masas vegetales equilibran los valores de temperatura y de humedad

y colaboran, por tanto, en la naturalización de este efecto. La diferencia térmica entre una calle sin vegetación y otra con árboles de tamaño regular puede variar de 2 a 4 °C. La sombra que proyectan los árboles evita que la piedra y el asfalto absorban la radiación que después desprenden en forma de calor. Al mismo tiempo, el follaje absorbe las radiaciones de onda corta que se convierten en rayos infrarrojos al tocar el suelo.

### **Control de la radiación solar**

La radiación solar es uno de los factores principales cuando se trata de evaluar el confort humano o el comportamiento térmico de los edificios. Es uno de los elementos climáticos que puede ser modificado y controlado de manera más directa por los elementos vegetales a escala microclimática.

La principal fuente de radiación dentro del espacio urbano es la radiación solar, sin embargo, no es la única dentro del balance, también se debe considerar la radiación terrestre, es decir, la emitida por los objetos y superficies presentes en el paisaje urbano.

La protección de la radiación solar directa y difusa se consigue mediante la obstrucción de esta, colocando elementos vegetales que generen sombra en la zona a proteger. Para ello se pueden realizar las siguientes acciones: incorporación de pantallas de sombra horizontal o vertical, según la altura solar, o cubiertas de materiales constructivos (lona, concreto, madera, etcétera) en conjunto con las vegetales.

## Método

Para evaluar la situación del polígono, se utilizó el Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana, de Vitoria Gasteiz (Rueda, 2010). Los indicadores que se analizaron en el polígono de estudio son la densidad de árboles por tramo de calle, la superficie verde por habitante y el confort térmico.

El polígono de estudio de la Laguna Nuevo Amanecer se localiza en Ciudad Madero, Tamaulipas. Está delimitado al norte por la avenida Cuauhtémoc, al sur por la calle Necaxa, al este por la calle Mariano Matamoros y al oeste por la calle Primera. El área de estudio tiene un total de 157.31 ha con uso de suelo habitacional; se encuentra rodeando la laguna, que tiene una superficie de 28.69 ha. De las 157.31 ha del polígono de estudio, 43.61 ha son de vialidades, 7.37 de banquetas, 0.13 de canales pluviales, 1.49 de parques, 2.94 de escuelas y 4.48 ha de espacio forestal. De espacio privado existen 68.60 ha en manzanas.

La mayoría de las banquetas miden entre 1.0 y 2.80 m, a excepción de una calle en donde las banquetas miden 3.20 y 3.30 m. El arroyo vehicular varía desde 5 hasta 11.80 m, dependiendo del tipo de vialidad. Se encuentran pares viales, calles secundarias y calles terciarias. Se hizo un levantamiento de la vegetación existente: en las calles del polígono de la Laguna Nuevo Amanecer la vegetación es muy escasa, se localizaron 517 especímenes.

En un porcentaje del polígono de estudio se localiza una zona susceptible a inundación. En los últimos 25 años se rellenaron las zonas inundables e invadieron con viviendas pre-

carias. Basados en el Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano Ciudad Madero, Tamaulipas (2011), se trazaron las áreas de inundación; las colonias afectadas son Fidel Velázquez, Hipódromo, La Loma, El Llano e Hidalgo Poniente, como se muestra en la imagen 1.

De acuerdo con el plano de amenazas naturales del Programa Metropolitano de Ordenamiento Territorial (2010) Altamira- Ciudad Madero-Tampico, el área susceptible a inundación en el polígono de estudio es de 53.41 ha, equivalente al 41.52 % del polígono, sin tomar en cuenta las 28.68 ha del sistema de lagunas localizado en el centro del polígono.

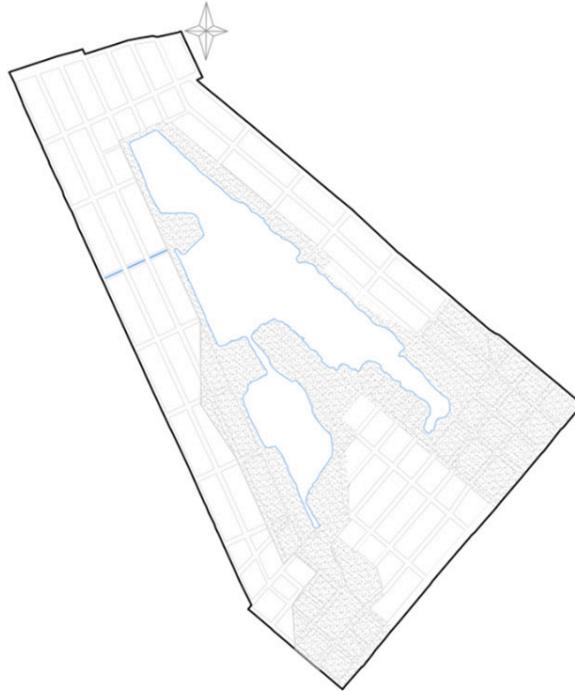
A continuación, se desarrollarán los indicadores de sostenibilidad urbana para evaluar la situación actual del polígono de la laguna Nuevo Amanecer.

## Densidad de árboles por tramo de calle

El arbolado viario es uno de los principales elementos vegetales en las ciudades. Por ello, es un elemento estructural de la biodiversidad en el ecosistema urbano. El objetivo de este indicador es evaluar la densidad de árboles presentes en el tejido urbano para identificar tramos de calle en los cuales exista un claro déficit de arbolado viario.

La densidad de árboles por tramo es un valor que relaciona el número de árboles por metro de tramo. El indicador se calculó contabilizando el arbolado viario por tramo de calle; no se contabilizó el arbolado presente en el margen fluvial de la Laguna Nuevo Amanecer. El valor obtenido se

**Imagen 1.** Zonas inundables, polígono Laguna Nuevo Amanecer



**Imagen 2.** Densidad de árboles. Polígono Laguna Nuevo Amanecer.



**Imagen 3.** Percepción espacial del verde urbano. Polígono Laguna Nuevo Amanecer.



dividió por la longitud del tramo (en metros); de esta forma se obtuvo un valor de densidad. Los valores obtenidos oscilan entre 0 y 1; el valor 0 corresponde a un tramo de calle sin arbolado y el valor de 1 corresponde a un tramo que presenta un árbol por metro de calle. Esto sucede en algunos tramos situados cerca de áreas con elevada densidad de vegetación arbórea.

El criterio mínimo de densidad de árboles por tramo es de 0.2 árboles por metro de calle (valor estándar europeo), esto significa 1 árbol cada 5 m. Sin embargo, para determinar la densidad óptima de arbolado en las calles se tuvo en cuenta el porte medio

de los árboles y las dimensiones de la calle.

El 98 % de las calles del polígono de la Laguna Nuevo Amanecer presenta un parámetro no deseable por obtener un valor < de 0.1 de densidad por tramo de calle. El valor óptimo se encontró en el 2 % de las calles, con una densidad > de 0.2. Cambió en los tramos de las calles Quintero, calle 23, privada Ocotlán y avenida Cuauhtémoc.

## Percepción espacial del verde urbano

El indicador se refiere a la fracción de espacio del campo visual que ocupa

la vegetación en la calle. Esta fracción se calculó a partir del volumen que representan los árboles, arbustos y parterres en función de su tipología y porte. La unidad en la que se expresa es en porcentaje de volumen verde por tramo de calle. Este indicador permitió detectar aquellos tramos de calle con dotación insuficiente de arbolado y/o presencia de vegetación.

El cálculo de este indicador requirió como información base la localización en los tramos de calle de las distintas especies arbóreas. A partir del conocimiento de la especie de árbol, se clasificaron en categorías de arbolado en gran porte, mediano y pequeño. A cada una de estas categorías de arbolado le correspondió un volumen verde asociado en función de su tamaño.

Campo visual = [longitud del tramo x ancho de calle x 8 de altura]

Volumen de las copas =  $[4/3 \times \pi \times r^3]$

El resultado final del indicador es la proporción del volumen visual de la calle que es ocupada por el arbolado viario. La clasificación del viario público según la percepción es la siguiente:

Percepción excelente: Volumen verde > 30 % del campo visual

Percepción buena: Volumen verde entre 20 % y 30 % del campo visual

Percepción suficiente: Volumen verde entre 10 % y 20 % del campo visual

Percepción insuficiente: Volumen verde entre 5 % y 10 % del campo visual

Percepción muy insuficiente: Volumen verde <

Fórmula de cálculo:

PE verde (%) =  $[\text{superficie de viario público con volumen verde superior al 10 \%} / \text{superficie de viario público total}] \times 100.5 \%$  del campo visual.

Los resultados obtenidos de volumen verde reflejan que la presencia de vegetación a nivel de calle es escasa, el 93 % de la superficie de los tramos del polígono de la Laguna Nuevo Amanecer se encuentra por debajo de los niveles considerados como satisfactorios.

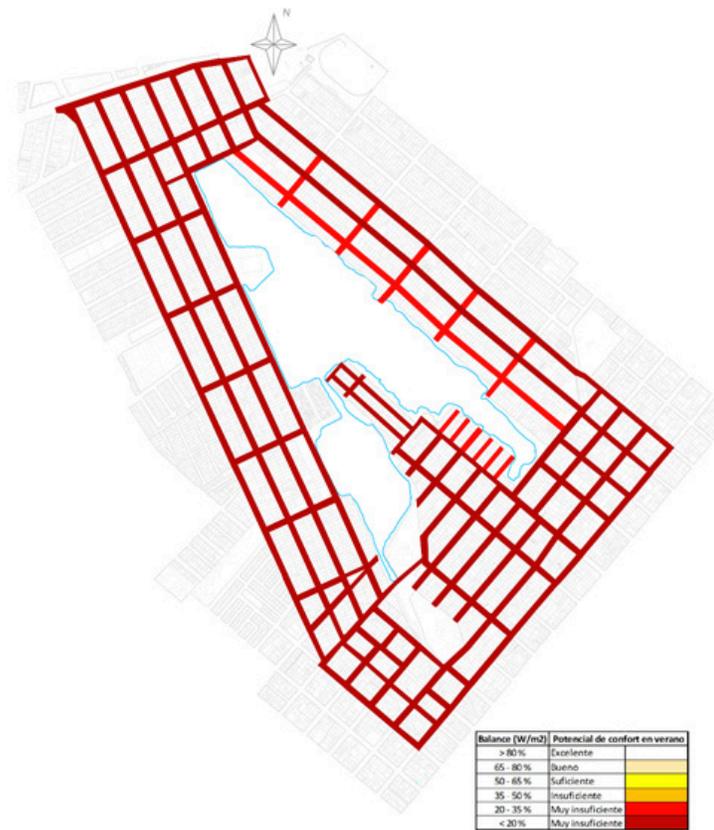
El 7 % de las superficies del polígono formados por las calles Privada Ocotlán, Quintero, Segunda Privada, Corregidora, Mariano Matamoros, Calle 12, Calle 14, Ramos Arizpe, Pachuca, Calle 35, Calle 39, Calle 40 y Calle 22 presentan un valor > 10 % de la superficie con volumen verde por tramo de calle. Se destacan las Calles 23 y Calle 33 por una presencia suficiente de verde con un valor > 30 %. El resto de las calles presentan un valor < 5 % de la superficie verde por tramo de calle.

## Confort térmico

El indicador se refiere al porcentaje de confort térmico, entre las 7 y las 22 horas, durante las cuales una calle ofrece las condiciones adecuadas para una persona. El confort térmico tiene en consideración cuatro aspectos importantes: el clima, la morfología de la calle, los materiales en pavimentos y fachadas, la presencia de vegetación y actividad metabólica del individuo. La unidad del indicador se expresa en % de las 15 horas útiles al día.

En primer lugar, se caracterizaron los tramos de calle por tipología de sección, según orientación, proporción entre altura y distancia entre fachadas (h/d) y presencia de vegetación. Por otro lado, a partir de las características climatológicas del lugar, se calculó el potencial de confort en

**Imagen 4.** Confort térmico. Polígono Laguna Nuevo Amanecer. Vegetación nativa en la zona sur de Tamaulipas



verano para cada tipología de sección a través del programa Confort Ex (Ochoa, 2009).

En once cañones urbanos se realizaron mediciones de las variables climatológicas: temperatura del aire, humedad, dirección y velocidad del viento; se midieron las temperaturas de las superficies del suelo y de las fachadas, desde las 8:00 hasta las 20 horas del día 26 de abril. Se tomaron los datos de radiación solar directa y difusa de la estación meteorológica ubicada en la FADU. El programa Confort Ex se utilizó para realizar el cálculo de confort de los once escenarios seleccionados.

Ninguna de las calles superó el 50 % de confort en un día, por lo que la siguiente fórmula:  $Cter (\%) = \frac{\text{superficie de viario público con potencial de confort en verano superior al 50 \%}}{\text{superficie de viario público total}} \times 100$ , no se pudo aplicar.

## Resultados

Se realizó el cálculo del balance de energía del peatón con los datos del levantamiento de los once escenarios seleccionados del polígono de la Laguna Nuevo Amanecer en un promedio diurno de 07:00 a las 22:00 horas, dando como resultado, en el 55 % de

las horas, un balance de energía muy caluroso (capaz de causar insolación) con más de 625 W/m<sup>2</sup>. Estos valores se dan entre las 8:00 y las 16:00 horas en la mayoría de los escenarios, debido a que los suelos son impermeables. Algunos de estos escenarios son muy transitados y cuentan con una vegetación muy escasa o nula; en el 6 % de las horas se tiene un balance de energía caluroso a las 08:00 horas en tres de los escenarios establecidos; en el 15 %, un balance de energía ligeramente caluroso entre las 18:00 y 20:00 horas; y solo en el 14 % de las horas, un balance confortable entre las 20:00 y 22:00 horas.

Después del cálculo del balance de energía se contabilizan las horas de confort promedio en cada escenario. Para el cálculo del porcentaje de todo el polígono no se realizó un levantamiento de cada tramo de calle: se agruparon los diferentes tipos de calle de acuerdo a su orientación y ancho y se realizó el levantamiento y cálculo en un solo escenario. Con base en esto, los resultados nos arrojan que el 89 % del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer cuenta solo con dos horas de confort y solo en el 11 % del polígono se obtienen 4 horas de confort. En las calles donde se obtiene un confort de 4 horas, este es debido a que las calles son impermeables y cuentan con vegetación.

Los resultados de los indicadores analizados nos dicen que el Polígo-

no de la Laguna Nuevo Amanecer no cumple con los criterios mínimos establecidos en los indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria Gasteiz, lo que se debe a que las calles cuentan con muy poca o en algunos casos ninguna vegetación. Se tomó como referencia el estudio realizado por Chab, *et al.* (2010); se analizó la vegetación nativa de la zona sur de Tamaulipas, que podemos utilizar en las calles del Polígono de la Laguna, para así elevar los valores de los indicadores al nivel deseado.

Se realizó un levantamiento del diámetro de la copa y altura del árbol de la vegetación nativa de la zona sur de Tamaulipas, en un promedio de cinco a ocho árboles de cada especie, con excepción del árbol Ciricote, del cual solo se encontró un espécimen, como se muestra en la tabla 1. Al final, se consideraron la altura y el diámetro más grande para la propuesta de la vegetación del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer. Esta información es un complemento a los documentos bibliográficos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 1992) que presentan solo diámetro de copa y tronco de los árboles. Este estudio es la base para la selección de la vegetación para el diseño de las calles; se toman en cuenta datos precisos de altura y dimensión del follaje de cada una de las especies nativas de la zona.

**Tabla 1.** Levantamiento de vegetación nativa de la zona Sur de Tamaulipas.

Tipo de árbol	árbol 1		árbol 2		árbol 3		árbol 4		árbol 5		árbol 6		árbol 7		árbol 8		árbol máx.	
	h	Ø copa	h	Ø copa														
Bohón	12	8	13	7	8	6	12	16	5	3							13	16
Cedro	7	15	5	12	8	15	12	16	10	8	6	12	8	14	7	12	12	16
Ceiba	8	6	10	6	15	12	10	8	12	9	8	7	9	6	10	6.5	15	12
Chijol	12	8	10	6	16	12	12	10	8	8	10	6	8	10	12	9	16	12
Ciricote	6	12																
Cocoite	6	12	4	7	5	8	7	10									7	12
Guácima	9	9	9	10	8	12	7.5	9	4.5	5	5	7	6	9			9	12
Árbol de huaje	6	4	3	4	8	7	5	4	3.5	4							8	7
Humo	15	12	16	12	15	8	14	12	14	6	5	4	9	7	8	8	16	12
Orejón	12	16	10	15	12	14	8	10	10	14	10	15	6	9			12	16
Palo de rosa	7	8	12	16	8	12	12	10	10	12	6	8	4	6	8	9	12	16
Palo de sol	8	5	8	10	6	5	15	6	12	8	8	6	6	3			15	10
Palo mulato	16	13	15	12	15	8	8	16	8	10	6	8	4	6	4	6	16	16
Álamo	12	8	9	6	7	10	9	7	14	10	7	9	8	5			14	10
Púan	6	5	8	15	6	8	4	6	4	7	6	6					8	15
Sauce llorón	5	9	4.5	7	6	10	6	8	8	12	5	8					8	12

**Imagen 5.** *Cordia alliodora*, *Gliricidia maculata*. Árboles propuestos en calles de Laguna Nuevo Amanecer.

## Propuesta de vegetación

Con el análisis de la vegetación se realizó una selección. Se tomó en cuenta que un 41 % del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer es susceptible a inundaciones.

La vegetación para las calles debe ser caducifolia, con raíz profunda, sin frutos y deben ser especies de rápido crecimiento. El polígono se dividió en tres partes: noreste, sureste y noroeste.

En el noreste del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer se propuso el árbol *Cordia alliodora*; su nombre común es bohón. Debido a que puede estar en una zona no inundable, tiene un diámetro de 16 m, un sistema radical central y profundo y es de rápido crecimiento. Al sureste se propuso el *Gliricidia maculata*, su nombre común es palo de sol; es un árbol apto para zonas inundables y esta parte del polígono es susceptible a inundación; el árbol tiene un diámetro de copa de 10 m y un sistema radical profundo; es de rápido crecimiento.

Se proponen 909 árboles en esta zona del polígono, como se muestra en la imagen 6, de los cuales 499 son de *Cordia alliodora* y 410 de *Gliricidia maculata*. Los árboles *Cordia alliodora* tienen una separación de 15.50 m, los *Gliricidia maculata* tienen una separación de 10 m y están colocados en forma de tresbolillo.

En el sureste del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer, como se observa en la imagen 7, se propuso el *Gliricidia sepium*. Su nombre común es palo de sol. Debido a que esta zona también es susceptible de inundación, el árbol tiene un diámetro de copa de 10 m, un sistema radical profundo y es

de rápido crecimiento. Se proponen 546 árboles *Gliricidia sepium* con una separación de 10 m, colocados en forma de tresbolillo.

En el noroeste del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer se propuso el *Tabebuia rosea*; su nombre común es palo de rosa. Este árbol es resistente a las inundaciones temporales, ya que una parte de esta zona es susceptible a inundación. Tiene un diámetro de copa de 16 m, es una especie de rápido crecimiento y su sistema radical es profundo. Los árboles *Tabebuia rosea* tienen una separación de 15.50 m y están colocados en forma de tresbolillo.

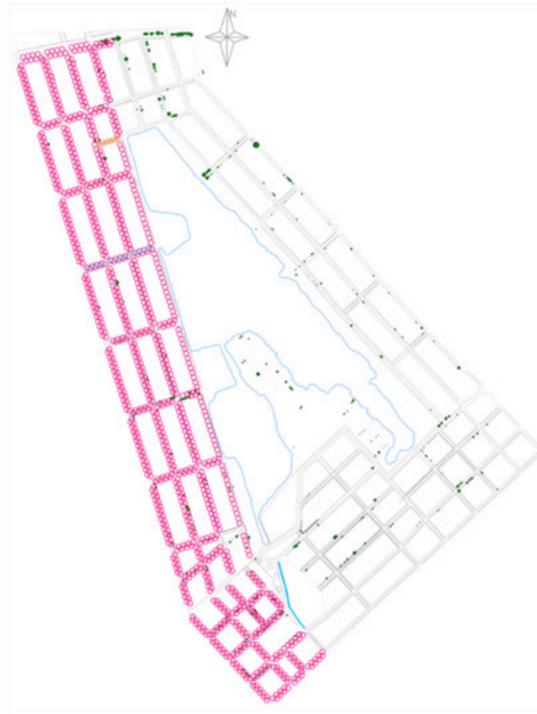
Se proponen 1113 árboles en esta zona del polígono, como se observa en la imagen 8, a excepción de una calle en donde se propuso la *Plumeria rubra*, cuyo nombre común es flor de mayo. Ya que las dimensiones la calle son muy pequeñas, el diámetro de copa de este árbol es de 5 m, su sistema radical es poco desarrollado y es de rápido crecimiento. Se proponen 9 árboles en esta calle del polígono.

*Densidad de árboles por tramo de calle.* Con el diseño de las calles y las propuestas de vegetación se evaluaron nuevamente los indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria Gastiz: la densidad de árboles por tramo de calle, que es la relación entre el número de árboles y los metros lineales totales de cada tramo de calle; la percepción espacial del verde urbano, que es la proporción del volumen verde de un tramo de calle respecto al campo visual del peatón; la superficie verde por habitante, que nos indica el espacio público dotado de cobertura vegetal en relación con el número total de habitantes; y el confort térmico,

**Imagen 6.** *Gliricidia sepium*; árboles propuestos en calles de Laguna Nuevo Amanecer.



**Imagen 7.** *Gliricidia sepium*; árboles propuestos en calles de Laguna Nuevo Amanecer.



que es el porcentaje de horas de confort al día a nivel de tramo de calle.

En el Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer, para la evaluación de la capacidad potencial para albergar arbolado viario en las calles, se valoraron los tramos con un ancho de calle superior a 8 m, para colocar el arbolado de alineación en un tramo de calle. Un 26 % de los tramos del polígono tienen una densidad de arbolado de 0.2 o 0.5 árboles/m, cumpliendo el criterio mínimo establecido. El 73 % del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer tiene una densidad de arbolado de 0.1 a 0.2 árboles/m y el 1 % tiene una densidad de arbolado de 0 a 0.1.

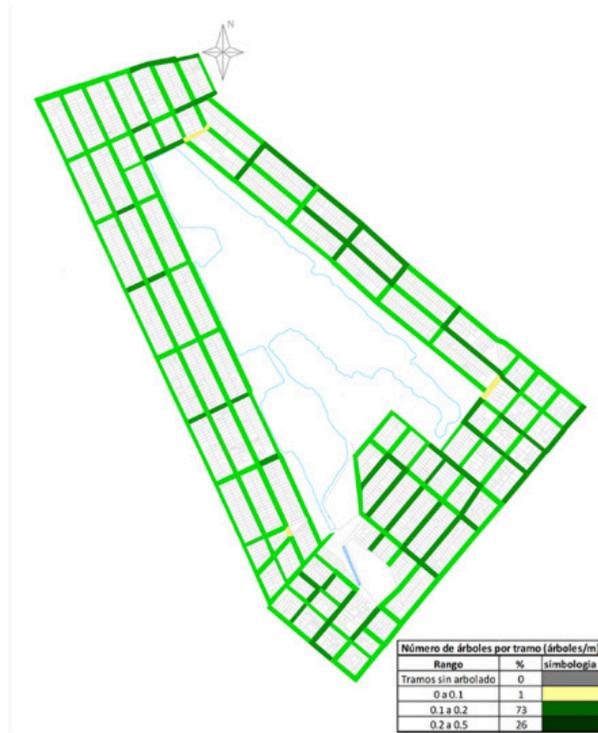
*Percepción espacial del verde urbano.* Con la propuesta de vegetación de las calles el porcentaje de percepción espacial, en el 98 % del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer, es superior al 100 %, un excelente indicador de percepción.

*Confort térmico.* Se realizó el cálculo del balance de energía peatonal con las propuestas de vegetación en los once escenarios seleccionados del Polígono Laguna Nuevo Amanecer en un promedio diurno, de las 7:00 a las 22:00 horas, dando como resultado, en el 20.61 % del periodo, un balance de energía muy caluroso (potencial insolación) con más de 625 W/m<sup>2</sup>. Estos valores se dan a las 14:00 horas en todos los escenarios; en el 8.48 % de las horas se tiene un balance de energía caluroso a las 12:00 horas en la mayoría de los escenarios establecidos; en el 21.82 % un balance de energía ligeramente caluroso a las 10:00 y a las 16:00 horas; y el 49.09 % de las horas un balance confortable de las 07:00 a las 9:00 y de las 18:00 a las 22:00 horas.

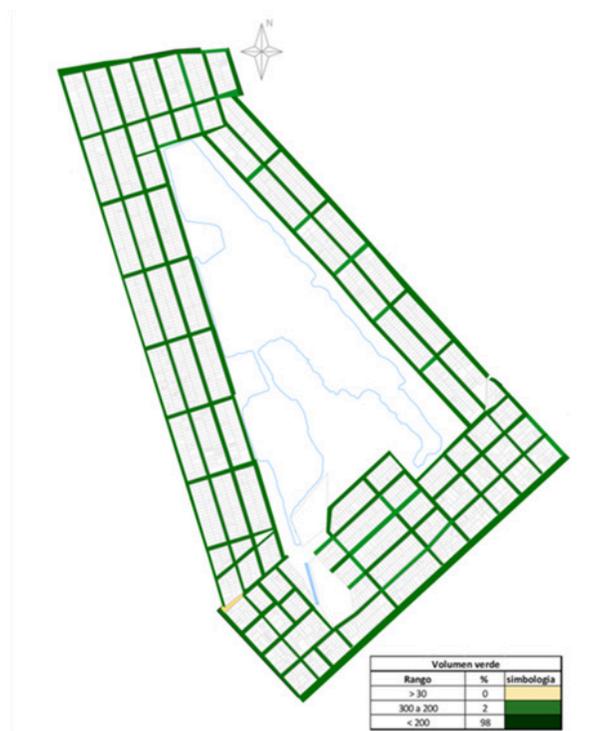
Después del cálculo del balance de energía se contabilizan las horas de confort promedio en cada escenario. Para el cálculo del porcentaje de todo el polígono no se realizó un levantamiento de cada tramo de calle, sino se agruparon los diferentes tipos de calle de acuerdo a su orientación y ancho y se realizó el levantamiento y cálculo en un solo escenario. Con base en esto, los resultados nos arrojan que el 15 % del Polígono de la Laguna Nuevo Amanecer cuenta solo con cinco horas de confort (potencial de confort insuficiente en verano); el 44% del polígono se obtienen 7 horas de confort (potencial de confort suficiente en verano); y en el 30 % del polígono se cuenta con 9 horas de confort, que es el promedio de horas con potencial de confort bueno establecido por el indicador de confort térmico de los indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria Gasteiz. El 74 % del polígono alcanza los valores deseables establecidos por dicho indicador.

Con el cálculo del indicador de sostenibilidad urbana de Vitoria Gasteiz de la propuesta de vegetación en las calles, comprobamos que poner vegetación en el espacio público nos brinda una zona con mayor porcentaje de horas de confort. El estado actual del confort en el entorno de la Laguna Nuevo Amanecer es de 2 y 4 horas, lo cual está por debajo de los valores mínimos, y con la propuesta de vegetación en un 74 % del polígono, las horas de confort se incrementaron a 7 y 9, y el 26 % restante se incrementó a 5 horas de confort.

**Imagen 8.** Densidad de árboles por tramo de calle propuesta. Laguna Nuevo Amanecer.



**Imagen 9.** Percepción espacial del verde urbano. Laguna Nuevo Amanecer.



**Imagen 10.** Confort térmico. Laguna Nuevo Amanecer.



## Conclusiones

Con las propuestas de vegetación, los nuevos resultados cumplen con los valores deseables indicados de sostenibilidad urbana. En cuanto a densidad de árboles en el estado actual del polígono, solo el 2 % está en el criterio deseable. Con la propuesta de vegetación, el 26 % del polígono sobrepasa los valores deseados y el 73 % se encuentra en los valores mínimos establecidos en los indicadores.

En la percepción espacial del verde urbano, solo el 7 % se encuentra en el criterio deseable. Con la propuesta de vegetación, el 98 % del polígono presenta una percepción espacial superior al 100 %, una excelente percepción espacial del verde urbano.

Al aumentar la arborización en las calles los niveles de confort se elevan. En el estado actual, el 100 % del polígono se encuentra por debajo de los valores mínimos, con 2 y 4 horas de confort. Con la propuesta de arborización, el 74 % del polígono alcanza los valores deseables, entre 7 y 9 horas de confort, mientras que el 26% restante obtiene los valores mínimos, con 5 horas de confort.

Con los resultados obtenidos nos damos cuenta de la importancia que representa la arborización de las calles: mejora de manera directa la calidad de vida de las ciudades tropicales. Aumenta las horas de confort, reduce el consumo de energía, sirve de conector con otros espacios naturales y contribuye al aumen-

to de la biodiversidad en los ecosistemas naturales.

La arborización en las calles permite que todo ciudadano tenga acceso a distintas tipologías de zona verde como parques, jardines y espacios intersticiales, formando un mosaico verde integral que mejora la calidad del espacio público.

## Referencias

- Batres, J. (2013). Crecimiento urbano e industrial, consecuencias ambientales en las lagunas urbanas y periurbanas en Tampico-Madero-Altamira del Sur de Tamaulipas (México). Análisis 1823-2010 (tesis doctoral). Universidad de Barcelona, España.
- Chab, J. y Laucirica, G. (2010). Especies vegetales para el uso en el medio urbano. Mérida, Yucatán. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- Conabio, (1992). Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la biodiversidad.
- Falcón, A. (2007). Espacios verdes para una ciudad sostenible: planificación, proyecto y gestión. Barcelona, España. Editorial Gustavo Gili, SL.
- Herce, M. y Miró, J. (2002). El soporte infraestructural de la ciudad. Barcelona, España. Ediciones Universidad Politécnica de Catalunya.
- Ochoa, J. (2009). Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos. Barcelona, España. Ediciones Erasmus.
- Ochoa, J. (1999). La vegetación como instrumento para el control microclimático (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Olgyay, V. (1963). Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona, España. Editorial Gustavo Gili.
- Peña, C. (1998). Usos, funciones y características de las plantas en el diseño del paisaje. Mexicali, México. Ediciones Universidad Autónoma de Baja California.
- Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, Ciudad Madero, Tamaulipas (2011). Recuperado de: [http://ciudadmadero.mx/images/sampled/transparentia/mapa\\_programa\\_municipal\\_ordenamiento.pdf](http://ciudadmadero.mx/images/sampled/transparentia/mapa_programa_municipal_ordenamiento.pdf)
- Programa Metropolitano de Ordenamiento Territorial de Altamira- Ciudad Madero- Tampico (2010). Recuperado de: <http://www.imeplansurdetamaulipas.gob.mx/Documento%20InstitucionalN.htm>
- Rosas, M. *et al.* (2013). La influencia de la configuración de los cañones urbanos en el confort del peatón. Nova Scientia. No.11, volumen 6, pp-pp. 228-253. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052014000100013&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052014000100013&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Rojas-Cortorreal, G; Roset, J; Navés F; López-Ordóñez, C; Crespo, I. (2016). El confort térmico producido por la especie arbórea Almez en el espacio público. Arquitectura, ciudad y entorno. 189-204 Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/309616859\\_El\\_efecto\\_del\\_confort\\_termico\\_producido\\_por\\_la\\_especie\\_arborea\\_Almez\\_en\\_el\\_espacio\\_publico](https://www.researchgate.net/publication/309616859_El_efecto_del_confort_termico_producido_por_la_especie_arborea_Almez_en_el_espacio_publico)
- Rueda, S. (2007). Libro verde de medio ambiente urbano. Tomo I. Ministerio de Medio Ambiente y Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. Recupe-

rado de: <http://www.ecourbano.es/imag/libroverde.pdf>

Rueda, S. (2010). Plan de indicadores de sostenibilidad urbana Vitoria Gasteiz. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. Recuperado de: <http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/89/14/38914.pdf>.

Solís, B. (17 de septiembre del 2014). Se adueñan de la Laguna Nuevo Amanecer en Altamira. Recuperado de: <http://conexiontotal.mx/2013/06/05/no-llueve-y-se-seca-la-laguna-nuevo-amanecer-de-madero/>