



TESIS DOCTORAL

Evaluación del potencial de la infraestructura verde urbana como estrategia de planificación territorial y adaptación al cambio climático en la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana

Solhanlle Ernestina Bonilla Duarte

Programa de doctorado: Desarrollo Territorial Sostenible

2021



TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LA INFRAESTRUCTURA
VERDE URBANA COMO ESTRATEGIA DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO,
REPÚBLICA DOMINICANA**

Solhanlle Ernestina Bonilla Duarte

**Programa de Doctorado en Desarrollo Territorial Sostenible
"La conformidad del director/es de la tesis consta en el original en
papel de esta Tesis Doctoral"**

Agustín García García

Víctor Francisco Gómez Valenzuela

**Evaluación del potencial de la Infraestructura Verde Urbana como estrategia de
planificación territorial y adaptación al cambio climático en la ciudad de
Santo Domingo, República Dominicana**

Índice General de Contenido

I	Introducción	1
II	Objetivos	10
	2.1. Objetivo General	10
	2.2. Objetivos Específicos	10
III	Justificación	10
IV	Materiales y Métodos	19
	4.1. Delimitación área de estudio	19
	4.2. Caracterización de los servicios ecosistémicos del arbolado	20
	4.3. Delimitación de la influencia del arbolado en la calidad del aire	21
	4.4. Determinación de la percepción de la población sobre los beneficios del arbolado urbano	23
V	Resultados	26
	5.1. Una aproximación al cálculo de los servicios ecosistémicos del Bosque Urbano en Santo Domingo	26
	5.2. Contribución del Bosque Urbano al servicio ecosistémico de calidad de aire en la ciudad de Santo Domingo	39
	5.3. Sostenibilidad del Bosque Urbano en áreas residenciales de la ciudad de Santo Domingo	52
VI	Discusión General	69
VII	Conclusiones	76
VIII	Referencias Bibliográficas	78

I. Introducción

Los servicios ecosistémicos que generan los bosques urbanos, pueden definirse como aquellos aspectos o componentes de los ecosistemas utilizados pasiva o activamente para producir bienestar individual o colectivo (Fisher & Turner, 2009), lo que implica que dichos servicios son de naturaleza estrictamente ecológica y que no pueden utilizarse directamente. Así mismo, los servicios ecosistémicos incluyen la estructura o componentes de los ecosistemas y sus funciones o procesos, los cuales se convierten en servicios si las personas pueden beneficiarse de los mismos (Fisher et al., 2008).

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005), plantea una clasificación general de los servicios derivados de los ecosistemas, que consiste en cuatro grandes categorías:

- Servicios de provisión: la provisión de recursos naturales (renovables, no renovables, continuos), claves para las actividades económicas de producción, subsistencia y consumo. Incluyen bienes tangibles tales como: fibras, combustibles, agua, alimentos, etc.
- Servicios de regulación: estos servicios como su nombre lo indica, son claves para la estabilización de los ecosistemas y entre ellos se destaca la regulación de la calidad del aire, la regulación climática, el control de la erosión, la purificación del agua y el tratamiento de desechos, el control de enfermedades y vectores, entre otros.
- Servicios de culturales: los servicios culturales están relacionados con los beneficios no-materiales obtenidos por los individuos y las poblaciones, así como con los valores religiosos y espirituales. Entre estos servicios destacan: la diversidad cultural, los valores religiosos y espirituales, los sistemas de conocimiento (tradicionales y científicos), las amenidades y el disfrute estético, entre otros.
- Servicios de soporte para la vida: estos servicios son los que determina el funcionamiento general de los ecosistemas ya que son necesarios para la producción de los restantes servicios ecosistémicos. Entre estos servicios, se pueden contar: la formación de suelo, la fotosíntesis, el ciclo hidrológico y otros ciclos similares como el del carbono o el hidrógeno, entre otros.

Una revisión más detallada de servicios ecosistémicos desde el punto de vista de sus funciones, tipologías, descripción y clasificación, así como de la literatura previa al año 2002, se encuentra en el trabajo de Groot y colaboradores (de Groot et al, 2010). En este trabajo, se seguirá el enfoque de servicios ecosistémicos sugerido por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). Los servicios de los ecosistemas tienen una relación con los determinantes del bienestar individual y colectivo de las poblaciones, que es

reconocida como un valor de carácter sociocultural (de Groot et al 2002.). Dichos determinantes, muy relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (FAO, 2016, Zuccheti et al, 2020), son los siguientes:

- Seguridad: aquí se refiere a los niveles de certeza de las personas con relación al acceso a bienes y recursos para su adecuado desarrollo, así como a la seguridad en términos de su integridad física, familiar, de sus bienes y posesiones y de las amenazas de desastres naturales. La regulación climática, el control de inundaciones, el control de plagas, enfermedades y vectores, constituyen ejemplos de servicios ecosistémicos fuertemente relacionados con este determinante del bienestar.
- Bienes y materiales básicos para la vida: este determinante se refiere a la capacidad de tener acceso a vivienda, refugios, suficiente alimento y agua potable, así como a combustibles, medicinas, fibras vegetales y animales, de manera que un cambio en la capacidad de los ecosistemas para proveer alimentos, materiales, energía puede tener un impacto significativo principalmente en comunidades pobres.
- Salud: aquí salud se refiere en términos generales a la condición de los individuos para sentirse en buen estado físico y mental, adecuadamente nutridos, con acceso a agua potable y medicamentos. En tal sentido la salud es al mismo tiempo un determinante del bienestar y producto del mismo, de tal forma que cambios en las capacidades de los ecosistemas de proveer alimento, agua, plantas medicinales y el control de plagas y vectores tienen un impacto significativo tanto el bienestar individual como colectivo.
- Buenas relaciones sociales: se refieren a la presencia de cohesión social, al respeto mutuo y a la posibilidad de ayudar a otros individuos, lo cual puede verse afectado por cambios en servicios ecosistémicos como la provisión de recursos o en los servicios de regulación, principalmente los relacionados con el control de inundaciones y la regulación climática.

Los bosques urbanos (BU) facilitan el contacto diario de los ciudadanos con la naturaleza. Los residentes experimentan diariamente varios desafíos ambientales y socioeconómicos que pueden disminuir el bienestar humano y/o calidad de vida tales como contaminación del aire, las islas de calor, escorrentía e inundaciones (Silva et al, 2017, Enjuto et al, 2017, Dobbs et al, 2018).

Entre los desafíos socioeconómico sobresalen estrés laboral, inequidad en el acceso a las zonas verdes y recreacionales, concentración de criminalidad, inseguridad alimentaria, la migración rural-urbano debido a conflictos y pobreza y la búsqueda de oportunidades

laborales. En este contexto, los BU, si están gestionados adecuadamente, pueden contribuir enormemente a la planificación, diseño y gestión de paisajes sostenibles y resilientes (FAO, 2016, Aldana et al, 2017). Pueden también contribuir a que las ciudades se vuelvan:

- más seguras – reduciendo la escorrentía del agua fluvial y las repercusiones causadas por el viento y las tormentas de arena, atenuando el efecto “isla de calor” y contribuyendo a la mitigación y adaptación al cambio climático;
- más agradables – ofreciendo lugares para el recreo y sedes para eventos sociales y espirituales, y mejorando las condiciones meteorológicas extremas;
- más saludables – mejorando la calidad del aire, ofreciendo zonas para el ejercicio físico y fomentando el bienestar psicológico;
- más ricas – ofreciendo oportunidades para la producción de alimentos, medicinas y madera y generando servicios ecosistémicos de gran valor económico;
- más diversas y atractivas – ofreciendo experiencias naturales para los habitantes de las zonas urbanas y periurbanas, aumentando la biodiversidad, creando paisajes diversos y manteniendo las tradiciones culturales.

Una valoración de los bosques urbanos, realizada por la ciudad de Londres, demostró que los ocho millones de árboles que crecen en el área urbana producen beneficios anuales de unos 132 millones de GBP, en su mayoría relacionados con la eliminación de la contaminación del aire y que tienen un valor recreativo estimado en 43000 millones de GBP (Rogers et al., 2015). Otros estudios en los Estados Unidos de América (EE.UU.) han demostrado que los árboles urbanos del país eliminan alrededor de 711000 toneladas métricas de contaminación (a un valor de 3800 millones de USD) al año (Nowak et al, 2006, Criollo et al, 2016).

Por su función en el abastecimiento, regulación y filtración del agua, los bosques urbanos tienen un papel fundamental de apoyo a la gestión de las aguas en y alrededor de los asentamientos urbanos. Los bosques periurbanos, por su parte, aumentan el suministro de agua de buena calidad, ayudando a las ciudades a resolver la creciente demanda hídrica (Arganaz & Lorenz, 2010, FAO, 2020). Al contribuir a almacenar el agua en los perfiles del suelo, los bosques aumentan la resiliencia ante sequías, cuya incidencia y gravedad se prevén agravadas por el cambio climático (Pimienta-Barros et al, 2014, FAO, 2016).

Aspectos urbanos	Beneficios potenciales de los bosques urbanos
Seguridad alimentaria	Suministran alimentos, agua limpia y leña
Pobreza urbana	Crean empleos y aumentan los ingresos
Degradación del suelo y del paisaje	Mejoran las condiciones del suelo y previenen la erosión
Reducción de la biodiversidad	Preservan y aumentan la biodiversidad
Contaminación del aire y acústica	Remueven los contaminantes del aire y fungen como barrera acústica
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	Secuestran el carbono y mitigan el cambio climático, mejoran el clima local y fomentan la resiliencia
Eventos climáticos extremos	Mitigan el clima local y fomentan la resiliencia
Escasez de energía	Ahorran energía por medio de sombra/enfriado y aumentan la disponibilidad de combustible leñoso
Efecto isla de calor	Refrescan el entorno edificado con la sombra y la evapotranspiración
Acceso limitado a las áreas verdes	Brindan mayor acceso a las áreas naturales y verdes
Salud pública	Mejoran la salud física y mental de los residentes
Inundaciones	Mitigan las escorrentías y atenúan las inundaciones
Oportunidades recreativas limitadas	Suministran oportunidades para la recreación y la educación ambiental
Exposición	Ofrecen refugio
Recursos hídricos limitados	Permiten la infiltración y la reutilización de las aguas residuales
Falta de cohesión comunitaria y social	Ofrecen lugares particulares para la interacción al aire libre formal e informal

Cuadro 1. Beneficios y servicios ecosistémicos de los bosques urbanos (FAO, 2017).

El proceso de urbanización no planificada que ha tenido lugar en muchas ciudades en las últimas décadas para ajustarse al crecimiento demográfico ha contribuido a la exposición diaria de las comunidades urbanas a riesgos ambientales que amenazan su salud y bienestar (Zuchetti et al, 2020, Calaza, 2015, INTEC, 2018). Además de condiciones de vida deficientes en varias ciudades, los residentes afrontan los riesgos que plantean los peligros naturales extremos, como tormentas, inundaciones, incendios y sequías, todo ello exacerbado por el cambio climático (Cerón-Palma et al, 2013, Pimienta-Barros, et al, 2014). La mayoría de las regiones del mundo están expuestas a peligros naturales que causan considerables daños económicos y la pérdida de vidas humanas. En las áreas urbanas, los riesgos que implican los peligros naturales pueden incrementarse debido a la intervención humana, lo que potencialmente conduce a situaciones de acumulación del riesgo y vulnerabilidad permanente (Pimienta-Barros et al, 2014, Klein et al, 2019, Zuchetti et al, 2020).

Una de las principales medidas para aumentar la resiliencia en los ámbitos urbanos es fortalecer los ecosistemas urbanos para asegurar que tengan la capacidad de reducir los riesgos y gestionar los desastres (FAO, 2016, Zuchetti et al, 2020). La infraestructura

verde urbana, cuya columna vertebral son los bosques urbanos y periurbanos, puede potenciar la resiliencia ante desastres y contribuir a minimizar la intensidad de los impactos asociados (Cuadro 2). La creación de una infraestructura verde urbana responde a los principios básicos de la resiliencia proactiva: eficiencia, diversidad, interdependencia, fortaleza, flexibilidad, autonomía, planificación y adaptabilidad (Bell, 2002, Klein et al, 2019).

Peligro	Función de los bosques urbanos y periurbanos
Natural	
Fuertes vientos (por ej., ciclones y huracanes)	Actúan como barreras; reducen la velocidad del viento y funcionan como malla de protección
Inundaciones y sequías	Reducen los volúmenes de aguas pluviales y el riesgo de que se produzcan inundaciones; aumentan la interceptación de las precipitaciones; incrementan la infiltración del agua y la recarga de aguas subterráneas
Desprendimiento de tierras	Aumentan la estabilidad de las laderas pronunciadas al reducir la escorrentía superficial y la erosión
Pérdida de suelos	Impiden la erosión de los suelos; reducen el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y mejoran la retención de agua en los suelos
Episodios de calor y frío extremos, efecto «isla de calor» urbana	Enfrían al proporcionar sombra, evapotranspiración, etc.; protegen de los vientos cálidos y fríos
Incendios forestales	Reducen la inflamabilidad, intensidad y propagación del fuego cuando están debidamente diseñados y gestionados
Pérdida de biodiversidad	Conservan especies y hábitats; limitan el ingreso de especies invasoras
Plagas y enfermedades	Limitan su propagación e impacto
Antropogénico	
Contaminación del aire	Captan el carbono; reducen la formación de ozono, atrapan partículas y gases contaminantes, disminuyen la emisión de alérgenos
Plagas y enfermedades	Forman una barrera amortiguadora contra el ingreso de especies invasivas
Disminución de la salud física y mental	Brindan espacios placenteros que aumentan el bienestar, la cohesión y la interacción sociales, las actividades recreativas, etc.

Cuadro 2 . Peligros en las ciudades y función de los BU-PU para reducir los riesgos (FAO, 2016)

Uno de los efectos del cambio climático en las ciudades, es el efecto de «isla de calor» urbana, que se intensifica de acuerdo con el tamaño, la densidad y composición material de una ciudad (Silva et al, 2017). Uno de los principales agentes catalizadores de la isla de calor urbana es la sustitución de zonas con vegetación por paisajes urbanos «secos», lo que reduce el enfriamiento que se logra mediante la evapotranspiración (Pearlmutter

at al, 2009, Pimienta-Barrios et al, 2014)) y, lo que es más importante en términos de estrés térmico humano, la sombra que reciben los peatones. El estrés térmico se ve intensificado por las superficies urbanas sin sombra, que absorben la energía solar, vuelven a irradiar el calor y reflejan la energía solar directamente sobre el cuerpo de los peatones (Rojas-Cortorreal et al. 2019, Enjuto, 2017).

La estrategia general más eficaz para mitigar el efecto de las islas de calor urbana es el cultivo de árboles dentro de las ciudades y en sus alrededores. La magnitud del efecto «isla fresca en los parques», es decir, la reducción de la temperatura del aire en los espacios urbanos verdes con respecto a sus alrededores edificados generalmente oscila entre 3° y 5 °C, pero puede llegar hasta casi 10 °C (Hiemstra *et al.*, 2017). Las copas de los árboles son especialmente beneficiosas para dar sombra cuando son amplias y densas y las hojas transpiran libremente (Shashua-Bar y Hoffman, 2004).

En lo que se refiere a inundaciones y tormentas, los volúmenes de aguas pluviales y de inundaciones en ciudades, se han transformado en una de las mayores preocupaciones sanitarias, ambientales y financieras a nivel mundial (Irrazabal, 2012, Arganaz & Lorenz, 2010). El aumento de la urbanización altera la hidrología de una zona, reduce la capacidad de infiltración del suelo e incrementa tanto la escorrentía de aguas superficiales como el caudal máximo instantáneo (Vilhar, 2017, FAO, 2016).

Los bosques urbanos y periurbanos tienen un gran potencial para reducir la escorrentía de las aguas pluviales al incrementar la evapotranspiración y la infiltración del agua en el suelo (Gregory *et al.*, 2006, FAO, 2016, Fernández et al, 2011) y debido a que las copas de los árboles interceptan las precipitaciones (Kermavnar y Vilhar, 2017).

Se pronostica que se producirán huracanes y vendavales con mayor frecuencia y gravedad debido al calentamiento global (Bender *et al.*, 2010). Al igual que otros tipos de infraestructuras, los árboles pueden sufrir daños debido a fuertes vientos y tormentas, pero también pueden contribuir al surgimiento de zonas resistentes a los huracanes. Duryea, Kampf y Littell (2007) estudiaron 10 huracanes recientes y su impacto sobre más de 150 especies de árboles urbanos para evaluar los factores que determinan que algunos árboles sean resistentes al viento. Los árboles con más capacidad de sobrevivir a las tormentas son compactos y tienen una gran raíz pivotante con raíces secundarias muy desarrolladas, un tronco de forma bien cónica, un centro de gravedad bajo y ramas abiertas, flexibles y cortas (Klein et al, 2019).

La vida urbana moderna puede tener impactos negativos sobre la salud pública y la calidad de vida de los ciudadanos (Criollo et al, 2016). De acuerdo con la Organización

Mundial de la Salud (OMS), se estima que cada año pueden atribuirse 12,6 millones de muertes a la existencia de ambientes urbanos no saludables (Prüss-Ustün *et al.*, 2016), y se ha asociado la contaminación del aire, el agua y el suelo, la exposición a sustancias químicas y al cambio climático a más de 100 tipos de dolencias; las enfermedades cardiovasculares y respiratorias se cuentan entre las primeras diez causas de muerte vinculadas al medio ambiente. Los bosques urbanos y periurbanos presentan riesgos para la salud humana, pero también pueden dar lugar a una amplia gama de beneficios para la salud (Moreno *et al.*, 2016)

Existen investigaciones (Cerón & Palma, 2013, Martínez *et al.*, 2016, Martínez-Soto *et al.*, 2014) que ha destacado el papel para el fomento de la salud humana la infraestructura verde en general y los bosques urbanos y periurbanos en particular. Se han implementado varias iniciativas, algunas de ellas con el apoyo de los servicios de salud nacionales y de la OMS, dirigidas a estimular el uso de los bosques urbanos y periurbanos para realizar actividades físicas y otras formas de recreación al aire libre, a fin de mejorar de la salud humana (OMS, 2010). Los espacios verdes, incluidos los bosques urbanos y periurbanos, pueden ofrecer una forma de terapia natural que ayude a las personas a recuperarse de acontecimientos traumáticos, como es el caso de las catástrofes. Entre las actividades con beneficios potencialmente terapéuticos se incluyen la plantación de jardines para la paz y la reconciliación, y el cuidado de los árboles sobrevivientes o la plantación de nuevos árboles en zonas afectadas por guerras, atentados terroristas o catástrofes (FAO, 2016, Moreno *et al.*, 2016).

Los BU y espacios verdes son considerados como un activos valiosos para lograr la sostenibilidad y resiliencia climática de las ciudades (Schnell *et al.*, 2015). Los BU generan beneficios y servicios ecosistémicos (BSE) para el bienestar de la población entre ellos secuestro de carbono, provisión de sombra, confort térmico, absorción de escorrentía, remoción de contaminantes del aire, reducción del ruido, valorizan las zonas residenciales, proveen de frutas, madera y leña, ofrecen hábitat a la fauna residente y contribuyen al paisajismo (Nowak *et al.*, 2014; Livesley *et al.*, 2016; McPherson *et al.*, 2018). Se puede definir a los bosques urbanos como redes o sistemas que comprenden todos los arbolados (rodales), grupos de árboles y árboles individuales ubicados en las áreas urbanas y periurbanas; por tanto, se incluyen bosques, árboles en las calles, árboles en los parques y jardines y árboles en las esquinas de las calles. Los bosques urbanos son la espina dorsal de la infraestructura verde que conecta las áreas urbanas a las rurales y mejora la huella ambiental de las ciudades (Nowak *et al.*, 2008).

La República Dominicana es una isla del Caribe y es parte de las Antillas Mayores, que es afectada drásticamente por un calentamiento regional recientemente detectado (Strellich, 2015, Nazario et al, 2017). De acuerdo con los resultados de las proyecciones climáticas del Observatorio de Cambio Climático del INTEC y el CCNY (2018), Santo Domingo enfrentará notables desafíos relativos a las condiciones climáticas para los próximos años. Los análisis realizados con series de tiempo utilizando el índice de calor, Santo Domingo proyecta un aumento continuo en los eventos de olas de calor, particularmente después de la mitad y al final del siglo XXI. Después de la mitad de este siglo, el segundo mayor número de olas de calor corresponde a 65 eventos. Estas proyecciones, realizadas con el escenario de aumento de dos grados, correspondiente al Acuerdo de París, indican una de las utilidades de la información a recabar con esta propuesta de investigación.

La isla de calor urbano (ICU) es un fenómeno de origen térmico, se define como la acumulación de calor a nivel urbano debido al gran porcentaje de hormigón y carencia de elementos permeables como la vegetación. Este fenómeno está íntimamente ligado al cambio climático. Estudios han demostrado que los costes económicos totales del cambio climático para las ciudades podría ser el doble con la combinación de los efectos de las islas de calor urbano (Estrada, Wouter Botzen, & Tol, 2017).

La forestería urbana y periurbana (FUP) es la práctica de gestión de los bosques urbanos para asegurar su contribución óptima al bienestar psicológico, sociológico y económico de las sociedades urbanas. La FUP es un enfoque integrado, interdisciplinario, participativo y estratégico de planificación y gestión de los bosques y árboles en y alrededor de las ciudades. Engloba la evaluación, planificación, plantación, mantenimiento, preservación y monitoreo de los bosques urbanos y puede operar a escalas que van desde un solo árbol hasta todo el paisaje. El ámbito de la FUP comprende todo el espectro del desarrollo, desde las extensas áreas metropolitanas que crecen espontáneamente hasta los proyectos de urbanización cuidadosamente planificados. A escala de la comunidad, la FUP pone de relieve el compromiso de los habitantes de las ciudades en la gestión de los árboles privados y públicos, incluso por medio de su educación sobre el valor y beneficio de los árboles y bosques y apoyando su completa apropiación y responsabilidad por el ambiente que les rodea. A la fecha, hay pocos estudios disponibles en Latinoamérica y el Caribe y la mayoría de ellos abordan los BSE de forma aislada, sin conectar los BSE con las interacciones ambiente-humanos típico de las ciudades y poblados. En este sentido, para que los BU puedan ser vistos y aceptados como elementos efectivos en las estrategias urbanas de adaptación y mitigación del cambio climático, se requiere de un mayor entendimiento y de una mayor divulgación

del rol que juegan como proveedores de BSE entre los tomadores de decisión y la sociedad en general.

II. Objetivos

2.1.Objetivo General

Generar una base de conocimiento técnico-científico sobre los servicios ecosistémicos y beneficios sociales de la infraestructura verde de la ciudad de Santo Domingo, como punto de partida para la toma de decisiones para la planificación urbana y resiliencia climática.

2.2.Objetivos específicos:

- Caracterizar los Servicios Ecosistémicos del arbolado urbano en la ciudad de Santo Domingo y su valor económico.
- Determinar la influencia del arbolado urbano en la calidad de aire en la ciudad de Santo Domingo.
- Determinar la percepción de la población sobre los beneficios del arbolado urbano en la ciudad de Santo Domingo.

III. Justificación

En la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades y poblados, y esa proporción continuará creciendo en las décadas venideras. Cuando las ciudades se planifican y se gestionan bien, pueden ser lugares fantásticos para vivir; no obstante, muchas urbanizaciones causan estragos ambientales, lo que en definitiva redundará en problemas como el surgimiento de inundaciones, la contaminación del aire y las «islas de calor» urbanas. Para los ciudadanos, el costo de lo anterior se traduce en el deterioro del bienestar; para el planeta, el costo implica un aumento en las emisiones de los gases de efecto invernadero y demás desechos, así como la degradación de los suelos y las vías fluviales. Desde 2009, la población urbana de América Latina y el Caribe (ALC) ha aumentado unos 175 millones, alcanzando casi los 625 millones de personas al 2016 (CEPAL, 2016). Actualmente la región es la más urbanizada del mundo, ya que 80% de su población vive en ciudades. Casi 70 millones de habitantes se concentran en cuatro megalópolis: Buenos Aires, Ciudad de México, Río de Janeiro y São Paulo (FAO, 2014).

Los espacios verdes y los bosques urbanos son considerados como un importante parámetro de sostenibilidad en las distintas relaciones de indicadores que se están realizando, a nivel mundial, por ejemplo, la primera generación de Indicadores Comunes Europeos, elaborado por el Grupo de Expertos sobre Medio Ambiente Urbano,

de la Dirección General de Medio Ambiente de la UE. Según este Informe Técnico, la existencia de zonas verdes públicas figura entre los cinco indicadores principales obligatorios para la sostenibilidad de las ciudades (*Expert Group on The Urban Environment*, 2001).

El desafío para las ciudades de la región de ALC consiste en cumplir metas cuantitativas 9 m² de espacio verde por habitante y cualitativas, como la calidad paisajística, la accesibilidad e inclusión, seguridad y disponibilidad, todos ellos, criterios fundamentales de los espacios verdes y bosques urbanos. Todo ello requiere que tanto la ciudadanía como los gestores de las ciudades, internalicen la necesidad de valorar todos los servicios ambientales que son prestados por los bosques urbanos, peri-urbanos y los espacios verdes (Wolfen y Mennis, 2009).

La internalización y valoración de los servicios ambientales prestados por los bosques urbanos y periurbanos (BU-PU) es la razón fundamental, que ha conducido a países como los USA a transferir recursos de la Secretaría de Salud a los condados, para recuperar y ampliar los espacios verdes públicos y bosques urbanos, en función de que ello contribuye según estudios en evitar la ocurrencia de 850 incidencias sobre mortalidad humana y 670.000 incidencias de síntomas respiratorios agudos (Nowak DJ, et al, 2014).

La realidad de la región de ALC nos impone entonces mejorar el abordaje para incrementar la cantidad y calidad de espacios verdes y bosques urbanos, de manera tal, que se pueda responder de forma efectiva a los siguientes desafíos:

- Internalizar en las ciudades los beneficios que en servicios ambientales presta el recurso arbóreo a través de los espacios verdes públicos y bosques urbanos, así como la necesidad que las ciudades lo incorporen dentro de la planificación ambiental.
- Valorar la importancia estratégica y el papel que juegan los bosques urbanos y espacios verdes para la concreción y mejoramiento de la sostenibilidad de las ciudades.
- Establecimiento de mecanismos que viabilicen el financiamiento de la rehabilitación de bosques urbanos y el establecimiento, mejoramiento y recuperación de espacios verdes.
- Incidir en el aumento de la cantidad de metros cuadrados (m²) de espacios verdes públicos y bosques urbanos en las ciudades de la región.

- Incidir en el mejoramiento de la calidad paisajística, la accesibilidad e inclusión, seguridad y disponibilidad de los espacios verdes públicos.

En 2015, la comunidad mundial adoptó una serie de metas – los ODS – concebidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad para todos, como parte de una nueva agenda para el desarrollo, reafirmando el desarrollo sostenible como medio para lograr un futuro mejor. Sin embargo, el crecimiento urbano amenaza y perjudica la consecución de los ODS, con ciudades responsables de la creciente proporción de emisiones de gas carbónico, además del agotamiento de recursos, el aumento en la desigualdad de los ingresos y otras tendencias negativas. Los bosques urbanos tienen un papel fundamental, de primer plano, en la consecución de los ODS. En la Nueva Agenda Urbana, los espacios verdes ya no se ven simplemente como características estéticas de los paisajes, sino como impulsores del desarrollo socioeconómico que pueden aprovecharse para aumentar el valor socioeconómico, lo que incluye aumentar el valor de la propiedad, facilitar las empresas y las inversiones públicas y privadas, y proporcionar oportunidades de subsistencia para todos (ODS 8 y ODS 10).

En línea con el ODS 13 (acción climática) y el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres), la Nueva Agenda Urbana propugna la gestión sostenible de los recursos naturales en las ciudades y los asentamientos humanos de una forma que proteja y mejore los ecosistemas urbanos y sus servicios ecosistémicos, reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire y promueva la gestión del riesgo de desastres. Los árboles y los bosques urbanos y periurbanos ayudan a mitigar el cambio climático al captar y almacenar directamente el dióxido de carbono atmosférico. Por otra parte, los árboles dan sombra y reducen la velocidad del viento, con lo que indirectamente disminuyen las emisiones de carbono al reducir la necesidad de aire acondicionado y calefacción y, por ende, reducen las emisiones de las plantas de energía (Escobedo and Nowak, 2009; Davies *et al.*, 2011; Gómez-Baggethun and Barton, 2013; McPherson *et al.*, 2013; Nowak *et al.*, 2013; Moser *et al.*, 2015; Livesley *et al.*, 2016)

Las superficies con sombra pueden ser 11 a 25 °C más frescas que las temperaturas pico de los materiales que carecen de sombra (Akbari, 2002); el resguardo a la sombra, por ende, puede extender la vida útil del pavimento vial hasta por diez años, lo que reduce las emisiones asociadas a los materiales con alto contenido de petróleo y la manipulación de los equipos pesados necesarios para repavimentar carreteras y remolcar escombros (McPherson, 2003). Las zonas urbanas son generalmente más cálidas que sus alrededores

(habitualmente 1 a 2 °C), pero llegan hasta 10 °C en ciertas condiciones climáticas (VLSAC, 2011; City of Melbourne, 2012).

Los BU-PU pueden reducir este efecto de «isla de calor» al proporcionar sombra y reducir el albedo urbano (la fracción de radiación solar que se refleja en el ambiente) y enfriar a través de la evapotranspiración (Simpson, 1998; Pandit and Laband, 2010; Armson *et al.*, 2013; Sanusi *et al.*, 2016).

Las personas en las zonas urbanas enfrentan muchos riesgos potenciales relacionados con el clima, como el aumento de la incidencia y severidad de las tormentas e inundaciones. Los árboles urbanos pueden contribuir a la gestión de las aguas pluviales de variadas maneras. La escorrentía de aguas pluviales puede reducirse mediante la evaporación de las precipitaciones interceptadas por las copas de los árboles y a través de la transpiración, y la calidad de las aguas pluviales puede mejorarse con la retención de agentes contaminantes en el suelo y las plantas (Jim and Chen, 2008; Baumgardner *et al.*, 2012; Nidzgorski and Hobbie, 2016). La reducción del flujo de aguas pluviales disminuye el riesgo de que se produzcan peligrosos desbordes de naturaleza mixta del alcantarillado (Livesley *et al.*, 2014; Szota *et al.*, 2019). Al aumentar la cohesión social, los BU-PU pueden ayudar a prevenir la mortalidad relacionada con los efectos del cambio climático, entre otros. La estabilidad de la comunidad es un componente esencial para contar con estrategias sostenibles a largo plazo efectivas a fin de abordar el cambio climático (Williamson, 2002; Schnell *et al.*, 2015). Por ejemplo, la tasa de mortalidad durante la gran ola de calor de Chicago de 1995 varió ampliamente por barrio, debido en parte a las diferencias en la cohesión de la comunidad (Organización Mundial de la Salud, sin fecha).

Los BU-PU son parte de los ecosistemas socioecológicos con múltiples escalas (Figura 1) que brindan una gama de beneficios e implican gastos. Por lo tanto, para asegurarse de que la silvicultura urbana y periurbana haga un aporte óptimo a la resiliencia y sostenibilidad de las ciudades modernas se requiere de planificación a largo plazo, conocimientos del contexto biofísico, socioecológico y socioeconómico y enfoques participativos (Dobbs *et al.*, 2011; Gómez-Baggethun and Barton, 2013; Morgenroth *et al.*, 2016).

La mayoría de las ciudades dividen los espacios públicos y efectúan su gestión a través de diversos organismos con objetivos diferentes. Los parques, cuerpos de agua, servidumbres de vías férreas, carreteras, zonas de conservación y demás espacios con árboles pueden ser objeto de una gestión muy diferente por parte de organismos diversos. Muchos de esos organismos, especialmente los que carecen de una función de

conservación determinada por ley (y, por ende, carecen del presupuesto correspondiente), pueden pasar completamente por alto la gestión forestal. Por lo tanto, un desafío clave para las ciudades es aumentar la coordinación y colaboración entre los organismos a fin de tener un enfoque congruente para la gestión de los bosques urbanos y periurbanos. Un enfoque intersectorial de este tipo puede generar mejores resultados que centralizar la gestión forestal en un único organismo.

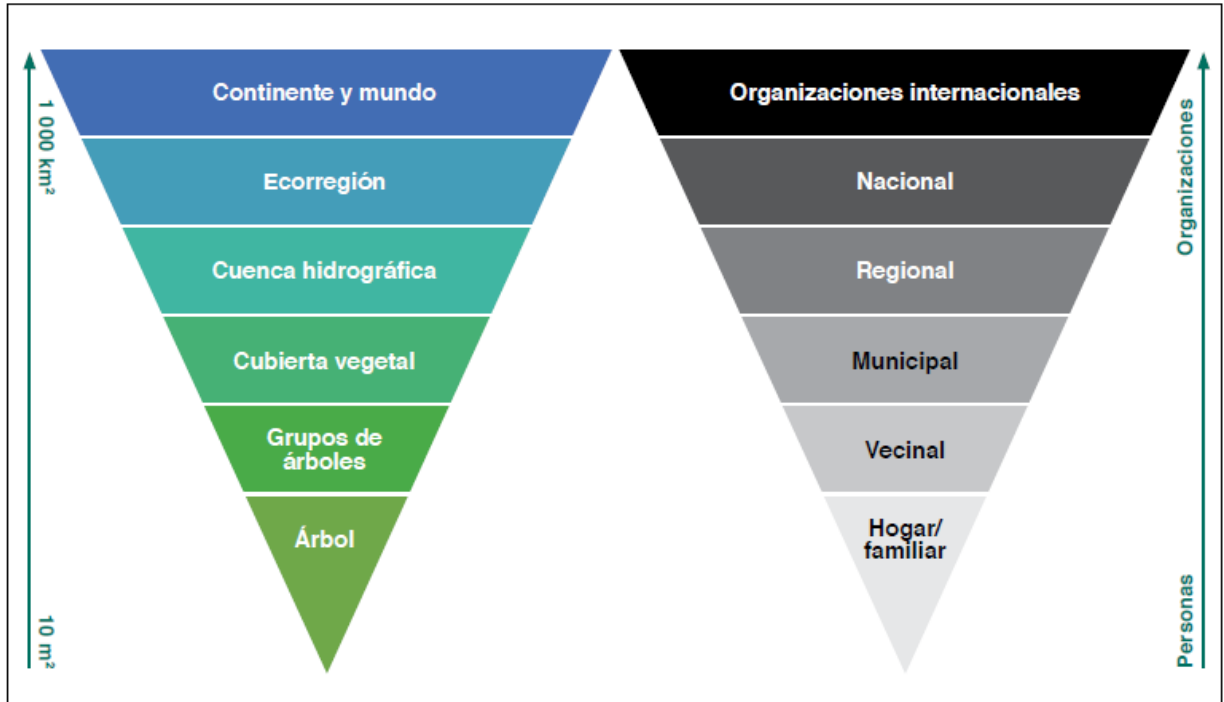


Figura 1. Escalas socio ecológicas vinculadas a los bosques urbanos, su gestión y sus servicios ecosistémicos (Fuente: Unasylvia 2018).

El diseño de los BU debe contemplar diversas escalas, desde el árbol a nivel individual hasta el bosque ciudadano (FAO, 2016). También debe abordar los requisitos estructurales, funcionales, ecológicos, paisajísticos, sociales y culturales para asegurar una multifuncionalidad. Entre los aspectos estructurales, debe considerarse la morfología de las especies (por ejemplo, los árboles, arbustos y gramas) y su distribución en el espacio disponible con miras a crear entornos con estructuras verticales variadas. Se pueden seleccionar las especies para favorecer ciertas funciones ecosistémicas. El tamaño, la longevidad y el tipo de crecimiento del árbol son otros elementos que se deben considerar en el diseño (Gustavsson, 2002); la diversidad de especies con diferentes

morfologías y funciones que ocupen distintos nichos ecológicos reduce el riesgo de que se produzca una mortandad extendida ante una amenaza dada y también puede implicar requisitos de mantenimiento más bajos. El acceso y la infraestructura son dos de los aspectos funcionales más relevantes del diseño de los bosques urbanos y periurbanos. Todos los residentes deberían tener acceso a una diversa gama de espacios abiertos para satisfacer sus distintas necesidades y expectativas, independientemente de su edad, etnia, cultura o discapacidad. La resiliencia de las ciudades ante el Cambio Climático y los fenómenos climáticos extremos asociados dependerá del mantenimiento de los procesos ecológicos (Klein et al, 2019). Resulta esencial asegurar una conectividad urbana y periurbana para mantener procesos ecológicos como la sucesión y la transición.

La ciencia y la práctica de la silvicultura urbana y periurbana han evolucionado con el aumento en la comprensión de los servicios ecosistémicos y beneficios sociales y la adopción de nuevas tecnologías (Escobedo *et al.*, 2008; Steenberg *et al.*, 2017)). Por ejemplo, la medición del ahorro de energía debido al efecto de sombra de los árboles ha cambiado el debate público sobre los costos y beneficios de la infraestructura verde. Los árboles no solo son elementos estéticos de esparcimiento, sino que también son estrategias de inversión y ahorro económicos. Según el contexto, solamente se necesitan esfuerzos relativamente pequeños para determinar y promover los beneficios sociales y ambientales de los BU-PU (Livesley *et al.*, 2016).

Los BU-UP prestan servicios culturales, de regulación y aprovisionamiento que pueden ser de importancia local y mundial. Los servicios de regulación incluyen la regulación climática (por ejemplo, enfriamiento), almacenamiento del carbono, eliminación de la contaminación del aire y regulación de las inundaciones. Los servicios culturales incluyen el patrimonio natural, la recreación, la estética, el intercambio de conocimientos y el «sentido de pertenencia» (Dobbs et al, 2011). Los servicios de aprovisionamiento, que son especialmente pertinentes para los habitantes de las ciudades en los países en desarrollo, incluyen productos como alimentos, leña para combustible, agua potable y medicinas (Shackleton *et al.*, 2015). Los bosques urbanos y periurbanos también contribuyen a la biodiversidad en las zonas urbanas (Alvey, 2006) y ayudan a generar diversidad cultural, con lo que incrementan la resiliencia de las ciudades ante las crisis y adversidades ambientales (Colding y Barthel, 2013)

La Figura 2 brinda un marco para visualizar la función de los bosques urbanos y periurbanos en la prestación de servicios ecosistémicos, por lo que delimitan el bienestar de los habitantes de las ciudades. Las preferencias por ciertos servicios ecosistémicos afectan la formulación de políticas y la toma de decisiones, así como el valor que se

asigna a los servicios ecosistémicos, lo que en última instancia afecta a la estructura y composición del patrimonio de los bosques urbanos y periurbanos a través de medidas de gestión. Todos los componentes de este marco pueden influir en la resiliencia de una ciudad ante las crisis y las adversidades sociales y ambientales (Dobbs et al, 2017).

La evidencia proveniente de América del Norte, Europa, el hemisferio sur y otros lugares corrobora con creces los aportes de los bosques urbanos y periurbanos al bienestar de los habitantes de las ciudades (Graca et al, 2018). Los gobiernos locales incluyen cada vez más bosques urbanos y periurbanos en sus procesos decisorios, de planificación y reglamentación, tanto a nivel formal como informal. En el presente artículo damos ejemplos de ciudades donde la silvicultura se está convirtiendo en una alternativa generalizada para crear urbes sostenibles y resilientes (Zuchetti et al, 2020, FAO, 2020).

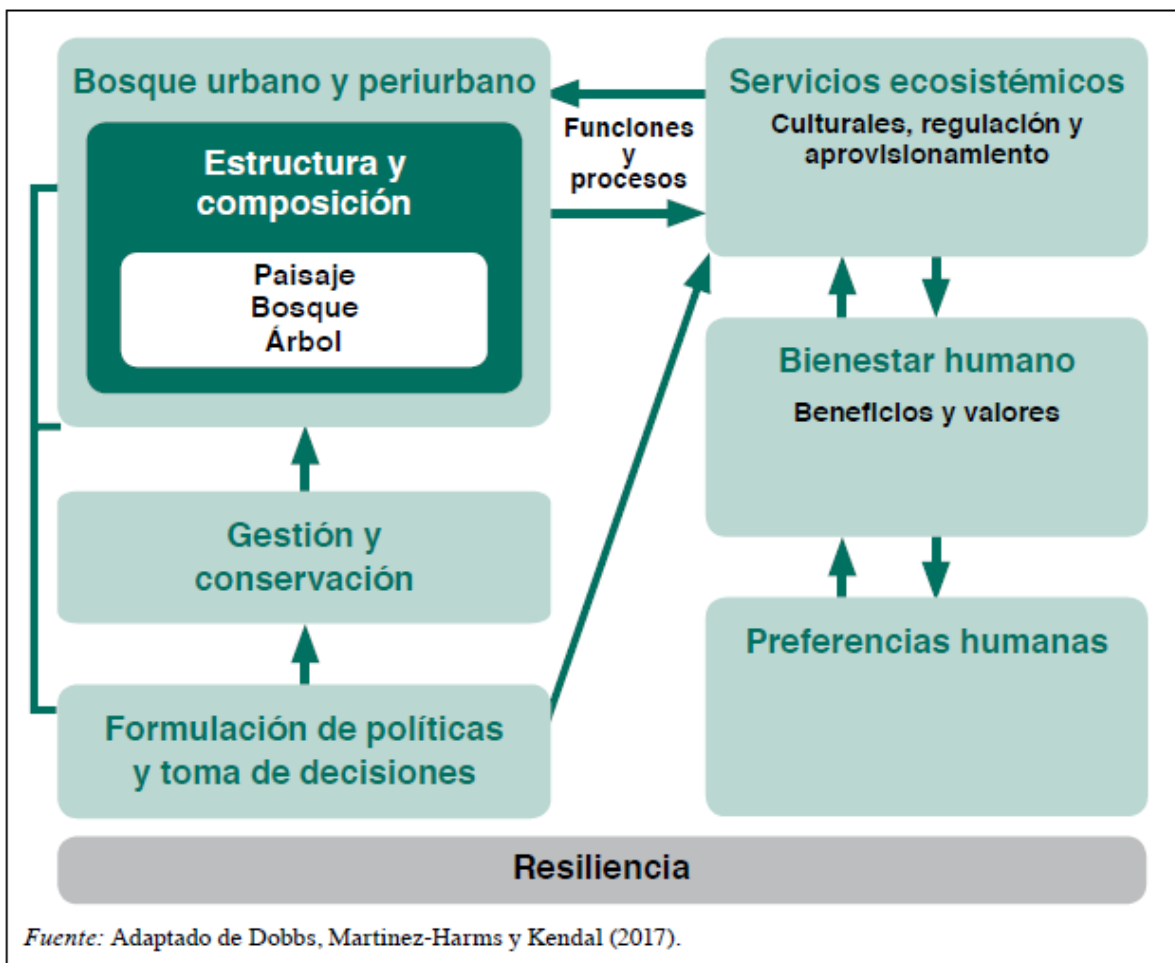


Figura 3. Marco teórico para la valoración de los servicios ecosistémicos y beneficios sociales que prestan los bosques urbanos y periurbanos.

Existen diversos modelos para cuantificar los beneficios de los bosques; los modelos disponibles de forma gratuita incluyen la herramienta InVEST (*Natural Capital Project*, sin fecha), el Biome-BGC (*Numerical Terradynamic Simulation Group*, sin fecha) así como numerosos instrumentos para evaluar el carbono forestal (por ejemplo, el Servicio Forestal de los Estados Unidos, 2016a). No obstante, son escasos los modelos que cuantifican los bosques urbanos y periurbanos. El modelo más completo desarrollado hasta la fecha para cuantificar la estructura, los beneficios y los valores de los bosques urbanos y periurbanos es i-Tree, un conjunto de herramientas disponibles en forma gratuita, desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos a través de una asociación público-privada. i-Tree se basa en datos científicos revisados por otros expertos y puede emplearse en todo el mundo. Tiene más de 180 000 usuarios en 130 países y fue diseñado para evaluar con precisión la estructura forestal local y su repercusión en los costos, beneficios y valores (Morani *et al.*, 2014). El modelo se centra en estimar la estructura del bosque y la magnitud de los servicios percibidos (por ejemplo, toneladas de carbono eliminadas). Posteriormente se hace una valoración económica para estimar el valor de un servicio determinado (por ejemplo, dólares por tonelada eliminada). El modelo emplea diversas estimaciones de tipo económico y los usuarios pueden ajustarlas si se dispone de valores económicos locales (Nowak *et al.*, 2014).

La cobertura arbórea urbana en Estados Unidos está disminuyendo (Nowak y Greenfield, 2012). Los planes de manejo deben considerar las distintas fuerzas que pueden alterar la estructura del bosque a lo largo del tiempo, incluidas aquellas que disminuyen la cobertura arbórea (por ejemplo, desarrollo, tormentas, insectos, enfermedades y tercera edad) y aquellas que aumentan la cubierta arbórea (por ejemplo, plantación de árboles, regeneración natural y especies invasoras). Se estima que en los Estados Unidos dos tercios del bosque urbano existente provienen de la regeneración natural (Nowak, 2012). La influencia de la plantación de árboles tiende a aumentar en ciudades ubicadas en zonas de pastizales y desiertos, en ciudades con mayor densidad de población y en lugares donde el uso de la tierra es objeto de un manejo exhaustivo en relación con los árboles (por ejemplo, las tierras residenciales). La planificación de los cambios generados por los seres humanos y la naturaleza en los bosques urbanos y periurbanos permitirá diseñar mejores planes de gestión que harán posible mantener la estructura y los beneficios del bosque a través del tiempo (Baró *et al.*, 2017, Kumar *et al.*, 2019).

El seguimiento y la evaluación de los bosques urbanos y periurbanos permiten desarrollar planes de manejo que optimizan la estructura forestal y los beneficios que

estos bosques brindan. Las evaluaciones y los modelos realizados en Estados Unidos indican que hay aproximadamente 5 500 millones de árboles (39,4% de cobertura arbórea) en las áreas urbanas de todo el país, que contienen 51,5 millones de hectáreas de superficie foliar y 40 millones de toneladas de biomasa foliar de peso seco. Anualmente, estos árboles producen un valor de un total de 18 300 millones de dólares estadounidenses (en adelante, dólares), cifra que comprende la eliminación de la contaminación del aire (5 400 millones de dólares), la reducción del consumo de energía en edificios (5 400 millones de dólares), la captura de carbono (4 800 millones de dólares) y la disminución de emisiones contaminantes (2 700 millones de dólares) (Nowak et al, 2018). Cada vez hay más ciudades en el mundo que evalúan sus bosques urbanos y periurbanos a fin de comprender mejor los costos y los beneficios. La primera ciudad que completó una evaluación de referencia fue Austin, Texas (Nowak *et al.*, 2016). En 2017 se llevó a cabo un seguimiento de 26 ciudades y en los próximos años se irán agregando otras al programa de seguimiento (USFS, 2016).

El potencial que tienen los bosques urbanos para reducir la vulnerabilidad de las ciudades ante el Cambio Climático tiene claras implicaciones para las políticas que fomentan la densificación urbana, altas densidades de viviendas y la consecuente reducción potencial o pérdida de áreas verdes (Zuchetti et al, 2020). Con el aumento de la temperatura debido al Cambio Climático, las áreas verdes probablemente se volverán cada vez más importantes, especialmente por los efectos directos de la mejora de los microclimas urbanos. El Cambio Climático tendrá implicaciones sobre la gestión y el coste de mantenimiento de los bosques urbanos y demás áreas verdes que, por ejemplo, podrían requerir más riego durante las sequías y estar sujetas al uso excesivo. Una correcta planificación de la forestería urbana (FUP) será necesaria para responder eficazmente al cambio climático (Nowak et al, 2006, Nowak et al, 2007). Esta investigación plantea un estudio de caso en la ciudad de Santo Domingo, en el que pueda obtenerse información para inferir los beneficios del bosque urbano, su incidencia en la calidad del aire y la sostenibilidad asociada a la apropiación y percepción de sus habitantes.

IV. Materiales y Métodos

4.1. Delimitación del área de estudio

La investigación se realizó en el Distrito Nacional, espacio geográfico donde se encuentra ubicada la ciudad de Santo Domingo, capital de la República Dominicana. El Distrito Nacional es la sede del gobierno central y constituye el centro de las actividades económicas del país. Con una población de 965,040 habitantes y una población flotante de 1,000,000 de personas que diariamente convergen en este espacio para realizar sus actividades laborales y comerciales, esta área presenta una densidad poblacional de 10,538 hab/km². (ADN, 2018).

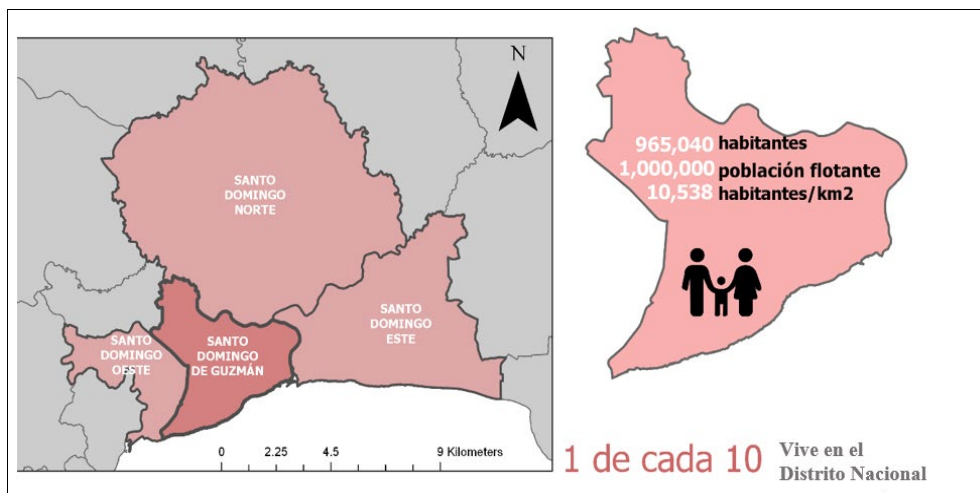


Imagen 1. Datos generales del Distrito Nacional

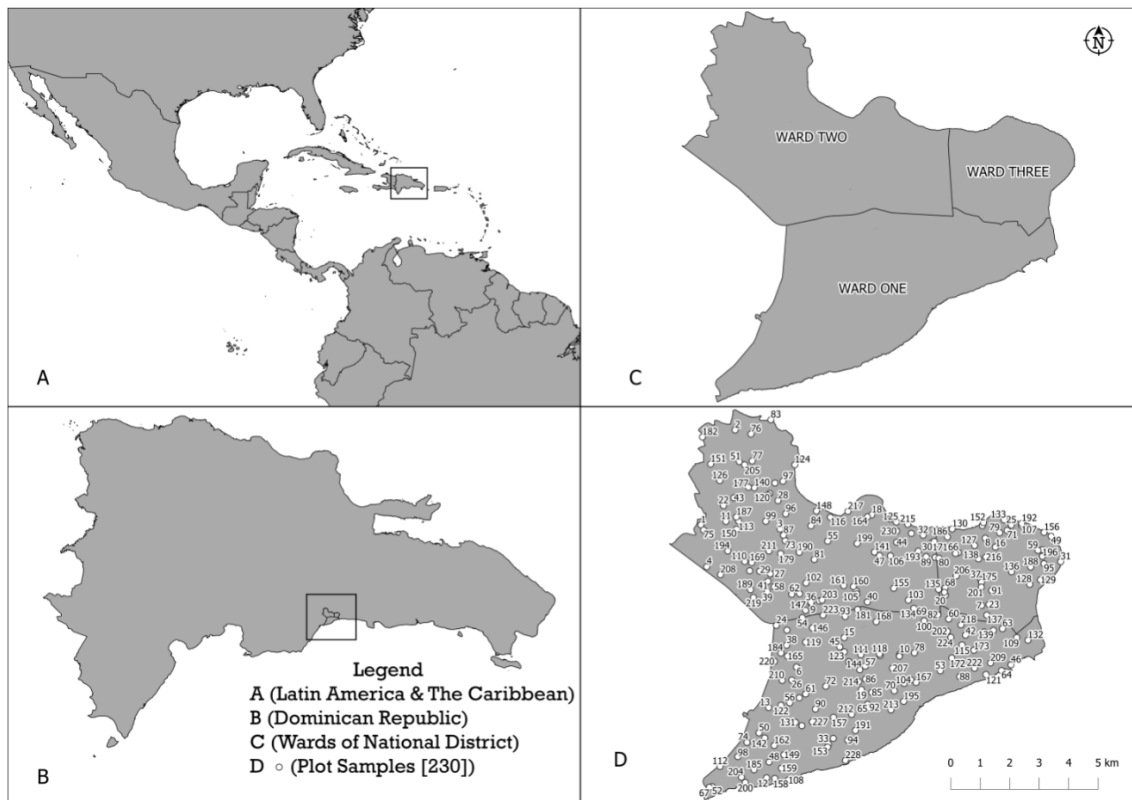
Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por Ayuntamiento del Distrito Nacional. POT capital (2019)

Este espacio geográfico tiene una extensión superficial de 91.58 km², dividido en 3 Circunscripciones, C1, C2 y C3. Según estudios recientes, más de del 50% del territorio se considera urbanizable, por lo que en esta área lo más común de encontrar son zonas comerciales y residenciales, usos de suelo que deben convivir sin que uno afecte al otro (ADN, 2018).

4.2. Caracterización de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano

Se utilizó la herramienta iTree que permite caracterizar y estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos de la infraestructura verde rural y urbana. iTree es una herramienta creada por el servicio Forestal de Estados Unidos (USFS), que tiene varias aplicaciones específicas. Para este estudio se utilizara i-Tree Eco. Este modelo emplea datos provenientes de muestras o inventarios, así como datos ambientales locales para evaluar y proyectar la estructura, los beneficios, las amenazas y los valores del bosque para cualquier población de árboles (Nowak *et al.*, 2008). i-Tree Eco incluye herramientas de selección de parcelas, aplicaciones para el ingreso de datos móviles, creación y exportación de informes con tablas y gráficos, y generación automática de informes.

Para los fines de este estudio se realizaron mediciones en parcelas en los principales parques y parches de bosques urbanos de la ciudad de Santo Domingo. También en los barrios San Carlos, Ciudad Nueva, Gazcue y Zona Colonial. El Mapa 1, muestra la ubicación de las 206 parcelas de medición.



Mapa 1. Ubicación area de estudio y parcelas muestreo iTree.

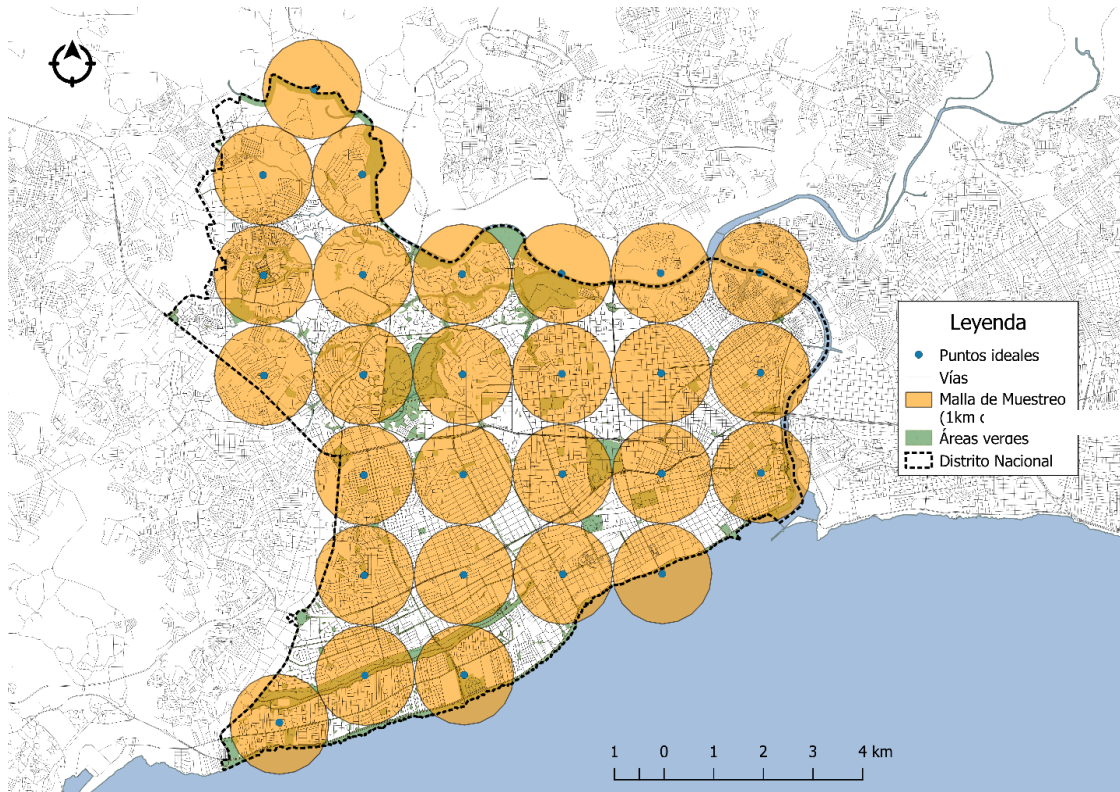
Fuente: Elaboración propia.

4.3. Determinación de la influencia del arbolado urbano en la calidad de aire

Para la realización de este estudio, se plantea un levantamiento muestral en tres fases:

a. Determinación de la malla de puntos de muestreo

Para esta fase, se establece la línea base previa a este momento, mediante la búsqueda de la información generada y disponible para el usuario. De acuerdo con los datos obtenidos se corrige la malla de muestreo, en este caso mediante la adición de nuevos puntos. Esto con el objetivo de disminuir el nivel de error en las mediciones. La nueva malla de muestreo debe considerar los tipos de contaminantes medidos, los equipos usados, el período y la frecuencia de medición. Esto posibilita la obtención de resultados estadísticamente comparables. Para conformar la malla de muestreo se usa el Software de Análisis Geoespacial QGIS, por ser un programa de libre acceso. Aquí se utiliza la herramienta vectorial de investigación de puntos regulares que establecer una red de puntos separados a 1 km de distancia (mapa 2).



Mapa 2. Conformación de la malla ideal de puntos de muestreo para calidad del aire en Distrito Nacional

b. Niveles de partículas suspendidas en el aire (PM₁₀)

Se midieron en campo los niveles de particulado PM₁₀, para cada punto de muestreo por un periodo de 24 horas. Las muestras de contaminantes se recolectan por medios físico-químicos para su posterior análisis en el laboratorio. Por lo general, se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector como un filtro (muestreador activo manual durante un determinado periodo y luego se retira para el análisis).

Para las mediciones de material particulado PM₁₀, se utilizó un muestreador activo (Air Metric Mini Vol TAS), equipo que requiere energía eléctrica para funcionar.

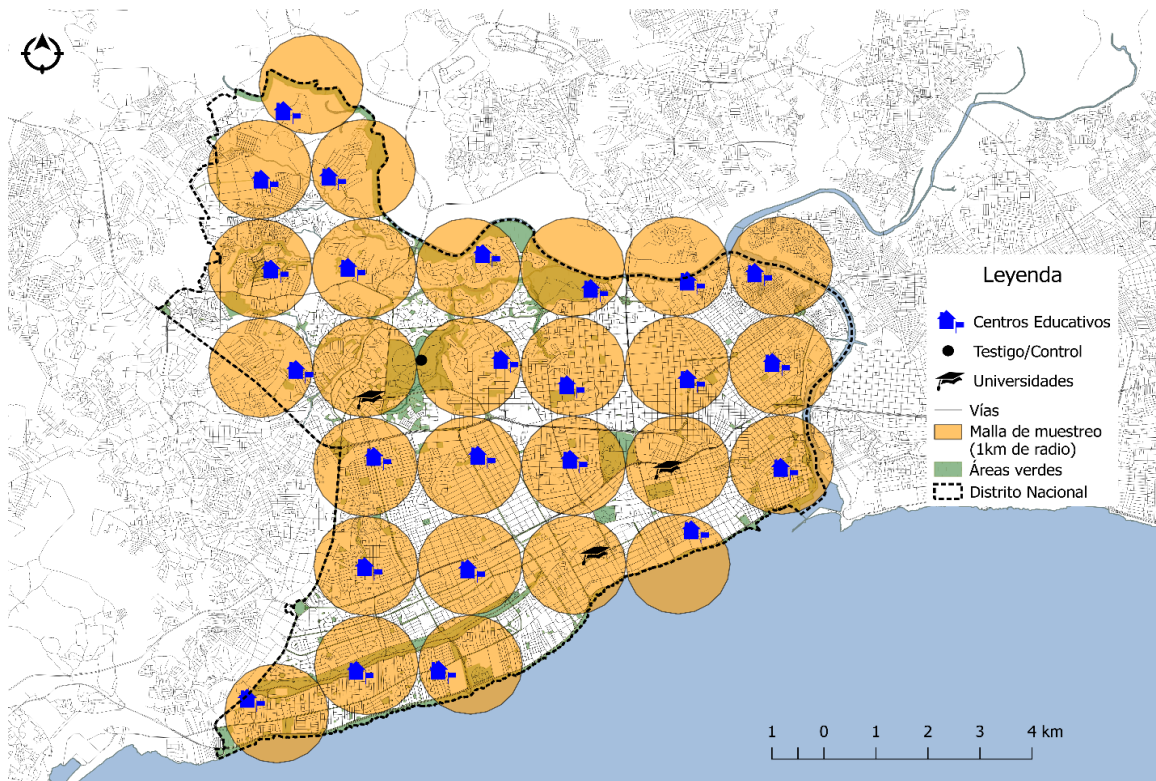
Para la medición de niveles de inmisión NO₂ – SO₂ y CO₂, se realizó mediante el uso de muestreadores pasivos, dispositivos en forma de disco o tubo de poco peso. Estos recolectan un contaminante específico por adsorción/absorción mediante un sustrato químico determinado por el tipo de sustancia a muestrear. El tiempo de medición para estos tipos de contaminantes es de 30 días. Luego de este procedimiento, las muestras se envían a laboratorio para ser analizadas mediante la técnica de Cromatografía Iónica, que permite determinar bajas concentraciones del contaminante por presentar alta sensibilidad en el método analítico. Esto permite cumplir con las especificaciones descritas en la normativa ambiental vigente en el país y los dispositivos legales a escala internacional. Se usaron por mes 27 muestreadores NO₂ – SO₂ y 27 muestreadores CO₂. En total fueron necesarios 162 muestreadores para cubrir tres meses de monitoreo.

Análisis estadístico de los resultados obtenidos

Con el fin de cumplir con los criterios técnicos establecidos en estudios de calidad del aire tanto a nivel local como regional, se optimizó la malla de monitoreo mediante la búsqueda de punto de muestreo seguros. Para esto se determinaron 28 puntos, correspondientes a 26 centros educativos, 1 campus universitario y un punto testigo, localizado en el Jardín Botánico (mapa 3).

Para la medición de los niveles de particulado PM₁₀, se muestreó una vez cada punto para tener una medición por mes y un total de 3 mediciones para el trimestre de muestreo. Para el análisis de los resultados se trabajará con el filtro recolectado cada 24 horas, replicando una sola vez cada análisis de concentración de partículas. En el caso de los niveles de inmisión NO₂ – SO₂ y CO₂, se montaron 54 muestreadores pasivos cada mes, 27 correspondientes a NO₂ – SO₂ y los otros 27 para CO₂. Este proceso se repitió

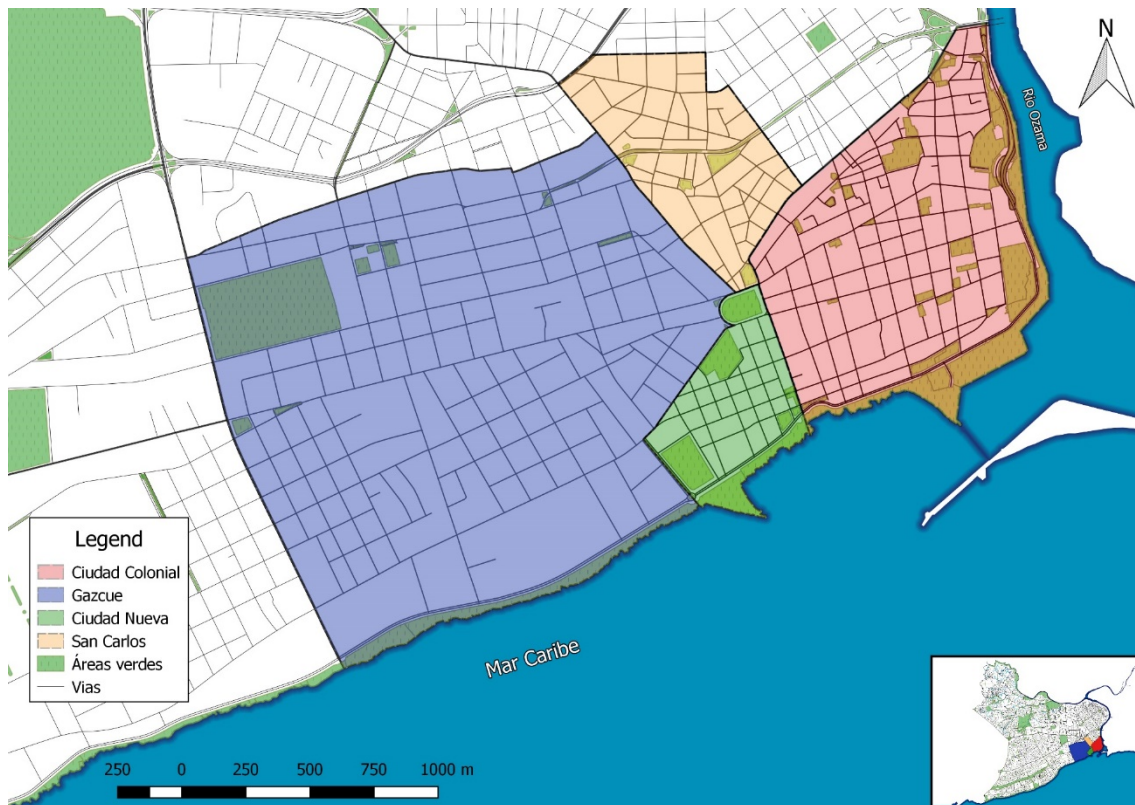
cada mes y los equipos fueron enviados a un laboratorio certificado para el análisis de Cromatografía Iónica.



Mapa 3. Malla puntos muestreo calidad de aire

4.4. Determinación de la percepción de la población sobre los beneficios del arbolado urbano

Para la determinación de la percepción se realizaron 147 entrevistas semiestructuradas a pobladores de las zonas de estudio, distribuidas en 30 entrevistas en Zona Colonial, 39 en Ciudad Nueva, 30 en Gazcue y 48 en San Carlos. En estas entrevistas se recabó información sobre percepción sobre beneficios y manejo de los árboles tanto en su vivienda como en las zonas públicas, así como de las características socioeconómicas del entrevistado. Para el análisis de servicios ecosistémicos de la cobertura forestal se tomaron los datos de las mediciones realizadas con el software iTree para las cuatro zonas.



Mapa 4. Ubicación de Barrios donde se realizaron las encuestas a Hogares
 Fuente: Elaboración propia con datos de ADN, 2019.

La composición de los sectores de estudio es de 10,995 hogares (ONE, 2010) y una población total de 32,796 personas, con un nivel de confianza del 95.5% y un error de muestreo del 8%. La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo multietápico, estratificado por sectores/barrios de estudios (SE) y por conglomerados de tamaños desiguales según cantidad de hogares. Las entrevistas fueron aplicadas a una población mayor de 18 años, residentes en los sectores de estudios y preferiblemente jefes de hogares de las viviendas seleccionadas según disponibilidad de la muestra.

Para mantener la aleatoriedad de la muestra la selección de los hogares fue al azar, para esto se aplicó el Número Mágico 3 (*NM-3*), lo cual permitió una selección heterogénea y con igualdad de oportunidades para la población que se visitada, es decir, en una muestra ideal los hogares a entrevistar serían; N1, N4, N7, N10, N13... Las entrevistas serán realizadas solo a viviendas, sean estas unifamiliares, viviendas que compartan negocios y apartamentos que se encuentren ubicados en el primer nivel. El recorrido será

en el sentido de las manecillas del reloj comenzando con el primer inmueble (vivienda) de cada manzana de los sectores.

V. Resultados

5.1. Una aproximación al cálculo de los servicios ecosistémicos del bosque urbano en Santo Domingo, República Dominicana.

Resumen

La República Dominicana (RD) al igual que muchos países del trópico, presenta una vulnerabilidad latente a las consecuencias de los posibles escenarios de cambio climático que pueden incidir en el incremento del nivel del mar, inundaciones, sequías prolongadas, interrupción en el suministro del agua, entre otras. Las zonas urbanas son de particular preocupación por su vulnerabilidad a tales eventos, así como a los contaminantes atmosféricos generados principalmente por la industria y el tránsito automotor que, junto a la pérdida de cobertura boscosa han intensificado las olas de calor en la última década. Los bosques urbanos de Santo Domingo, RD son una estrategia de mitigación y adaptación; sin embargo, aún no se cuenta con herramientas estandarizadas que permitan evaluar y priorizar el aporte de las áreas verdes urbanas para tales fines. Esta investigación usa la herramienta iTree ECO para estimar los beneficios, funcionalidad y el valor económico de la infraestructura verde. El 86% del arbolado son especies introducidas, no hay una planificación adecuada para su establecimiento y mantenimiento por lo que sus aportes ecosistémicos son limitados. Estos elementos son el punto de partida para analizar la contribución de la planificación del bosque urbano para la adaptación al cambio climático y el bienestar de los habitantes de la ciudad de Santo Domingo.

Palabras clave: bosques urbanos; resiliencia urbana, cambio climático, infraestructura verde, planeación urbana

Abstract

Similar to several other countries in the tropical region, the Dominican Republic (DR) presents a latent vulnerability to the consequences of possible climate change scenarios, which may be affected by the increase in sea level, floods, extended droughts, interruption of the water supply, among others. Urban areas are particularly a cause of concern given their vulnerability to such events as well as to the atmospheric pollutants primarily generated by industry and automotive transit which, together with the loss of forest cover, have intensified heat waves in the last decade. Urban forests in Santo Domingo, DR, are a mitigation and adaptation strategy; however, standardized tools that allow us to assess and prioritize the contribution of green urban areas for these purposes are not yet available. This research uses the i-Tree ECO tool to estimate the

benefits, functionality, and economic value of green infrastructure. Overall, 86% of the forested areas comprise introduced species, and there is no adequate planning for their establishment and maintenance. Therefore, their ecosystem contributions are limited. These elements are the starting point in the analysis of the contribution of urban forest planning toward the adaptation to climate change and wellbeing of the inhabitants of the city of Santo Domingo.

Keywords: urban forests; urban resilience, climate change, green infrastructure, urban planning
Article

An approach to the assessment of urban forests' ecosystem services in Santo Domingo, Dominican Republic



Solhanlle Bonilla-Duarte^{1,2}, Víctor Gómez-Valenzuela¹, Alma Liz Vargas-de la Mora¹, and Agustín García-García²

¹Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Ave. de Los Próceres, Santo Domingo 10100, Dominican Republic; solhanlle.bonilla@intec.edu.do (S.B.-D.); victor.gomez@intec.edu.do (V.G.-V.); fama_yo@hotmail.com (A.-L.V.-d.l.M.)

²School of Economics, Universidad de Extremadura, Av. Elvas s/n, 06006 Badajoz, Spain

* Correspondence: solhanlle.bonilla@intec.edu.do

Abstract: Similar to several other countries in the tropical region, the Dominican Republic (DR) presents a latent vulnerability to the consequences of possible climate change scenarios, which may be affected by the increase in sea level, floods, extended droughts, interruption of the water supply, among others. Urban areas are particularly a cause of concern given their vulnerability to such events as well as to the atmospheric pollutants primarily generated by industry and automotive transit which, together with the loss of forest cover, have intensified heat waves in the last decade. Urban forests in Santo Domingo, DR, are a mitigation and adaptation strategy; however, standardized tools that allow us to assess and prioritize the contribution of green urban areas for these purposes are not yet available. This research uses the i-Tree ECO tool to estimate the benefits, functionality, and economic value of green infrastructure. Overall, 86% of the forested areas comprise introduced species, and there is no adequate planning for their establishment and maintenance. Therefore, their ecosystem contributions are limited. These elements are the starting point in the analysis of the contribution of urban forest planning toward the adaptation to climate change and wellbeing of the inhabitants of the city of Santo Domingo.

Keywords: urban forests; urban resilience, climate change, green infrastructure, urban planning

1. Introduction

The city of Santo Domingo de Guzmán is in the National District and is the Capital of the Dominican Republic (DR). Since the territorial division in 2001, the National District has been located at the center of the country's largest metropolitan area, with a surface area of 91.58 km² [1,2].

The capital territory is circumscribed and is surrounded by the Isabela River on the north, the Caribbean Sea on the south, the Ozama River on the east, and the municipalities of Western Santo Domingo and Los Alcarrizos on the west. Administratively, the National District is divided into three differentiated environmental, spatial, and socioeconomic circumscriptions. Circumscription number one is located south of the National District and has a surface area of 39.36 km². This territory is the most consolidated one, with some of the oldest populated areas of the city, including Ciudad Colonial, the first walled city in Latin America, declared a World Heritage Site by UNESCO [3]. Circumscription number two is located northwest of the National District and has an extension of 39.35 km². Its occupational model consists of suburban expansion.

Circumscription number three is located northeast of the National District. With its smaller extension (13.29 km²), it is the territory with the greatest informal occupation and highest population density [1,4].

In addition to the abovementioned urban spaces, this territory preserves major green infrastructure spaces, which provide important ecosystem services [5]. Ecosystem services (ES) generated by urban forests may be defined as the ecosystem components passively or actively used to produce individual or collective wellbeing, implying that such services have a strictly ecological nature [6] and are conceived as services if people can benefit from them [7].

Legally, Act 176-07 of the National District and its municipalities, Act 64-00 on Environment and Natural Resources as well as the National Plan for Adaptation to Climate Change and the National District Land Management Plan define specific competencies to manage, preserve, and promote green public spaces and prioritize them as a climate change mitigation and adaptation measure [8].

Despite the legal support and the abovementioned public policies, in Santo Domingo, between 1995 and 2018, deforestation and poor urban planning have resulted in an increased frequency of floods, occurrence of extreme meteorological phenomena, and the increase in temperature of up to 0.7°C [9]. The high property value gains in the city derived from land sales for the construction of buildings has negatively impacted the urban environmental context [10]. Paradoxically, the forest component in major cities is an element that increases property value along with contributing to human emotional wellbeing, improving local microclimates, and eliminating air pollutants [11].

Some studies [12-16] have reported the contribution of urban trees in the protection and resilience of urbanized ecosystems against climate change in cities. All these studies emphasize that urban forests can improve temperature as well as water and air quality in the city center; additionally, they increase water infiltration into the soil, thereby reducing runoff and floods.

However, urban planning and forest preservation actions, both in public and private spaces within cities, are not in line with the challenges faced by the cities to adapt and mitigate the problems posed by climate change, such as addressing the needs of a growing population. The fast and uncontrolled growth of the cities undermines human and environmental wellbeing. Conversely, the introduction of trees that are not adequate for the cities' conditions may have negative consequences, causing structural damage to infrastructure as well as limiting the possible environmental benefits to the local fauna [8, 17-18].

One of the main challenges of urban spaces is to devise a sustainability plan; idyllically, the cities would be expected to comply with the environmental requirement of trees and humans, considering that both have a historical, cosmogonic, and emotional connection [17].

According to Szabo [17], 80% of the forested areas in Santo Domingo comprises non-adequate species, which generates problems such as the use of large-sized species in small spaces; damage to infrastructure (such as sidewalks) caused by roots; mistreatment of trees owing to mismanaged pruning, limited habitat, and food contribution to native fauna; and introduction of rapidly propagated tree species that have plagued and occupied the space of native species. Additionally, some introduced short-life cycle species have scarce or non-existent landscape value and do not resist the impact of extreme meteorological phenomena, especially hurricanes.

In this context, the importance of identifying urban tree species and their ecosystem contributions would contribute to better city planning, which would in turn have a direct effect on the reduction of maintenance costs of green areas, the minimization of structural damages, a

greater resilience of green infrastructure to extreme meteorological phenomena as well as benefits to the urban wild fauna.

Taking this context into account, the purpose of this research was to identify the tree species present in the National District, the ES they provide, and their impact on the territory. To this end, we have analyzed the information derived from the urban forest measurements performed using the i-Tree tool.

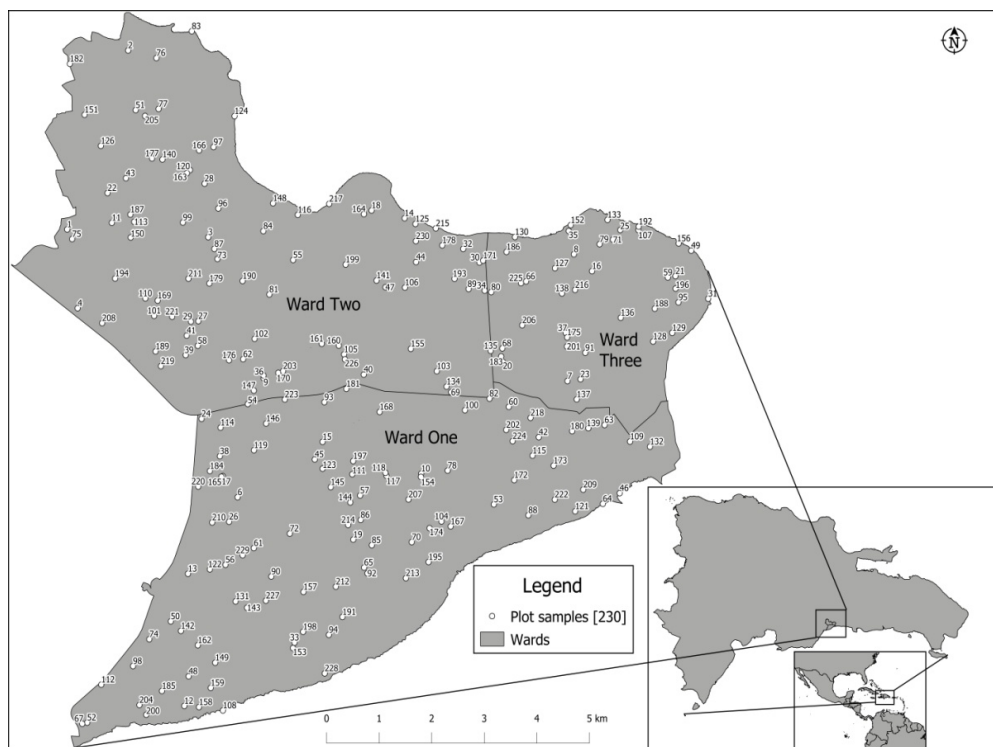
2. Materials and Methods

2.1. General description of the study area

Santo Domingo is the capital of the DR, located in the National District, the main municipality of the province of Santo Domingo. It has 965,040 inhabitants and a surface area of 91 km², of which 82% is of urban use. It is considered to be the main city of the insular Caribbean with respect to size [19].

2.2. Methods

The data assessed was obtained from the work report called “i-Tree Ecosystem Analysis of the National District, Effects and Values of Urban Forests.” This analysis was conducted in the National District, DR, during the 2016–2019 period in public spaces and neighborhoods of the city. In this study, 206 plots distributed in the entire study territory were sampled (Map 1).



Map 1: Tree sampling plots, National District, Dominican Republic (2016–2019)

The information collected from the sampling plots comprised data on tree species, impact of diseases or plagues on trees, height measurement of trees, diameter at breast height, and crown diameter. The sampling results were analyzed using the i-Tree Eco V6.0 software. This tool comprises a set of applications developed by the US Forest Service (USFS) designed to quantify the structure, threats, benefits, and values provided by trees [20]. Table 1 describes the variables measured during the 2016–2019 period, which were taken into consideration for this research analysis.

Table 1. Variables analysis for the assessment of trees’ environmental and economic services in the study area.

Environmental services	Unit	Economic services	Unit
Number of trees per species	N/A	Carbon storage value	\$*
Diameter at breast height (DBH)	cm	Gross carbon sequestration value	\$/yr
Carbon storage	kg	Runoff avoided value	\$/yr
Net carbon sequestration	kg/yr	Pollution removed value	\$/yr
Runoff avoided	m ³ /yr		
Pollution removed	g/yr		
Oxygen provision	Ton		
Air biomass cover	Ha		
Habitat	Likert Scale [0,1]		

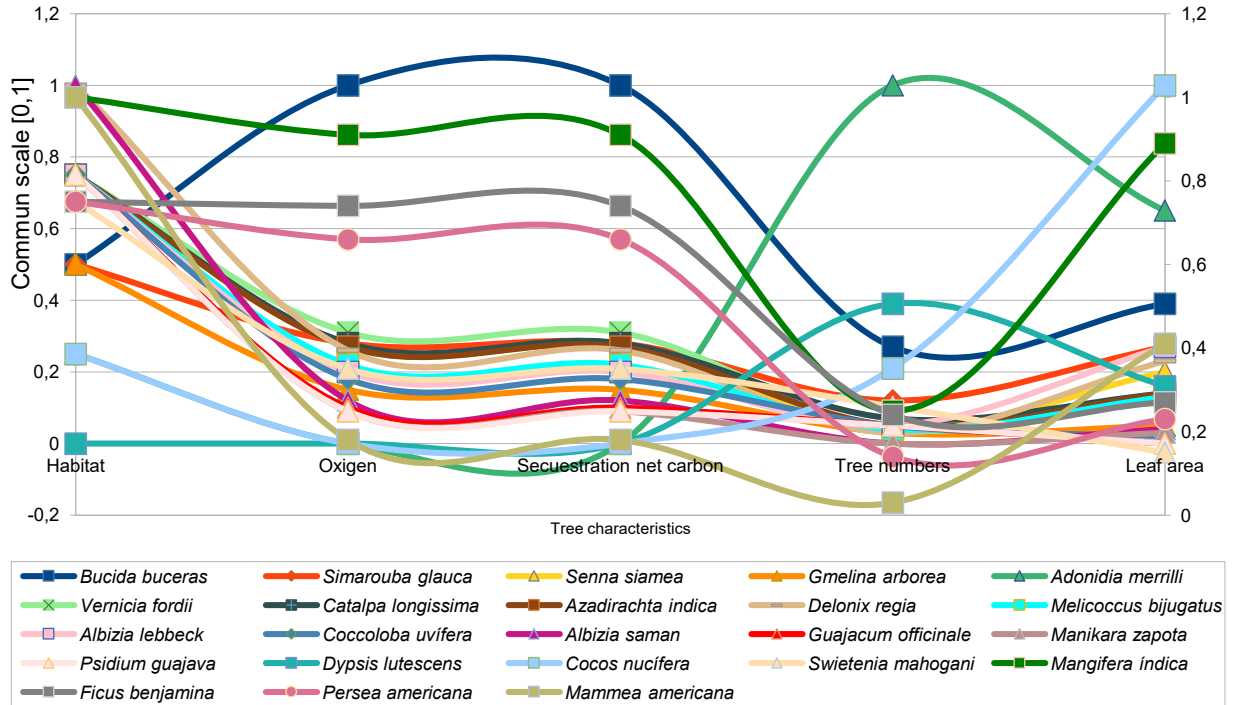
* US dollars. Exchange rate: 1 US dollar equivalent to 57 Dominican pesos (Central Bank of the Dominican Republic, as of June 11, 2021)

The variable “habitat” was assessed using the Likert scale (0 = very little; 0.25 = little; 0.5 = moderately good; 0.75 = good; and 1 = very good), taking two premises into account: a greater air biomass provides a better habitat and the production of edible fruit, i.e., food for wild fauna [21]. An ES scale was created taking into account the variables “oxygen provision,” “net carbon sequestration” [22], and “air biomass cover” [23]. The values of the four indicators were standardized in 0-1 range and added [24] to obtain an environmental contribution scale for each tree species. Finally, the general contributions of the forest coverage to the National District were described.

3. Results

The results from the analysis conducted using the i-Tree software estimated that the National District comprised 640,600 trees, which represent 15.4% of the territorial cover with a density of 70 trees/ha. According to the field records of species, 86% are exotic and mainly come from Asia (37%), approximately 10% have an African origin, and <5% come from Africa.

The predominant tree species are *Adonidia merrilli* (19.3%) predominantly, followed by *Dypsis lutescens* (7.7%), *Bucida buceras* (5.4%), *Swietenia mahogani* (5.2%), *Mangifera indica* (5%), *Ficus benjamina* (4.9%), and *Cocos nucifera* (4.2%). Graph 1 shows the 23 species with the greatest representation in the territory based on the ES and number of trees per species, including *Bucida buceras*, *Mangifera indica*, *Ficus benjamina*, and *Persea americana*.



Graph 1. Representative tree species based on their characteristics and ecosystem contributions

From the species presented in Graph 1, it can be noted that only 39% are native (*Bucida buceras*, *Swietenia mahogani*, *Mammea americana*, *Catalpa longissima*, *Melicoccus bijugatus*, *Coccoloba uvifera*, *Guajacum officinale*, *Psidium guajava*, and *Simarouba glauca*), whereas *Cocos nucifera* as well as other introduced palms predominate in number.

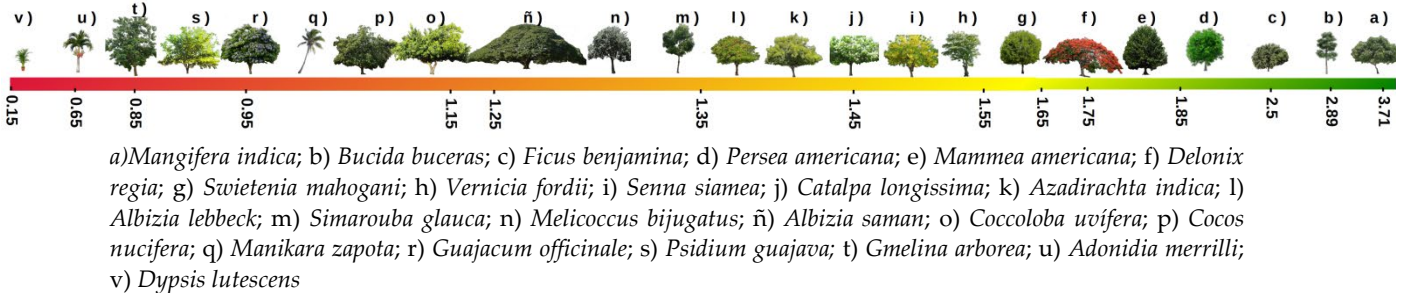


Figure 1. Ecosystem services scale showing the 23 tree species with the greatest representation in the National District, Dominican Republic

Based on the ecosystem contributions of each species, Figure 1 shows that of the 23 species, *Mangifera indica*, *Bucida buceras*, *Ficus benjamina*, *Persea americana*, and *Mammea americana* have the most important economic contribution in terms of ES: oxygen provision, net carbon sequestration, air biomass area, and the possibility to provide better habitat for wild fauna. It should be noted that these results are closely related to the physical and sanitary state of trees that was registered during the field phase.

The results of the general contributions of tree cover benefits to the city are described in Table 2. It should be noted that the pollution removed considers particles of <10 microns as significant values of atmospheric pollutants; therefore, the i-Tree estimate on the removal of atmospheric pollutants is an important contribution toward understanding the global benefits of urban forests.

Table 2. Environmental contributions of tree cover in the National District, Dominican Republic

Environmental services	Value	Economic services	Value
Tree cover with respect to the total territory	15.4%	Carbon storage value (million)	12.1
Trees smaller than 6" in diameter (15.2 cm)	48.9%	Gross carbon sequestration value (million/year)	1.01
Oxygen produced (thousand metric tons/year)	17.48	Runoff avoided value (thousand/year)	65.5
Runoff avoided (thousand cubic meters/year)	27.75	Pollution removed value (million/year)	1.47
Pollution removed (metric tons)	CO	1	
	NO ₂	2	
	O ₃	49.7	
Carbon storage (thousand metric tons/year)	84.54		
Carbon sequestration* (thousand metric tons/year)	7.048		

Source: Based on data from the i-Tree report (2018)

4. Discussion

This research shows the prevalence of introduced tree species in the National District (86%), in line with the statements of Szabo [17] that, in general, coastal territories have lost up to 75% of native vegetation owing to anthropic intervention [25]. However, the analysis of the 206 plots allowed us to evidence the prevalence of 23 tree species based on the number of trees, where the percentage of native species is 39%. Based on the aforementioned details, Table 3 shows some of the recommended species for planting in the city.

Table 3. Recommended and non-recommended tree species for planting in the city

Species	Growth time	Hurricane resistance	Sidewalk damage from shallow roots	Space needed for development	Recommended for the city
<i>Ficus benjamina</i>	Fast	x	√	Big	√
<i>Delonix regia</i>	Fast	x	√	Big	√

<i>Senna siamea</i>	Fast	x	√	Medium	x
<i>Catalpa longissima</i>	Fast	√	x	Medium	√
<i>Azadirachta indica</i>	Fast	√	√	Big	x
<i>Albizia lebbbeck</i>	Fast	x	√	Big	x
<i>Gmelina arborea</i>	Fast	√	√	Big	x
<i>Bucida buceras</i>	Medium	√	√	Big	√
<i>Swietenia mahogani</i>	Medium	√	√	Big	√
<i>Coccoloba uvifera</i>	Medium	√	x	Medium	√
<i>Mammea americana</i>	Slow	x	√	Big	√

Prepared based on Szabo [17]

It should be noted that the species with a high number of individuals found in the National District are palms. This plant family was introduced in the 1930s, right after the hurricane San Zenón [17]. Palms are the third most used plant family by humans globally, considering their ecological, economic, and cultural value. Although most of these plants are used in rural or jungle areas, where up to 90 uses of different species of this plant family have been registered [26], they are mainly used for landscaping purposes in the cities. Although the ecosystem contribution of palms was ranked low (Figure 1), wild urban fauna, such as squirrels, have adapted their diet to the consumption of the coconut fruit (*Coco nucifera*) as well as guayaba (*Psidium guajava* L.), mangoes (*Mangifera indica*), and avocado (*Persea americana*), among other trees [27] described in this study. Trees not only contribute as habitat or food for wild mammals but are also essential for pollinating insects [28].

Another tangible benefit of trees is the coverage area of leaves, i.e., the shade they provide. This research shows that most tree species give medium shade; this characteristic may provide surfaces with temperatures ranging from 11°C to 25°C which are cooler than spaces that lack shade within the city [29]. The reduction of superficial runoff is another ecosystem service of trees, thereby decreasing the risk of floods and river overflows in cities [30-31].

In an effort to create sustainability parameters in cities, the Expert Group on Urban Environment of the European Union Directorate-General for the Environment created a system of indicators with the public green areas being among the first five indicators [32]. A quantitative parameter for this aspect is that cities must have 9 m²/inhabitant to achieve environmental sustainability and comply with the requirements related to landscape quality, accessibility, inclusion, and availability of green spaces and/or recreational spaces for the population [33]. In the National District, the city offers 3.8 m²/inhabitant [8].

Forestry in the National District was developed from the 1930s and up to the 1990s by government initiative [17]. The vertical expansion of the city in the central polygon of the National District has caused the loss of green cover to be substituted by gray infrastructure. As evidenced in this research, the importance of trees is based not only on a coverage index but also other factors that are necessary to achieve real urban sustainability. However, the increase and maintenance of urban forests must be a co-responsibility between authorities and citizens, considering that the appreciation of trees by civil society has a direct impact on the preservation and increase of tree cover in private spaces [34].

Urban forests may be considered a valuable asset as a sustainability and climate resilience strategy for cities because they contribute to noise reduction, thermal comfort, and the increase of property values in residential areas. However, the most important benefits are the ES they provide, from the removal of pollutants and carbon sequestration to the provision of food for living beings [35-38].

The removal of atmospheric pollutants is one of the main ES registered in the results of this research, with a general removal of around 52.7 metric tons, equivalent to 1.4 million dollars per year in benefits to the city with the preservation of 640,600 trees. According to US records, the country's trees remove up to 711,000 metric tons of pollution, equivalent to USD 3800 million per year (Nowak et al.) [39]. McPherson et al. [40] demonstrated that the benefits provided by urban trees are greater than their maintenance expenses, taking into account a 1.37:3.09 ratio.

The accumulation of pollutant gases in the atmosphere (Greenhouse gases, GHG) favors climate change. Although international agreements were encouraged by the United Nations at the political level, the fact is that the countries that contribute the most to the emission of GHGs refuse to ratify agreements for the reduction of emissions, whereas the countries that have adhered to the commitment only generate approximately 15% of the total global pollutant emissions [41]. Therefore, climate change will continue and we must focus on promoting resilience by means of local strategies.

The cities' main challenge is to plan for a "green infrastructure," which must consider selecting adequate species for the ecosystem, space, and type of maintenance. This tree component design will directly influence the quality and quantity of ES that can be provided to the city [10, 42-43]. An example of these types of advances is the Costa Rican National Decarbonization Plan, which expects net benefits in the country's economy of up to USD 41,000 million between 2020 and 2050, by investing in the country's green infrastructure in both urban and rural areas [44].

Although this research constitutes a relevant advance in the analysis of the ecosystem contributions of the trees in the National District, further research is required to assess the impacts of these trees on the city's infrastructure along with an analysis of the projection of tree management based on their physical condition, among other issues that should be addressed in the municipality's actions to improve the green infrastructure in the territory [17].

5. Conclusion

The National District of Santo Domingo is a city that maintains medium forest cover, with respect to the residing population. Overall, >80% of the species that make up the green infrastructure of the city are introduced species, which have a direct impact on the quality of life of wild fauna and on the quality and quantity of ES they provide.

Although green infrastructure shows a great economic contribution with respect to the avoided costs, further research is still necessary to improve the planning and design of green spaces, the tree species to be used, and the maintenance required.

In this sense, public policies on green infrastructure must integrate clear indicators that prioritize not only the increase and preservation of the forest cover but also consider urban

resilience goals through the use of tree species that are adequate for the ecosystem and local reality.

Finally, climate change is a phenomenon that is unlikely to be avoided without the contribution of all countries worldwide, especially those that contribute the most to the emission of GHGs. Therefore, local resilience strategies are currently the most feasible alternative to combat climate change.

Author contributions: Conceptualization, S.B.-D.; Methodology, S.B.-D.; Formal analysis, S.B.-D. Data preparation, S.B.-D. and A.-L.V.-d.l.M.; Writing—original draft preparation, S.B.-D.; Writing—review and editing, S.B.-D., A.-L.V.-d.l.M., A.G.-G., and V.G.-V.; Supervision, V.G.-V. and A.G.-G.; Project administration, S.B.-D. and A.G.-G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: Research Fund of INTEC

Data availability statement: The database will be available at <https://infoclima.intec.edu.do/>.

Acknowledgments: The authors acknowledge the helpful comments received from Carol Franco Billini (Virginia Tech University) on previous versions of this paper. The authors also acknowledge the helpful support received from Leonardo Cortes, Mervin Perez, Ana Pou, and Claudia Caballero and Mirel Volcan regarding the field data collection. Part of the work of this research was carried out with funding from Project 5-400 of the PEER-NAS Cycle 5 program.

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

- 1 ICMA. Diagnóstico territorial del Distrito Nacional. Programa de planificación para la adaptación climática de USAID/INTEC. 2017. Santo Domingo, República Dominicana. p. 225.
- 2 ONE- Oficina Nacional de Estadísticas. Perfiles Sociodemográficos Provinciales Región Ozama, 2010. <https://web.one.gob.do/media/y2siyfv/investigaci%C3%B3nperfilesociodemogr%C3%A1ficosprovincialesregi%C3%B3nozama2010.pdf>
- 3 Bahar, V. Un estudio del impacto de la UNESCO y el Banco interamericano de desarrollo en los procesos de revitalización de los centros históricos latinoamericanos y caribeños: el caso de la zona colonial de Santo Domingo (República Dominicana). *Journals OpenEdition*, 2018, 39-40 <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.11388>
- 4 de Groot, R.S.; Alkemade, R.; Braat, L.; Hein, L.; Willemen, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, (7), 260-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.200910.006>
- 5 Martínez, D. Gazcue, distrito arquitectónico: sugestión como patrimonio urbano. *CLÍO*, 2019, 88(197), 93-107 <https://cata-logo.academidominicanahistoria.org.do/opac-tmpl/files/ppcodice/Clio-2019-197-093-107.pdf>
- 6 Fisher, B.; Turner, R.K. Ecosystem services: classification for valuation. *Biological Conservation*, 2008, (141), 1167-1169
- 7 Fisher, B.; Turner, R.K.; Morling, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 2009, (68), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- 8 ONU-Habitat- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Distrito Nacional- Santo Domingo, República Dominicana, valuación del sistema de espacios públicos. 2020, p. 40
- 9 INTEC- Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Clima Futuro en la República Dominicana. Editora Buho, S.R.L. 2018. Santo Domingo, República Dominicana. p. 104

- 10 Rojas-Cortorreal, G.; Peña, J.; Roset-Calzada, J.; García, A. La infraestructura verde como herramienta de mitigación y adaptación urbana en la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana. En XIII CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: "Challenges and paradigms of the contemporary city": UPC, Barcelona, October 2-4, 2019. Barcelona: CPSV, 2019, p. 8672. E-ISSN 2604-6512. DOI <http://dx.doi.org/10.5821/ctv.8672>
- 11 Escobedo, F.; Chacalo, A. Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 2008, 33(1):29-33 <https://www.redalyc.org/pdf/339/33933105.pdf>
- 12 Gregory, J.H.; Dukes, M.D.; Jones, P.H.; Miller, G.L. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 61, 117-124.
- 13 Grande, M.A.; Ayuga, E., & Contato-Carol, M.L. Methods of Tree Appraisal: A Review of Their Features and Application Possibilities. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2012, 38(4): 130-140
- 14 Hedblom, M.; Heyman, E.; Antonsson, H.; Gunnarsson, B. Bird song diversity influences young people's appreciation of urban landscapes. *Urban Forest & Urban Green*. 2014, 13(3), 469-474. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S161886671400034X>
- 15 Hernández, E. Estimación de la temperatura superficial en San Carlos-Cojedes empleando sensores remotos. *Multiciencias, Rev. Agrollania*, 2017, 14, 113-118.
- 16 Leal, C; Leal, N; Alanís, E; Pequeño, M.A.; Mora-Olivo, A.; Buendía, E. Structure, composition and diversity of the urban forest of Linares, Nuevo León. *Rev Mex Cienc Forest*, 2018, 9(48). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- 17 Szabo, M. Árboles de Santo Domingo. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), 2010. Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN). República Dominicana. p. 93
- 18 FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. Árboles en la ciudad: reconocimiento a los pioneros de la silvicultura urbana sostenible <http://www.fao.org/news/story/es/item/1259767/icode/> (accessed on 25 June 2021)
- 19 ADN- Ayuntamiento del Distrito Nacional. Diagnostico Territorial del Distrito Nacional. Programa de Planificación para la Adaptación Climática. 2017. USAID-ICMA-FEDOMU-ADN. Santo Domingo, República Dominicana. p. 205
- 20 USFS- United States Forest Service. i-Tree Guide to Assessing Urban Forest, 2017. https://www.itreetools.org/documents/521/Guide_to_Assessing_Urban_Forests_nrs_inf_24_13.pdf
- 21 FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016. Guidelines on urban and periurban forestry, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro & Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178. Rome. p. 172. Available at: <http://www.fao.org/3/i6210e/i6210e.pdf> (accessed on 29 June 2021)
- 22 Escobedo, F.J.; Nowak, D.J. Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 90, 102-110.
- 23 Watts, G. Tranquillity Trails for urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 29, 154-161.
- 24 Atar, D. Aportes metodológicos para el estudio de la percepción social de la ciencia y tecnología. Workpaper N°251. Departamento de Investigaciones. Universidad de Belgrado, 2010, p. 48
- 25 Espino, S.M.; Horta, G.O.; Merino, R.L. La Zona costera de la Escuela Latinoamericana de Medicina, acciones ante el cambio climático. *Panorama, Cuba y Salud*, 2019, 14(1):93-96 ISSN:1991-2684
- 26 Ledezma-Rentería, E.D.; Galeano, G. Usos de las palmas en las tierras bajas del pacífico colombiano. *Caldasia*, 2014, 36(1):71-84
- 27 Mencía, B.D. Las ardillas mis vecinas, ¿cómo se han adaptado a las ciudades?. *Desde el Herbario CICY*, 2021, 13:91-95, ISSN:2395-8790
- 28 Östberg, J.; Sandberg, K.; Wiström, B. Rating of parameters used to assess tree vitality by urban foresters and ecologists in Sweden, using the Delphi method. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 62(2021) 127134, 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127134>
- 29 Akbari, H. Shade trees reduce building energy use and CO2 emission from power plants. *Environmental Pollution*, 2002, 116, S119-S126.

- 30 Livesley, S.J.; Baudinette, B.; Glover, D. Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees – The impacts of canopy density and bark type. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, 13, 192-197.
- 31 Szota, C.; Coutts, A.M.; Thom, J.K.; Virahsawmy, H.K.; Fletcher, T.D.; Livesley, S.J. Street tree stormwater control measures can reduce runoff but may not benefit established trees. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 182, 144-155.
- 32 Satterthwaite, D.; Saleemul, H.; Pelling, M; Reid, H; Lankao-Romero, P. Adapting to Climate Change in Urban Areas; The possibilities and constraints in low- and middleincome nations, IIED Working Paper, IIED, London, 2007, p. 107 <https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/10549IIED.pdf>
- 33 Wolfe, M.; Mennis, J. Does vegetation encourage or suppress urban crime? Evidence from Philadelphia, PA. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 108, 112-122.
- 34 Bonilla-Duarte, S.; Gómez-Valenzuela, V.; Vargas-de la Mora, A.L.; García-García, A. Urban Forest Sustainability in Residential Areas in the City of Santo Domingo. *Forests*, 2021, 12, 884 <https://doi.org/10.3390/f12070884>
- 35 Nowak, D.J.; Hirabayashi, S.; Bodine, A.; Greenfiel, E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 2014, 193, 119-129.
- 36 Schnell, S.; Altrel, D.; Stahl, G.; Kleinn, C. The contribution of trees outside forests to national tree biomass and carbon stocks a comparative study across three continents. *Environ Monit Assess*, 2015, 187, 4197.
- 37 Livesley, S.J.; McPherson, E.G.; Calfapietra, C. The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *J Environ Qual*, 2016, 45, 119-124.
- 38 McPherson, E.G.; Berry, A.M.; van Doorn, N.S. Performance testing to identify climate-ready trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 29, 28-39.
- 39 Nowak, D.J., Cumming, A.B., Twardus, D, Joehn, R.E.; Oswalt, C.M.; Brandeis, T.J., Bosques Urbanos de Tennessee, 2009. Gen.Tech. Rep.SRS-149. Asheville, NC. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de EE.UU., Estacion de Investigación del Sur. P.52
- 40 McPherson, G.E. A benefit-cost analysis of ten street tree species in Modesto, California, U.S. *Journal of Arboriculture*, 2003, 29, 1-8.
- 41 Mora-Aguilera, G.; Acevedo-Sánchez, G.; Calderón-Estrada, G.; Flores-Sánchez, J.; Domínguez-Monge, S.; Baker, P.; González-Gómez, R. Epidemiological considerations of climate change on tropical crops health. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 2016, 32(2):147-167
- 42 Fernández, M.P.; Vargas, A. La ciudad y los árboles: Conflicto entre el arbolado urbano y la infraestructura. *AyFAgronomía y Forestal*, 2011, 43. 32. <https://www.researchgate.net/publication/278730673>
- 43 Graça, M.; Alves, P.; Gonçalves, J.; Nowak, D.J.; Hoehn, R.; Farinha-Marques, P.; Cunha, M. Evaluación de cómo los tipos de espacios verdes afectan la entrega de servicios ecosistémicos en Oporto, Portugal, *Landsc. Urban Plan*, 2018, 170, 195-208. https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2018/nrs_2018_graca_001.pdf
- 44 Groves, G.D.; Syme, J.; Molina-Pérez, E.; Calvo, C.; Gallardo, V.L.; Godínez-Zamora, G.; Quirós-Tortós, J.; De León, F.; Meza, M.A.; Saavedra, G.V.; Vogt-Schilb, A. Costos y beneficios de la descarbonización de la economía de Costa Rica. Valuación del Plan Nacional de descarbonización bajo incertidumbre.

5.2. Contribución del bosque urbano al servicio ecosistémico de calidad del aire en la ciudad de Santo Domingo

Resumen

Se realizó un levantamiento de contaminantes que afectan la calidad del aire en 27 puntos de la ciudad de Santo Domingo, Distrito Nacional en los que se estimó la remoción de contaminantes del aire con relación a la cobertura forestal de la ciudad; para ello, se utilizó el software iTree Canopy y se realizó un análisis de componentes principales para identificar la asociación de estas variables, así como un análisis de correlación. Se obtuvo que el porcentaje de infraestructura verde promedio en los puntos de muestreo es del 26%. Se identificó una correlación positiva entre la presencia de NO₂ y SO₂ en los puntos de muestreo. Se observó que a mayor presencia de cobertura forestal mayor concentración de CO y menor presencia de contaminantes. Aunque se definieron cinco puntos calientes en términos de niveles de contaminación de aire en el Distrito Nacional, el estudio no muestra resultados concluyentes en términos de la relación entre infraestructura verde y calidad de aire en la ciudad de Santo Domingo. Los resultados evidencian que la planificación urbana para la calidad ambiental, requiere de coordinación interinstitucional, monitoreo permanente de la calidad ambiental y políticas públicas coordinadas para establecer indicadores adecuados y comparables con la normativa de la Organización Mundial de la Salud.

Palabras claves: Calidad del aire, infraestructura verde, contaminación atmosférica, servicios ecosistémicos.

Abstract

A survey about pollutants that affect air quality was carried out at 27 points in the city of Santo Domingo, National District, in which the removal of air pollutants was estimated in relation to the city's forest cover; using the iTree Canopy software, a principal components analysis was also performed to identify the association of these variables, and a correlation analysis. It was found that the average percentage of green infrastructure in the sampling points was 26%. A positive correlation was identified between the presence of NO₂ and SO₂ at the sampling points. It was observed that the higher the presence of forest cover, the higher the concentration of CO and the lower the presence of pollutants. Although five hot spots were defined in terms of air pollution levels in the National District, the study does not show conclusive results in terms of the relationship between green infrastructure and air quality in the city of Santo Domingo. Results show that urban planning for environmental quality requires inter-institutional

coordination, permanent monitoring of environmental quality and coordinated public policies to establish adequate indicators comparable to World Health Organization standards.

Keywords: Air pollution, air quality, ecosystem services, green infrastructure.

Article

Contribution of Urban Forests to the Ecosystem Service of Air Quality in the City of Santo Domingo, Dominican Republic

Solhanlle Bonilla-Duarte ^{1,2,*}, Claudia Caballero González ¹, Leonardo Cortés Rodríguez ¹,
Ulises Javier Jáuregui-Haza ¹ and Agustín García-García ²

¹ Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Ave. de Los Próceres, Santo Domingo 10100, Dominican Republic; claudiacaballeroglez@gmail.com (C.C.G.); leonardogue10@gmail.com (L.C.R.); ulises.jauregui@intec.edu.do (U.J.J.-H.)

² School of Economics, Universidad de Extremadura, Av. Elvas s/n, 06006 Badajoz, Spain; agarcia@unex.es

* Correspondence: solhanlle.bonilla@intec.edu.do

Abstract: A survey on pollutants that affect air quality was carried out at 27 points in the city of Santo Domingo, National District. The removal of air pollutants was estimated in relation to the city's forest cover; using the iTree Canopy software. A principal components analysis and a correlation analysis was also performed to identify the association of these variables. The results show that the average percentage of green infrastructure in the sampling points was 26%. Also, positive correlation was identified between the presence of NO₂ and SO₂ at the sampling points. It was observed that the higher the presence of forest cover, the higher the concentration of CO and the lower the presence of pollutants. Although five hot spots were defined in terms of air pollution levels in the National District, the study does not show conclusive results regarding the relationship between green infrastructure and air quality in Santo Domingo. Results show that urban planning for environmental quality requires inter-institutional coordination, permanent ecological quality monitoring, and coordinated public policies to establish adequate indicators comparable to the World Health Organization standards.

Keywords: air pollution; air quality; ecosystem services; green infrastructure

Citation: Bonilla-Duarte, S.; Caballero González, C.; Cortés Rodríguez, L.; Javier Jáuregui-Haza, U.; García-García, A. Contribution of Urban Forests to the Ecosystem Service of Air Quality in the City of Santo Domingo, Dominican Republic. *Forests* **2021**, *12*, 1249. <https://doi.org/10.3390/f12091249>

Academic Editor: Idalia Kasprzyk

Received: 27 July 2021

Accepted: 12 September 2021

Published: 15 September 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Air quality constitutes one of the environmental issues that requires the most attention in the 21st century for urban areas with high population density [1–4]. According to the World Health Organization [5], about 249 thousand premature deaths were attributable to outdoor air pollution and about 83 thousand premature deaths were attributable to air pollution due to household use of solid fuel in the Latin America and the Caribbean region in 2016.

Although air pollution can affect everyone, differences are perceived between population groups, according to geographic locations and the type of exposure they are subjected to [4–6]. Population groups residing near roads or industrial compounds, for example, are exposed to higher levels of outdoor air pollution, including people using solid fuels as a source of household energy [5,7]. In some cases, differences in exposure between population groups may be linked to inequities in developing implementing, and enforcing environmental laws, regulations, and policies [4,5].

One of the 2030 Agenda for Sustainable Development Goal is to death and disease caused by hazardous chemicals and air pollution [8]. However, according to 2018 records, the dependence on fossil fuels for transportation, industry and energy was of 80% globally [4]. Furthermore, it is expected that 66% of the world's population will be living in cities by 2050, which implies a significant growth in demand for services, like transportation, energy, and industry [8].

Population growth and the increasing expansion of cities, pose new challenges for urban planning, highlighting necessary and important elements such as green infrastructure, environmental impacts management, air quality, production of adequate information for decision making and citizen awareness [3,4,9].

The characteristics of the city of Santo Domingo, the socioeconomic peculiarities of its inhabitants, its climate, its geographic location and the changes produced in its urban configuration, make this city a compelling case for the analysis of the effects of changes in green infrastructure in urban environments. The urban development process in Santo Domingo has caused an intense transformation of the city, which has expanded horizontally and vertically, increasing the constructed area of the city at east at west, mainly with highest buildings [10]. The vehicle fleet has grown exponentially, at the same time as the population and the consequent demand for goods and services. There has been a loss of green infrastructure due to modifications in housing construction, moving from single-family to multi-family, thus, losing much of the vegetation on private property [10,11].

Green infrastructure is defined as an interconnected network of urban, peri-urban, rural and wild green spaces, which preserves and provides ecosystem services to humans [9,12]. The concept of green infrastructure comprises a strategic approach for the conservation of the landscape and its natural and cultural value components, within the framework of sustainable land management and planning initiatives, regulating the impacts generated by anthropic action [13–15].

Santo Domingo is the most populated city in Central America and the Caribbean region [10]. However, it lacks a permanent air quality monitoring system, which is a deficiency for Urban Planning and air pollution control from fixed and mobile sources. In this sense, it is necessary to assess the impact of green infrastructure on air quality in urban environments to contribute to the quality of life of new generations in the National District.

Research on vegetation cover and ecosystem services provided by green spaces has been carried out in the National District of Santo Domingo using the iTree tool, showing that the city's green infrastructure provides important ecosystem services, including the removal of pollutants [16]. Other studies establish the positive perception of the urban population on the city's green areas [17].

This study aims to analyze the relationship between urban green spaces and air quality in different areas of the city. The analysis focused on four specific air pollutants to identify the areas most negatively affected by them and establish a relationship with the existing urban vegetation. Our study will also allow us to define air quality monitoring needs in different metropolitan (urban) areas to support the design of the necessary infrastructural development policies that are sustainable and consistent with the population's health.

2. Materials and Methods

2.1. General Description of the Study Area

This research was carried out in Santo Domingo, National District, capital of the Dominican Republic, center of the country's economic activities. Its geographical coordinates are 17°36' and 19°58' N and 68°19' and 72°01' W, located in the northern hemisphere, south of the Tropic of Cancer. (Figure 1). The city has a population of 965,040 inhabitants, and a floating population of 1 million people [10,18].

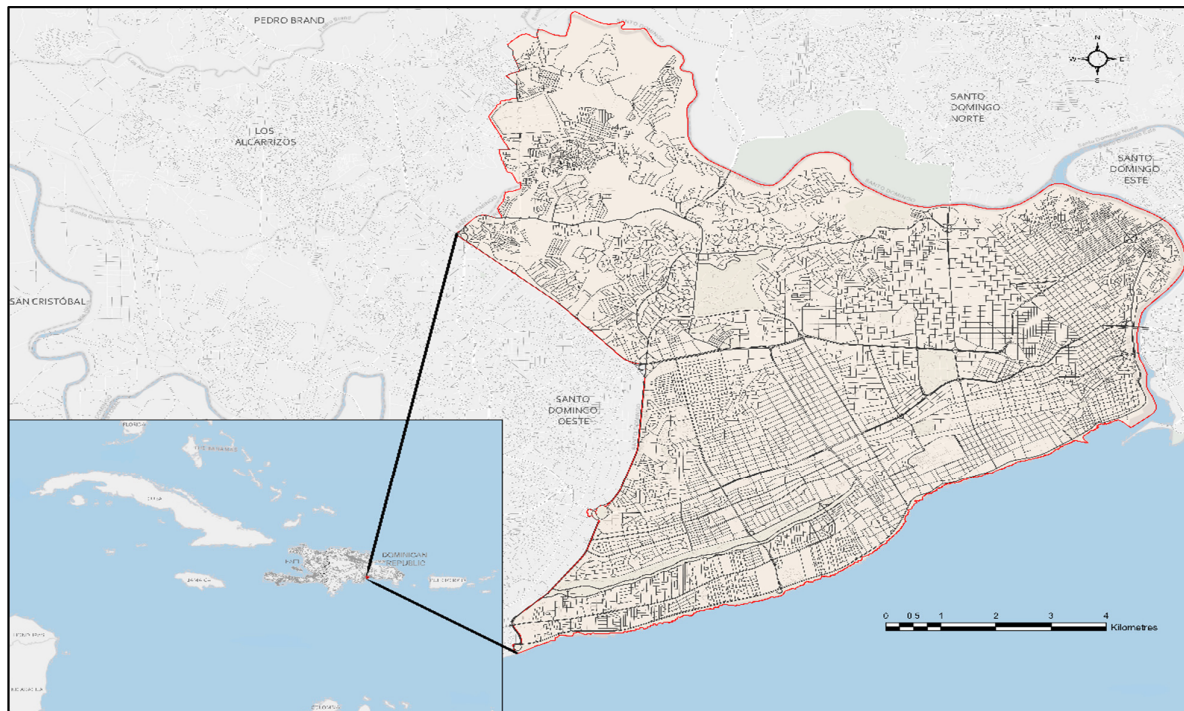


Figure 1. National District Location, Santo Domingo, Dominican Republic.

This geographic area has a surface area of 91.58 km², divided into three districts. The population of the National District is considered urban. Population growth in recent decades has focused on informal settlements, characterized by a deficit of public facilities and high population density. The average density for 2020 is 142.4 persons/km² [10].

2.2. Methods

A sampling grid was constructed to cover the entire 91.5 km² area of the National District. QGIS modeling software was used to define a grid of points with a distance of 2 km between each one, locating 27 sampling points, one of them in the National Botanical Garden (point 8) as a control point (Figure 2).

Active samplers (Air Metric Mini Vol TAS), with particulate matter collectors corresponding to a diameter of 10 μ , were used to measure the levels of suspended particles in the air (PM10). The method used to determine the concentration of particulate matter over a 24-h period was gravimetry. Filters were weighed before and after placement in the samplers on an analytical balance. Passive samplers were used to measure the immission levels of NO₂—SO₂ and CO pollutants. The measurement time for these types of pollutants was 30 days. Twenty-seven NO₂—SO₂ and 27 CO samplers were used each month.

The iTree Canopy tool was used to establish the levels of vegetation cover at the 27 sampling points. Table 1 shows the categories of the geospatial analysis of vegetation cover used.

Table 1. Description of selected categories for geospatial analysis of vegetation cover by iTree canopy. Source: Own elaboration.

Abbreviation	Type	Description
BS	Uncovered floor	Uncovered floor
GI	Green infrastructure	Lawns, shrubs and any other green surface except trees
GRI	Gray infrastructure	Buildings, cement, asphalt
O	Others	Any other Surface
T	Trees	Trees, not shrubs

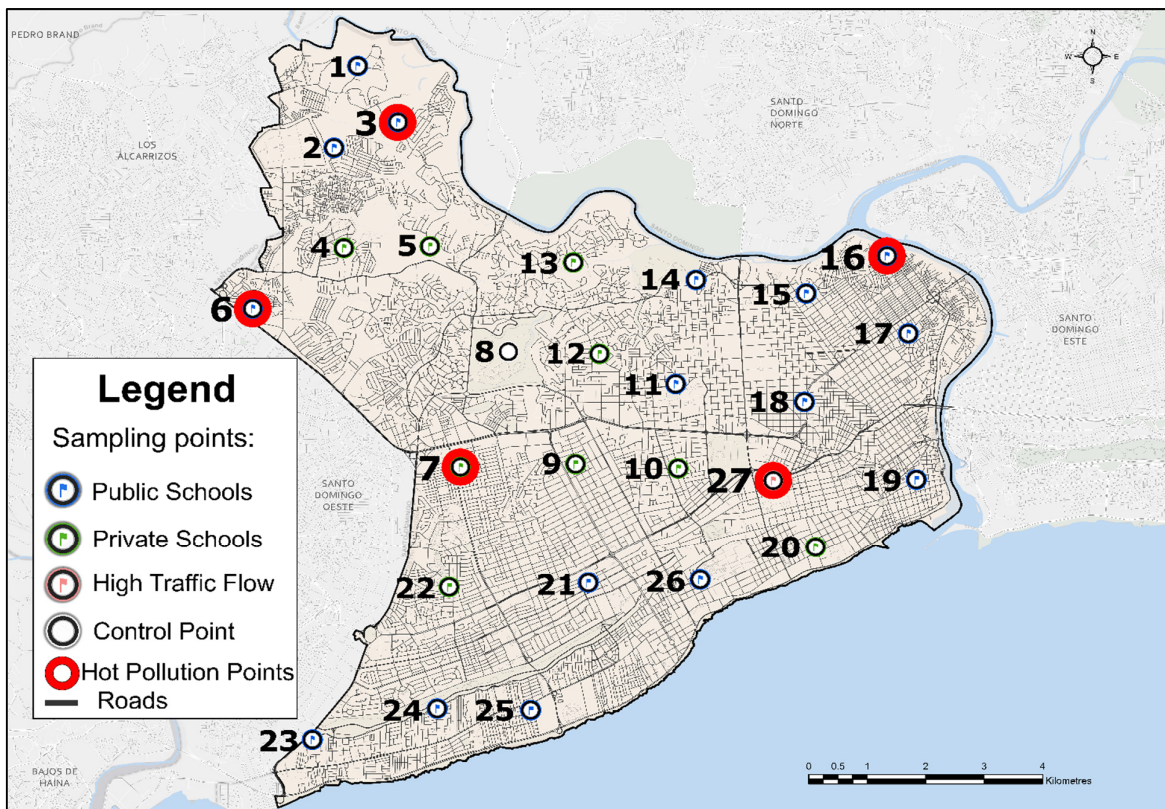


Figure 2. Sampling points and hot pollution points in Santo Domingo.

i-Tree Canopy is a web-based software developed by the US Forest Service designed for the evaluation of the land and land use cover with photo interpretation of random points over satellite imagery obtained by google web service. The user considers each point selecting the categories previously configured in the project. This software estimates the ecosystems services of urban trees and provides their benefits related to reducing run-off and pollutants and carbon sequestration and storage.

In analyzing the immission levels at the sampling points, each pollutant was categorized according to measurements results and coverage percentage. A frequency analysis was performed on the results obtained. Data for each category was standardized to a range of 0.1 with INFOSTAT 2018 Software (National University of Córdoba, Córdoba, Argentina). A Pearson [19] principal component analysis (PCA) was performed to identify significant associations of the variables with each sample point. With this result, associated variables of importance were defined. Finally, Spearman's correlation analyses were performed between the four pollutants and the tree cover of each sample point (Appendix B).

3. Results

Immission levels show five points with the highest incidence of contamination levels compared to the remaining 22 points sampled (Figure 2). These points are 3, 6, 7, 16 and 27.

The average vegetation cover, as a result of the measurements in the iTree Canopy sampling sites, is 26.05%, highlighting the Botanical Garden (point 8) as the upper limit, with 76.7% and the point 19 as the lower limit with 0.3% vegetation cover (Figure 3, Appendix A).

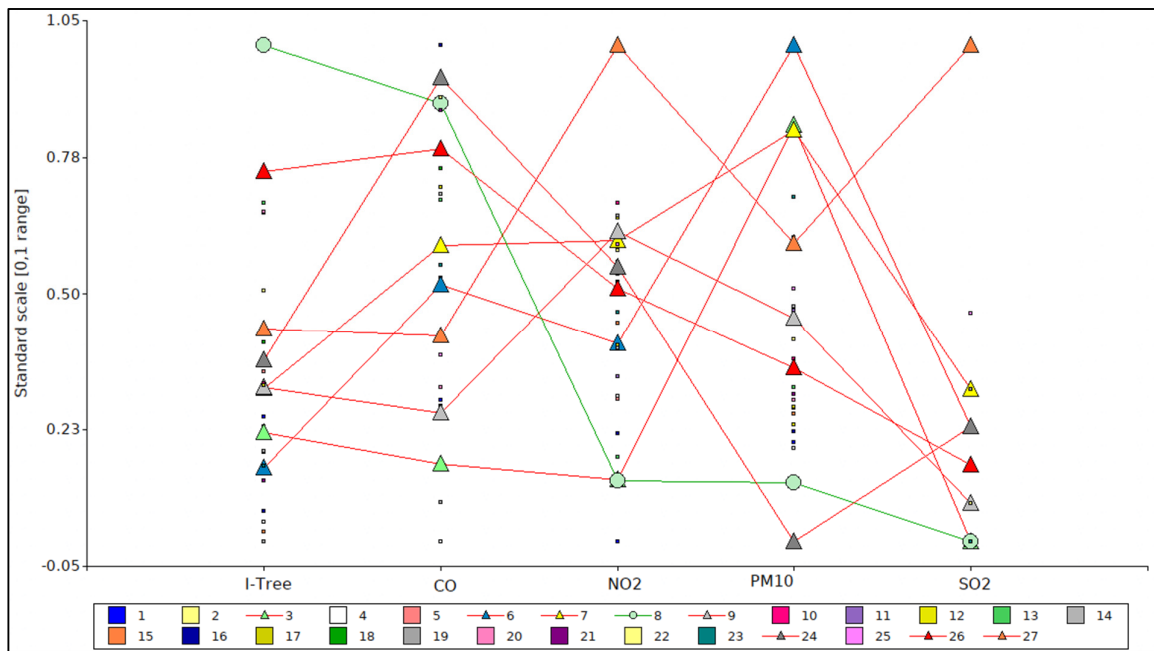


Figure 3. Results of pollutant (NO₂, PM₁₀, SO₂ and CO₂) and green infrastructure measurements (I-tree-canopy) at the 27 sampling points in the National District. For sampling points location, see Figure 1.

The principal component analysis shows that according to WHO [20], the maximum annual allowed levels for particles and air pollutants measured in this investigation are: for NO₂ 40 ug/m³, for SO₂ 20 ug/m³ and for PM₁₀ 20 ug/m³. However, this agency does not have a monthly measurement parameter, so it is impossible compare directly. However, taking WHO values as an indicator for estimating the level of contamination in Santo Domingo, we found that points 7 and 27 exceed the levels of Nitrogen Dioxide (NO₂) and neither sampling point exceeds the maximum permissible levels of Sulfur Dioxide (SO₂) nor Carbon Monoxide (CO). However, point 27 shows a high value in SO₂ compared to the other sampling points that might be explained by the high flux traffic in this point of the city.

In the case of 10-micron Particulate Matter (PM₁₀), this pollutant is present in 6 of the 27 sampled points with levels that exceed WHO parameters [20]. These points are: 3, 6, 7, 16, 23 and 27, representing 22% of the measurement points. The principal component analysis shows a significant association between some sampling points with CO and PM₁₀; however, for pollutants such as NO₂ and SO₂ only point 27 is significantly associated (Table 2, Figure 4 and Appendixes B and C).

Table 2. Significant correlations between the variables studied and the sampling points (Note: *, or ** indicate significant nonlinear dependencies at the 5%, or 1% levels, respectively).

Variable(1)	Variable(2)	n	Spearman	p-Value
Sampling points	SO ₂	27	0.5460	0.0032 **
Sampling points	NO ₂	27	0.3956	0.0437 *
Sampling points	CO	27	0.5408	0.0036 **
Sampling points	Forest cover	27	0.3938	0.0447 *

The principal component analysis relating to tree cover and air quality did not establish a positive correlation between both variables in the sample points (Table 2, Figure 5 and Appendixes C and D).

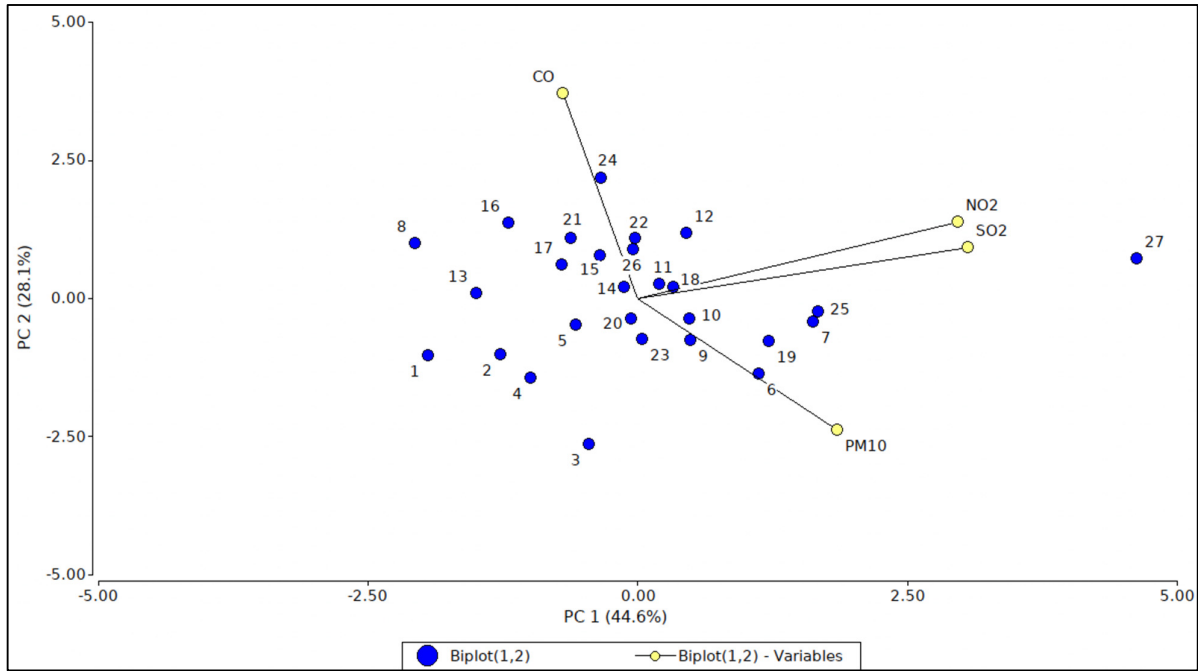


Figure 4. Principal component analysis for the four pollutants studied. For sampling points location, see Figure 1.

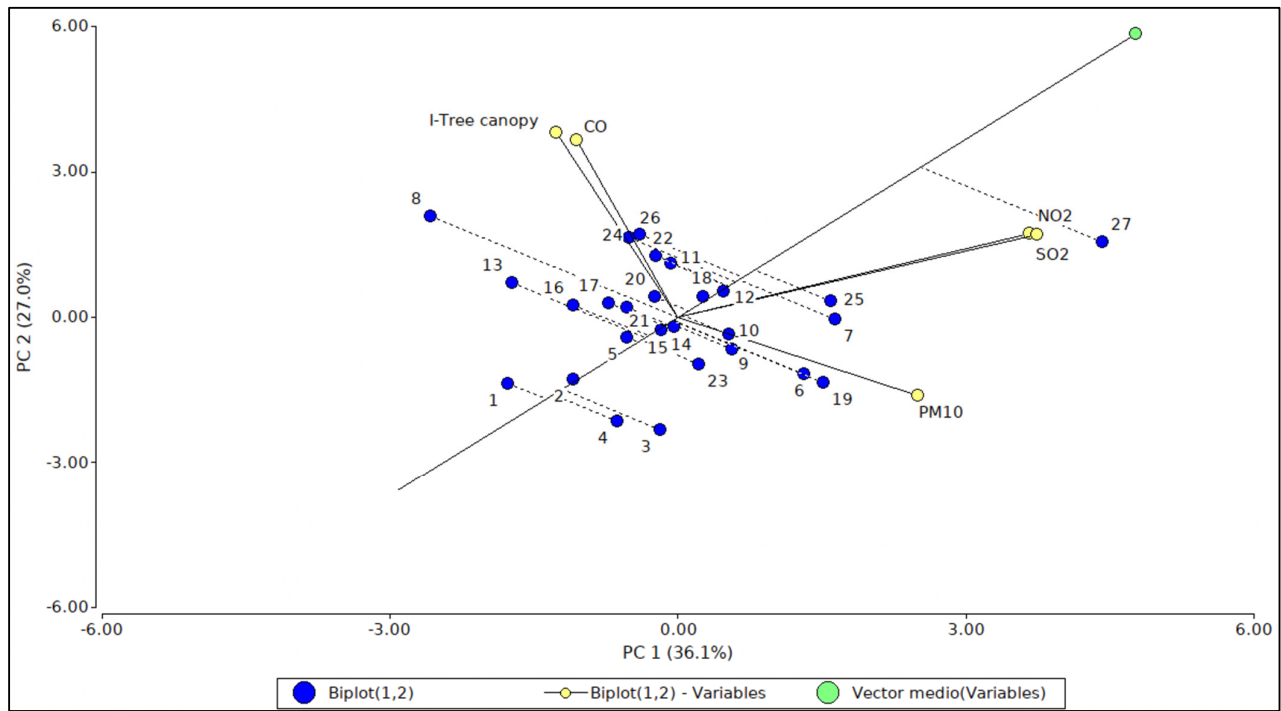


Figure 5. Principal component analysis correlation between pollutants and vegetation cover. For sample points location see Figure 1.

4. Discussion

Studies that have conducted specific monitoring for criteria pollutants concentrations such as PM₁₀, carbon monoxide and other combustion gases such as NO₂, have found significant correlations between vegetation cover and air quality [21]. In contrast to the results obtained in this research, there is a positive statistical correlation between SO₂ and NO₂ pollutants, which suggests points in the city exposed to the same types of emitters. Still, no correlation was identified between forest cover and the measured pollutants. It should be noted that although there is no statistical correlation between most of the pollutant variables, it is observed that the higher the forest cover (Figure 3), the lower the presence of pollutants and the higher the forest cover (Figure 3), the lower the presence of pollutants and the higher the presence of CO. The latter has a negative correlation with NO₂ (Appendix B), so it is assumed that forest cover has a direct influence on the removal of pollutants. Pollution removal and human health effects are substantially greater in rural than urban areas, where vegetation cover is more abundant than gray infrastructure [22–25]. Vegetation types and species also play an essential role [3,26].

The increase in the Dominican Republic's vehicle fleet is an important factor to consider; its average annual percentage growth is 6.85%, so that by 2025, the vehicle fleet is expected to exceed 6 million units [27]. Some studies state that transport emissions are an essential factor of air pollution in cities worldwide, causing respiratory and cardiovascular diseases [25,26].

A study conducted by UN Environment Programme [27] in the city of Santo Domingo, to establish the impact of the vehicle fleet on particulate matter, found a statistically significant positive correlation between vehicular traffic and PM_{2.5} particulate matter. Likewise, PM₁₀ measurements at the only monitoring station in the National District, presents results above the WHO parameters [20], as of 2015 [28].

These results are consistent with the metadata study by Karagulian et al. [29], which analyzes studies in more than 500 cities worldwide, measuring different pollutants, with traffic contributing 25% of PM₁₀ concentrations. Analyses of air quality trends in the Latin American and Caribbean region indicate that there have been substantial increases in Greenhouse Gas (GHG) concentrations, exceeding the planet's limits for climate change, with traffic being one of the major contributors [27]. An association between NO₂ and SO₂ is observed, suggesting points exposed to the same types of pollutants in the city.

The city of Santo Domingo does not have a permanent air quality monitoring network, nor previous published and validated studies, that allow the results of this study to be analyzed and compared. The effectiveness of the measurement of passive samplers and the ratio of green and gray infrastructure at the sampling points are factors to be considered for the results of this research. Studies have been conducted relating the impact of some green infrastructure designs on air quality [1,3,22,26,30]. Environmental quality of the city implies working comprehensively in urban planning, considering elements such as pollution sources [9,31], efficient regulations, green infrastructure that contemplates effective species for the city [32], its proper planning and augmentation [24,33].

5. Conclusions

Particular attention should be paid to five hot spots in the National District due to the presence of criteria pollutants, those spots were 3, 6, 7, 16 and 27. Although there is no statistical correlation between tree cover and the pollutants measured, it is observed that the higher the forest cover, the higher the CO and the lower the presence of particles and contaminants. A permanent monitoring system is needed in order to establish strong relationships between these elements and be able to obtain adequate indicators comparable to WHO standards that contribute to decision-making in urban planning and the design of appropriate public policies.

It is necessary to also consider actions against other elements such as transportation, electricity generators, industry, and the design and management of urban green infrastructure, which are known to have a high contribution to air pollution.

Urban planning and territorial management of cities should develop green spaces that consider viable and appropriate species for cities according to their ecosystem characteristics and biodiversity of flora and fauna. It is crucial to conserve the city's peripheral green areas and expand green infrastructure in the centers of urban areas.

Our study is the first to provide data for the city of Santo Domingo, highlighting the importance of managing the ecosystem services of the urban forest, such as air quality, and the importance for sustainable development of having this type of information for decision makers.

Author Contributions: Conceptualization, Methodology, Writing—original draft, Data curation, Validation, Supervision, Writing—review & editing. S.B.-D. Review & editing C.C.G., U.J.J.-H., L.C.R., A.G.-G., Validation, U.J.J.-H. Visualization, Writing—review & editing. S.B.-D., U.J.J.-H., C.C.G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: PEER-NAS 5-400 Grant, Program and Fondo de Agua Yaque del Norte, Dominican Republic, and the Regional Government of Extremadura (Junta de Extremadura) through grant GR18075.

Data Availability Statement: The database will be available at <https://infoclima.intec.edu.do/> in December 2021.

Acknowledgments: The authors acknowledge the financial support from Project 5-400 of the PEER-NAS Cycle 5 program and Fondo de Agua Yaque del Norte, Dominican Republic, and the Regional Government of Extremadura (Junta de Extremadura) through grant GR18075. The authors acknowledge the helpful comments received from Carol Franco Billini (Virginia Tech University), Alma Liz Vargas de la Mora and Victor Gomez-Valenzuela (INTEC) on previous versions of this paper. The authors also acknowledge the helpful support received from Ana Pou and Jose Miguel Martinez regarding the field data collection.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Appendix A. Percentage of Green Infrastructure in the 27 Sampling Points

Sample Points	% Green Infrastructure
1	19.5
2	18
3	17
4	3.3
5	26.4
6	11.6
7	23.9
8	76.7
9	24
10	24.6
11	51
12	14
13	52.5
14	14.2
15	1.72
16	5
17	24.3
18	31
19	0.3
20	51.2
21	9.6
22	39

23	12
24	28.3
25	33.7
26	57.3
27	33.2

Source: Own elaboration with field data.

Appendix B. Spearman's Correlation of the Studied Variables

Variable(1)	Variable(2)	n	Spearman	p-Value
NO ₂	NO ₂	27	1	<0.0001
NO ₂	PM10	27	0.28	0.15
NO ₂	SO ₂	27	0.55	0
NO ₂	CO	27	-0.02	0.93
NO ₂	Forest cover	27	0.02	0.91
NO ₂	Sampling point	27	0.4	0.04
PM10	NO ₂	27	0.28	0.15
PM10	PM10	27	1	<0.0001
PM10	SO ₂	27	0.24	0.23
PM10	CO	27	-0.24	0.23
PM10	Forest cover	27	0.06	0.77
PM10	Sampling point	27	-0.07	0.73
SO ₂	NO ₂	27	0.55	0
SO ₂	PM10	27	0.24	0.23
SO ₂	SO ₂	27	1	<0.0001
SO ₂	CO	27	0.08	0.68
SO ₂	Forest cover	27	0.01	0.96
SO ₂	Sampling point	27	0.22	0.26
CO	NO ₂	27	-0.02	0.93
CO	PM10	27	-0.24	0.23
CO	SO ₂	27	0.08	0.68
CO	CO	27	1	<0.0001
CO	Forest cover	27	0.24	0.23
CO	Sampling point	27	0.54	0
Forest cover	NO ₂	27	0.02	0.91
Forest cover	PM10	27	0.06	0.77
Forest cover	SO ₂	27	0.01	0.96
Forest cover	CO	27	0.24	0.23
Forest cover	Forest cover	27	1	<0.0001
Forest cover	Sampling point	27	0.39	0.04
Sampling point	NO ₂	27	0.4	0.04
Sampling point	PM10	27	-0.07	0.73
Sampling point	SO ₂	27	0.22	0.26
Sampling point	CO	27	0.54	0
Sampling point	Forest cover	27	0.39	0.04
Sampling point	Sampling point	52	1	<0.0001

Appendix C. Principal Component Analysis of Figure 4

Eigenvalues

Lambda	Value	Proportion	Prop Acum
1	1.78	0.45	0.45
2	1.12	0.28	0.73

3	0.74	0.19	0.91
4	0.35	0.09	1.00

Eigenvectors

Variables	e1	e2
NO2	0.63	0.29
PM10	0.39	-0.51
SO2	0.65	0.20
CO	-0.15	0.79

Appendix D. Principal Component Analysis of Figure 5

Eigenvalues

Lambda	Value	Proportion	Prop Acum
1	1.80	0.36	0.36
2	1.35	0.27	0.63
3	0.81	0.16	0.79
4	0.69	0.14	0.93
5	0.34	0.07	1.00

Eigenvectors

Variables	e1	e2
Itree-canopy (%)	-0.17	0.61
NO2	0.61	0.29
PM10	0.41	-0.27
SO2	0.62	0.28
CO	-0.21	0.63

References

- Koh, H.K.; Piotrowski, J.J.; Kumanyika, S.; Fielding, J.E. Healthy People a 2020 vision for the social determinants approach. *Health Educ. Behav.* **2011**, *38*, 551–557, doi:10.1177/1090198111428646.
- ONU-Medio Ambiente. GEO-6 ALC. Evaluación Regional Para América Latina y El Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ciudad de Panamá, Panamá. 2016. Available online: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7688> (accessed on 20 June 2021).
- Nowak, D.J.; Hirabayashi, S.; Doyle, M.; McGovern, M.; Pasher, J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban For. Urban Green.* **2018**, *29*, 40–48, doi:10.1016/j.ufug.2017.10.019.
- Kumar, P.; Druckman, A.; Gallagher, J.; Gatersleben, B.; Allison, S.; Eisenman, T.; Uy, H.; Hama, S.; Tiwari, A.; Sharma, A.; et al. The Nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environ Int.* **2019**, *133*, 105181, doi:10.1016/j.envint.2019.105181.
- WHO. World Health Statistics 2017: Monitoring Health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Available online: https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2017/EN_WHS2017_TOC.pdf (accessed on 20 June 2021).
- Landrigan, P.J.; Fuller, R.; Acosta, N.J.R.; Adeyi, O.; Arnold, R.; Basu, N.; Baldé, A.B.; Bertollini, R.; Bose-O'Reilly, S.; Boufford, J.I.; et al. The lancet commission on pollution and health. *Lancet* **2018**, *391*, 462–512, doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0.
- Bowen, K.J.; Lynch, Y. The public health benefits of green infrastructure: The potential of economic framing for enhanced decision-making. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* **2017**, *25*, 90–95, doi:10.1016/j.cosust.2017.08.003.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/366), 2018. Available online: <https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-report.pdf> (accessed on 20 June 2021).
- Baró, F.; Gómez-Baggethun, E. Assessing the potential of regulating ecosystem services as nature-based solutions in urban areas. In *Nature-Based Solutions to Climate Change in Urban Areas. Linkages between Science, Policy and Practice*; Kabisch, N., Bonn, A., Korn, H., Stadler, J., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2017; pp. 139–158.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat). Distrito Nacional, Santo Domingo: Evaluación del Sistema de Espacios Públicos. 2020. Available online: www.unhabitat.org (accessed on 20 June 2021).
- ADN—Ayuntamiento del Distrito Nacional. *Diagnóstico Territorial del Distrito Nacional. Programa de Planificación para la Adaptación Climática*; USAID-ICMA-FEDOMU-ADN: Santo Domingo, Dominican Republic, 2017; p. 205.

- 12 Nowak, D.J.; Bodine, A.R.; Hoehn, R.E.; Low, S.C.; Roman, L.A.; Henning, J.G.; Stephan, E.; Taggart, T.; Endreny, T. *The Urban Forest of Philadelphia. Resource Bulletin NRS-106*; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: Newtown Square, PA, USA, 2016; 80p. Available online: www.nrs.fs.fed.us/pubs/53315 (accessed on 20 June 2021).
- 13 Demuzere, M.; Orru, K.; Heidrich, O.; Olazabal, E.; Geneletti, D.; Orru, H.; Bhave, A.G.; Mittal, N.; Feliu, E.; Faehnle, M. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *J. Environ. Manag.* **2014**, *146*, 107–115, doi:10.1016/j.jenvman.2014.07.025.
- 14 Calaza, P.; Carriñanos, F.; Escobedo, F.; Schwab, J.; Tovar, G. Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. *Unasylva* **2018**, *69*, 11–21. Available online: <http://www.fao.org/3/I8707ES/i8707es.pdf> (accessed on 20 June 2021).
- 15 Benedict, M.A.; McMahon, E.T. Green Infrastructure: Linking landscapes and communities. *Urban Land* **2006**, *22*, 12–27.
- 16 Bonilla-Duarte, S.; Vargas-de la Mora, A.-L.; Gómez-Valenzuela, V.; García-García, A. *An Approach to the Assessment of Urban Forests' Ecosystem Services in Santo Domingo, Dominican Republic*; Working Paper; INTEC: Santo Domingo, Dominican Republic, 2021.
- 17 Bonilla-Duarte, S.; Gómez-Valenzuela, V.; Vargas-de la Mora, A.L.; García-García, A. Urban forest sustainability in residential areas in the city of Santo Domingo. *Forests* **2021**, *12*, 884, doi:10.3390/f12070884.
- 18 ONE—Oficina Nacional de Estadísticas. Perfiles Sociodemográficos Provinciales Región Ozama. 2010. Available online: <https://web.one.gob.do/media/y2siyfv/investigaci%C3%B3nperfilesociodemogr%C3%A1ficosprovincialesregi%C3%B3noza ma2010.pdf> (accessed on 7 July 2021).
- 19 Pearson, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Phil. Mag.* **2010**, *2*, 559–572, doi:10.1080/14786440109462720.
- 20 OMS (Organización Mundial de la Salud). Guías de Calidad del Aire de la OMS Relativas al Material Particulado, el Ozono, el Dióxido de Nitrógeno y el Dióxido de Azufre. 2005. Available online: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=5B7F54BDFD72596AF51A6F676471875F?sequence=1 (accessed on 20 June 2021).
- 21 Rodríguez, S.; Mena, A.; Garzón, D.; Ramírez, F.; Chuquer, D. Muertes evitables asociadas a la implementación de infraestructura verde urbana en Quito. *InfoAnalítica* **2021**, *9*, 67–88, doi:10.26807/ia.v9i1.173.
- 22 Nowak, D.J.; Hirabayashi, S.; Ellis, E.; Greenfield, E.J. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environ. Pollut.* **2014**, *193*, 119–129, doi:10.1016/j.envpol.2014.05.028.
- 23 Cushing, L.; Morello-Frosch, R.; Wander, M.; Pastor, M. The Haves, the have-nots, and the health of everyone: The relationship between social inequality and environmental quality. *Annu. Rev. Public Health* **2015**, *36*, 193–209, doi:10.1146/annurev-publhealth-031914-122646.
- 24 Kjellstrom, T.; Mercado, S. Towards action on social determinants for health equity in urban settings. *Environ. Urban* **2008**, *20*, 551–574, doi:10.1177/0956247808096128.
- 25 Friel, S.; Akerman, M.; Hancock, T.; Kumaresan, J.; Marmot, M.; Melin, T.; Vlahov, D. Addressing the social and environmental determinants of urban health equity: Evidence for action and a research agenda. *J. Urban Health* **2011**, *88*, 860–874, doi:10.1007/s11524-011-9606-1.
- 26 Chen, G.; Lin, L.; Hu, Y.; Zhang, Y.; Ma, K. Net particulate matter removal ability and efficiency of ten plant species in Beijing. *Urban For. Urban Green.* **2021**, *63*, 127230, doi:10.1016/j.ufug.2021.127230.
- 27 ONU-Ambiente. Combustibles y Vehículos Más Limpios y Eficientes en República Dominicana: Establecimiento de Línea Base Para la Economía de Combustible de los Vehículos Ligeros 2005–2015. In *Proyecto: Combustibles y Vehículos más Limpios y Eficientes*; Ministerio de Energía y Minas: Santo Domingo, Dominican Republic, 2016; 58p. Available online: https://mem.gob.do/wp-content/uploads/2020/08/1.-Informe-Linea-Base_Rep.-Dom_NOV-2017.pdf (accessed on 20 June 2021).
- 28 ONU-Ambiente. Campaña de Monitoreo de Calidad del Aire Enfocada en el Impacto del Transporte en Santo Domingo, República Dominicana. In *Proyecto: Combustibles y Vehículos más Limpios y Eficientes*; Ministerio de Energía y Minas: Santo Domingo, Dominican Republic, 2017; 17p.
- 29 Karagulian, F.; Belis, C.A.; Dora, C.F.C.; Prüss-Ustün, A.M.; Bonjour, S.; Adair-Rohani, H.; Amann, M. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmos. Environ.* **2015**, *120*, 475–483, doi:10.1016/j.atmosenv.2015.08.087.
- 30 Jennings, V.; Larson, L.; Yun, J. Advancing sustainability through urban green space: Cultural ecosystem services, equity, and social determinants of health. *Int. J. Environ. Public Health* **2016**, *13*, 196, doi:10.3390/ijerph13020196.
- 31 Wania, A.; Bruse, M.; Blond, N.; Weber, C. Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *J. Environ. Manag.* **2012**, *94*, 91–101, doi:10.1016/j.jenvman.2011.06.036. Epub 2011.
- 32 Vos, P.E.J.; Maiheu, B.; Vankerkom, J.; Janssen, S. Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environ. Pollut.* **2013**, *183*, 113–122 doi:10.1016/j.envpol.2012.10.021.
- 33 TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management. 2011. Available online: teebweb.org (accessed on 20 June 2021).

5.3.Sostenibilidad del bosque urbano en áreas residenciales de la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana

Resumen

Las ciudades son territorios vulnerables a los impactos del cambio climático, una alternativa para aumentar la resiliencia y mitigar los efectos del contexto climático es la planificación del arbolado urbano para incrementar los servicios ecosistémicos que provee. Esta investigación construyó un índice de sustentabilidad de cobertura arbórea, con base en 147 entrevistas semiestructuradas a pobladores de cuatro zonas residenciales de la ciudad de Santo Domingo (Gazcue, Zona Colonial, Ciudad Nueva y San Carlos), en las que se recabó información sobre percepción de beneficios y manejo de los árboles tanto en su vivienda como en las zonas públicas cercanas. Se tomaron en cuenta, las características socioeconómicas de la población y la información levantada con las mediciones del arbolado urbano, tanto en zonas públicas como privadas en la ciudad en el período 2016-2019, incluyendo estas cuatro zonas residenciales, que establecieron los servicios ecosistémicos provistos por el Bosque Urbano. Los resultados mostraron que Gazcue tuvo mayor valoración en el índice de sustentabilidad de cobertura arbórea. Los factores que influyeron en este resultado fueron la estabilidad laboral, ingresos económicos medio-altos y tenencia de propiedad. Así mismo, la plusvalía del territorio sea en el ámbito turístico o socioeconómico de la población que lo habita, tienen una estrecha relación con una mayor atención a la planeación urbana, privilegiando la conservación y armonía paisajística que el componente arbóreo puede otorgar. En conclusión, la planificación del bosque urbano de las ciudades debe considerar tanto las especies arbóreas, el diseño y estructura de los arreglos espaciales, así como un marco legal competente que pueda enfrentar los retos de la sustentabilidad territorial que contribuya con la resiliencia y mitigación de los impactos de cambio climático.

Palabras clave: Sustentabilidad, arbolado urbano, servicios ecosistémicos, cambio climático, planeación urbana.

Abstract:

Cities are territories vulnerable to climate change. An alternative to increase resilience and mitigate the effects of the climate context is urban forest planning to increase ecosystem services. This research constructed a forest cover sustainability index, based on 147 semi-structured interviews with residents of four residential areas of the city of Santo Domingo (Gazcue, Zona Colonial, Ciudad Nueva, and San Carlos), in which

information was collected based on both benefit perception and tree management in their home and nearby public areas. The socioeconomic characteristics of the population and the information gathered from the measurements of the urban forest in both public and private areas of the city during the 2016–2019 period were considered, including these four residential areas, which established the ecosystem services provided by the urban forest. The results showed that Gazcue had a higher value in the forest cover sustainability index. The factors that influenced this result were: job stability, medium-high income, and property ownership. Likewise, the added value of the territory, whether in terms of tourism or the socioeconomic value of the population that inhabits it, is closely related to a greater attention to urban planning, prioritizing the conservation and landscape harmony that the arboreal component can provide. In conclusion, urban forest planning in cities should consider tree species, the design and structure of spatial arrangements, and a competent legal framework that can meet the challenges of territorial sustainability and contribute to the resilience and mitigation of climate change impacts.

Keywords: sustainability; urban forest; ecosystem services; climate change; urban planning

Article

Urban Forest Sustainability in Residential Areas in the City of Santo Domingo

Solhanlle Bonilla-Duarte ^{1,2}, Víctor Gómez-Valenzuela ¹, Alma-Liz Vargas-de la Mora ¹
and Agustín García-García ^{2,*}

¹ Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Ave. de Los Proceres, Santo Domingo 10100, Dominican Republic; solhanlle.bonilla@intec.edu.do (S.B.-D.); victor.gomez@intec.edu.do (V.G.-V.); fama_yo@hotmail.com (A.-L.V.-d.l.M.)

² Departamento de Economía, Universidad de Extremadura, Av. Elvas s/n, 06006 Badajoz, Spain

* Correspondence: agarcia@unex.es

Abstract: Cities are territories vulnerable to climate change. An alternative to increase resilience and mitigate the effects of the climate context is urban forest planning to increase ecosystem services. This research constructed a forest cover sustainability index, based on 147 semi-structured interviews with residents of four residential areas of the city of Santo Domingo (Gazcue, Zona Colonial, Ciudad Nueva, and San Carlos), in which information was collected based on both benefit perception and tree management in their home and nearby public areas. The socioeconomic characteristics of the population and the information gathered from the measurements of the urban forest in both public and private areas of the city during the 2016–2019 period were considered, including these four residential areas, which established the ecosystem services provided by the urban forest. The results showed that Gazcue had a higher value in the forest cover sustainability index. The factors that influenced this result were: job stability, medium-high income, and property ownership. Likewise, the added value of the territory, whether in terms of tourism or the socioeconomic value of the population that inhabits it, is closely related to a greater attention to urban planning, prioritizing the conservation and landscape harmony that the arboreal component can provide. In conclusion, urban forest planning in cities should consider tree species, the design and structure of spatial arrangements, and a competent legal framework that can meet the challenges of territorial sustainability and contribute to the resilience and mitigation of climate change impacts.

Keywords: sustainability; urban forest; ecosystem services; climate change; urban planning



Citation: Bonilla-Duarte, S.; Gómez-Valenzuela, V.; Vargas-de la Mora, A.-L.; García-García, A. Urban Forest Sustainability in Residential Areas in the City of Santo Domingo. *Forests* **2021**, *12*, 884. <https://doi.org/10.3390/f12070884>

Academic Editor: Carlo Calfapietra

Received: 16 June 2021

Accepted: 29 June 2021

Published: 7 July 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

According to the United Nations data, cities occupy 3% of the planet's surface, are home to approximately 60% of the world's population, and consume about 75% of the natural resources [1]. From the 18th century to the present day, the urban expansion model has been perpetuated, favoring industry and displacing new neighborhoods to the cities' periphery, and absorbing new territories [2]; the continuous expansion and the demand for food increase competition for the natural resources of rural lands [3].

Cities are a social construction integrated by natural components such as water, soils, and trees, which are substantially modified due to city infrastructure; these actions put urban populations at risk in the current context of climate change, where rising temperatures, heat and cold waves, as well as disasters have more severe impacts in cities devoid of trees [4].

Urban forest influences urban environmental conditions, providing ecosystem services reflected in improved air quality, shade, microclimate, reduced atmospheric pollutants, which contribute to human well-being and increased property values in urban environments [5–7]. Therefore, urban planning processes should focus on cities' sustainability and present and future needs of services, infrastructure, communication, and green spaces [2,8].

The urban forest is undoubtedly an indispensable component for cities' sustainability [9] and socioenvironmental and emotional well-being, although the latter is rarely considered or valued [10]. However, the design of the spatial arrangement and structure of the tree component in the city is variable; it directly influences the quality and quantity of ecosystem services that can be provided to the urban area [11].

The dichotomous conflict between the environment and urbanization is mainly caused by factors such as the absence or poor urban planning, poor selection of tree species, and lack of studies or inadequate application of these in public spaces [12,13]. Although the concepts of sustainability and governance have been discursively included in urban development frameworks, the lack of technical-administrative capacities of governments limit proper implementation, good management, and planning in cities; this is added to the deficiency of public policies that contribute to improving ecosystem services in the urban context, resilience, and mitigation of the effects of climate change [14,15].

The main problems faced by cities have been documented over time, as well as how urban forest can be a strategy for adaptation and mitigation to climate change; some of the benefits they provide are: increased soil infiltration capacity; decreased stormwater runoff; conservation, restoration, and increase of flora and fauna; a decrease in temperatures in urban areas (differentiated according to the presence of forest cover), improved air and water quality; and increased socioemotional well-being of the population [10,16–19].

In developing countries, there are few environmental assessments in the urban context, mainly due to the lack of baseline information on the effects of urbanization on the environmental component and urban life quality [4]. Although several plausible studies have been carried out for the evaluation and monitoring of the benefits and ecosystem services provided by the urban forest, a framework of specific indicators has yet to be established, which should also comprehend the inclusion of different social actors who can cooperate in the planning, maintenance, and monitoring of the forest resource [20,21]. This work attempts to advance along these lines, focusing the object of study on a geographical area especially conditioned by extreme weather events: the Caribbean and, more specifically, in Santo Domingo.

In the Dominican Republic, the factors that have contributed to the increase in temperature (from 0.8 to 1.5 °C), change in soil permeability, increase in the frequency of floods, and other meteorological phenomena that have impacted the city of Santo Domingo during 1995–2018 are urban development, poor urban planning, loss of trees in private homes due to the sale of these lands for building construction, and land replacement with asphalt [13]. Understanding what factors influence the population to conserve trees in homes or public spaces and how this is reflected in the sustainability of urban forest cover is crucial to promote public policies that contribute to the conservation of urban forests in cities as a strategy to promote resilience and adaptation in the urban context in the face of climate change.

As we have previously stated, this research aims to further data collection to support policy decisions, identifying a sustainability index of forest cover in four urban areas of Santo Domingo, Dominican Republic. For this, we will analyze the perception of the population concerning the benefits of the urban forest, their management, socioeconomic characteristics of the different zones, and analysis of urban forest measurements, with the use of the iTree tool, to estimate the ecosystem services of the forest cover of each urban zone.

The Dominican Republic is a very vulnerable country to the effects of climate change such as floods, severe and frequent drought events, alteration of rain patterns, and the urban island effect. The urban forest may help to tackle some of the issues and challenges faced by residents in modern cities, including lack of human well-being, inequity in access to green areas and recreational spaces, food sovereignty, and accelerated urban sprawl [22]. However, to view and acknowledge the urban forest as an effective element within cities to better adapt and mitigate climate change, a comprehensive understanding and widespread dissemination among citizens and local authorities on the services and benefits given by

the urban forest is critical. The research addresses an emerging topic of research at a local and global level in a transdisciplinary way.

The rest of the document is organized as described below. The second section describes the materials and methods used for this research, beginning with a description of the geographical area where the work is located. Hereunder, the results obtained are presented and discussed, with different maps representing the analysis in the selected areas. Lastly, the main conclusions of the research are presented. The results will provide elements for scientific work and information to advance the country's 2030 agenda, the national development strategy, the national climate change policy, and the Sustainable Development Goals.

2. Materials and Methods

2.1. Study Area General Description

The Dominican Republic is located on Hispaniola, the second largest of the Greater Antilles in the Caribbean Sea Basin. Its geographical coordinates are 17°36' and 19°58' N and 68°19' and 72°01' W, located in the northern hemisphere, south of the Tropic of Cancer. The city of Santo Domingo, founded in 1508 during the Spanish colonial period, located on the western bank of the Ozama River, is the capital of the country [23]. This research was carried out in the eldest sectors of the city of Santo Domingo: Zona Colonial, Ciudad Nueva, San Carlos, and Gazcue, belonging to the National District of the city of Santo Domingo.

2.1.1. Zona Colonial (Colonial Zone)

The Colonial Zone of Santo Domingo is the eldest in Latin America and served as a model of urbanization for other colonial cities. Founded in 1496, functioning as a link between Spain and the New World, with a port on the Ozama River from where explorations were directed to territories such as Cuba, Mexico, and South America [24]. By the end of the 16th century, after the exhaustion of the gold reserves of the Colonial Zone, it was gradually marginalized and isolated, moving the commercial and exploration links to the western margin of the same river, by Nicolás de Ovando. It was the first permanent European settlement on the American continent and the seat of the government of the Crown of Castile in the New World. It preserves the most important buildings of the sixteenth century, which is why UNESCO declared it a World Heritage Site. It has a walled city where the expansion of the city of Santo Domingo took place from the 16th to the 18th century. Nowadays, it is a tourist area visited by more than one million people annually [23].

The industrial growth model of Santo Domingo led to a restructuring of the territorial space, with the political-administrative and commercial functions shifting to the Colonial Zone. The middle and upper social classes moved to the west of the city. At the same time, the poor population settled in the lowlands at a short distance from the Colonial Zone, expanding a belt of precariousness. By the 1980s, the tourism development trend restructured the urban system of the territory. In the following decades, after the eighties, the lack of infrastructure maintenance and tenancy promoted the deterioration of the architectural heritage. It brought problems of water management, garbage collection, and contamination of the Ozama River [24].

2.1.2. Ciudad Nueva

This was the first sector outside the walls of the city of Santo Domingo, and its first blueprint was drawn by the engineer J.M. Castillo in 1884, the streets being marked with numbers at the beginning. Its origin marked a milestone in an ancient city; due to the socioeconomic needs of an urban expansion, it overflowed its walls. It was considered a "colonial zone's patio" because of the marginal recreational environment provided on the west side of the walls. The sector has a population of 12,540 inhabitants [23].

2.1.3. San Carlos

It is bordered to the north by Villa Francisca and Villa Consuelo, to the west by San Juan Bosco and Gazcue, to the south by Ciudad Nueva, and to the east by Colonial City. It has 10,843 inhabitants [23]. Migrants populated San Carlos, and indigenous people highly poor and marginalized, whose main occupation was to work the land as peasants, supplying primary food products to Santo Domingo [25].

2.1.4. Gazcue

This sector is recognized as an area of urban and architectural heritage declared as such in 2013 by the City Council of the National District; this regulation sought to recover and revitalize its residential character, promote sustainable urban development, and preserve elements of heritage interest [26]. It is considered one of the eldest sectors of Santo Domingo, populated by upper-middle-class individuals, with a population of 12,562 inhabitants [23].

We know today's Gazcue is a territory outlined as a suburban settlement in the early twentieth century. This sector has gone from housing high-income social classes, as well as great floristic and landscape richness that led it to be called an "urban garden", to being a space of constant clash between the conservation of the natural beauty of the place and the real estate development that is deteriorating the territory through the construction of housing infrastructure mainly for the exploitation of the surplus-value of the territory [26].

2.2. Methodology

One hundred and forty-seven (147) semi-structured interviews were conducted with residents of the study areas, distributed into 30 interviews in Zona Colonial, 39 in Ciudad Nueva, 30 in Gazcue, and 48 in San Carlos. In these interviews, information was collected on the perception of the benefits and management of forest in their homes and public areas and the interviewee's socioeconomic characteristics (Table 1).

Table 1. Variables considered for the interviews in the four sectors of Santo Domingo (possible recorded responses are described in parentheses).

Socioeconomic	Environmental Perception	Forest Quality
Gender (female, male)	Likes trees inside their property (yes/no)	Green Index (green infrastructure/population density)
Type of housing (owned, rented, leased, borrowed, other)	Sowing/planting (yes/no)	Number of trees
Yard type (gray *, gray-trees, plants)	Knows who is responsible for public green areas maintenance (yes/no)	Forest cover (%) **
Marital status (married, unmarried, single, divorced, widowed)	Fertilizes their garden (yes/no)	Percentage of trees less than 15.2 cm in diameter
Occupation (unemployed, public employee, private employee, tradesman, self-employed, pensioner)	Pays for gardener services (yes/no)	Pollution removal (ton/year)
Level of education (primary, secondary, bachelor's, master's, doctorate, vocational-technical training, other study)	Water their garden (several times, once a week, occasionally)	Carbon storage (ton/ha)
Income (0–263, 281–526, 544–789, 807–1053, 1070–1316, 1333–1579, 1596 or more) ***	How do you distribute the cost of garden maintenance (monthly maintenance fee, fertilizers, pesticides, irrigation, labor)?	Oxygen production (ton/year)
	Are you willing to pay for green areas maintenance?	Carbon sequestration (ton/year)
	Benefits from trees (yes/no)	Avoided runoff (m ³ /year)

Table 1. Cont.

Socioeconomic	Environmental Perception	Forest Quality
	What is your perception about trees in the neighborhood? (benefit, issue)	Avoided carbon emissions (ton/year)
	Relates construction work to flooding (yes/no)	
	Has access to public parks (yes/no)	
	Feels safe in public parks (yes/no)	
	Perceives benefits from public parks (yes/no)	
	Perceives problems in public parks (yes/no)	
	Recycles (yes/no)	
	Prepares organic fertilizer (yes/no)	
	Belongs to a community organization (yes/no)	

* Refers to concrete patio; ** forest cover responds to the percentage contrasted with total forest cover for each neighborhood; *** exchange rate equivalent to 57 Dominican pesos (Central Bank of the Dominican Republic, accessed 11 June 2021).

For the analysis of the forest cover ecosystem services, we took the data from the calculation made with the iTree Eco Field Guide V6.0 software (open source software, created by Dr. David J. Novak, Northern Research Station, USDA, Madison, WI, USA) from 26 April 2016, which were taken for the four zones and named “forest quality”. iTree Eco version 6 is a flexible software application designed to use data collected in the field from single trees, complete inventories, or randomly located plots throughout a study area along with local hourly air pollution and meteorological data to quantify forest structure, environmental effects, and value to communities [27].

2.3. Information Analysis

Information gathered from the interviews was categorized into environmental perception information, socioeconomic characteristics, and the iTree data were referred to as forest quality. A frequency analysis was performed on the responses obtained. The data for each category were standardized to a range of 0.1 with INFOSAT 2018 Software (National University of Córdoba, Córdoba, Argentina). To identify the significant association of the variables with each urban area, a principal component analysis (PCA) was performed [28]; out of the 52 interview items applied, 25 had a significant association to the neighborhoods, which are shown in Table 1; with these variables three indexes were constructed: environmental perception, socioeconomic, and tree quality. The value of each index is the average of the values of its component variables (see Table 1). Lastly, the three indices were summed to obtain the forest cover sustainability index for each urban area. With the information collected from the four indices, geographic maps of each site were constructed in the WGS 1984 UTM 19 N geographic system.

3. Results and Discussion

The socioeconomic component analysis showed that Gazcue is the area with a predominance of inhabitants who own their homes, with vegetation in the backyard, many of them pensioners or private companies’ employees where salaries range from USD 807 to more than USD 1596.5 per month. Of the four zones studied, Gazcue is the one with the most favorable and stable socioeconomic characteristics compared to the others. Zona Colonial is mainly associated with professional training up to doctorate degrees and housing with a semi-paved patio and some trees. On the other hand, San Carlos and Ciudad Nueva are more associated with citizens living in rented, leased, or borrowed houses, most of which

lack trees in the yards. The highest school grade is between elementary and high school. The range of income is from 0 to 526 dollars, working as independent workers, merchants, or unemployed.

According to the socioeconomic index (Figure 1), Zona Colonial was the area with the highest score, registering around 53%, followed by Gazcue with 47%, Ciudad Nueva with 46%, and San Carlos with 44%, which means that from a general perspective Zona Colonial has better socioeconomic indicators for most of the population considered in this study in comparison to the values presented by the other urban zones. It should be noted that although Gazcue has better socioeconomic conditions associated with it according to the results of the principal component analysis, these conditions belong to a small percentage of inhabitants, which is why it was placed third in the index position (Appendix A, Table A1).

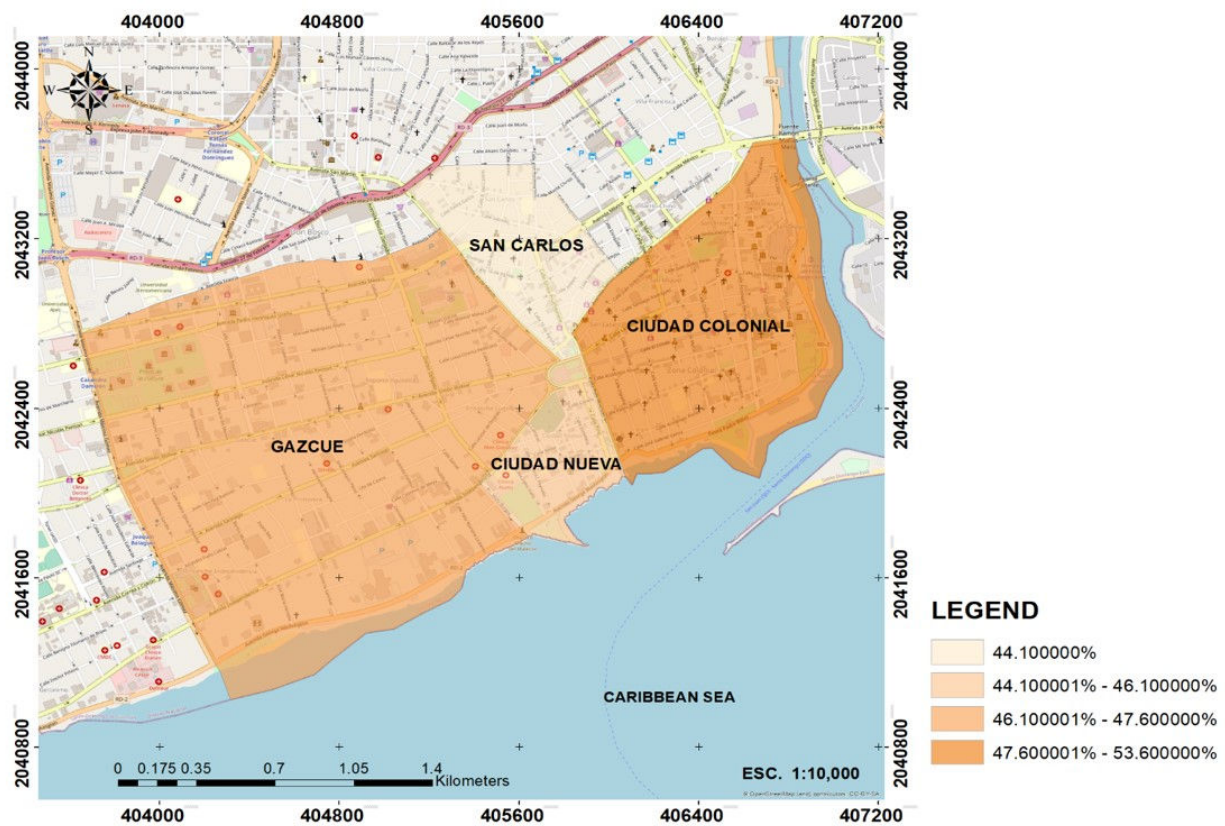


Figure 1. Socioeconomic index of four zones of the city of Santo Domingo, Dominican Republic. Source: Own elaboration based on data collected in the field (Zona Colonial is the popular name of Ciudad Colonial).

Regarding the environmental perception of PCA, the significant factors in Gazcue are that inhabitants of the area like to have trees on their property and plant them in their yard or land. They pay for garden maintenance services, and they do not have access to public parks. In this area, organic management and recycling practices are more frequent, and they perceive a relationship between continuous construction and flooding. In Ciudad Nueva, residents do not perceive the benefits of public parks and consider them to be unsafe places. Meanwhile, in Zona Colonial and San Carlos, although they perceive benefits from the neighborhoods' trees, they do not associate them with recycling or organic fertilizer practices; they do not consider a relationship between construction and flooding the city in both neighborhoods (Appendix A, Table A2).

In contrast to the factors of association by neighborhoods, the environmental perception index shows Zona Colonial with the highest value (54%), followed by Gazcue (50%), San Carlos (48%), and Ciudad Nueva (47%) (Figure 2), which means that the perception of

the interviewed inhabitants related to environmental benefits is greater than the percentage presented in the con-structed index.

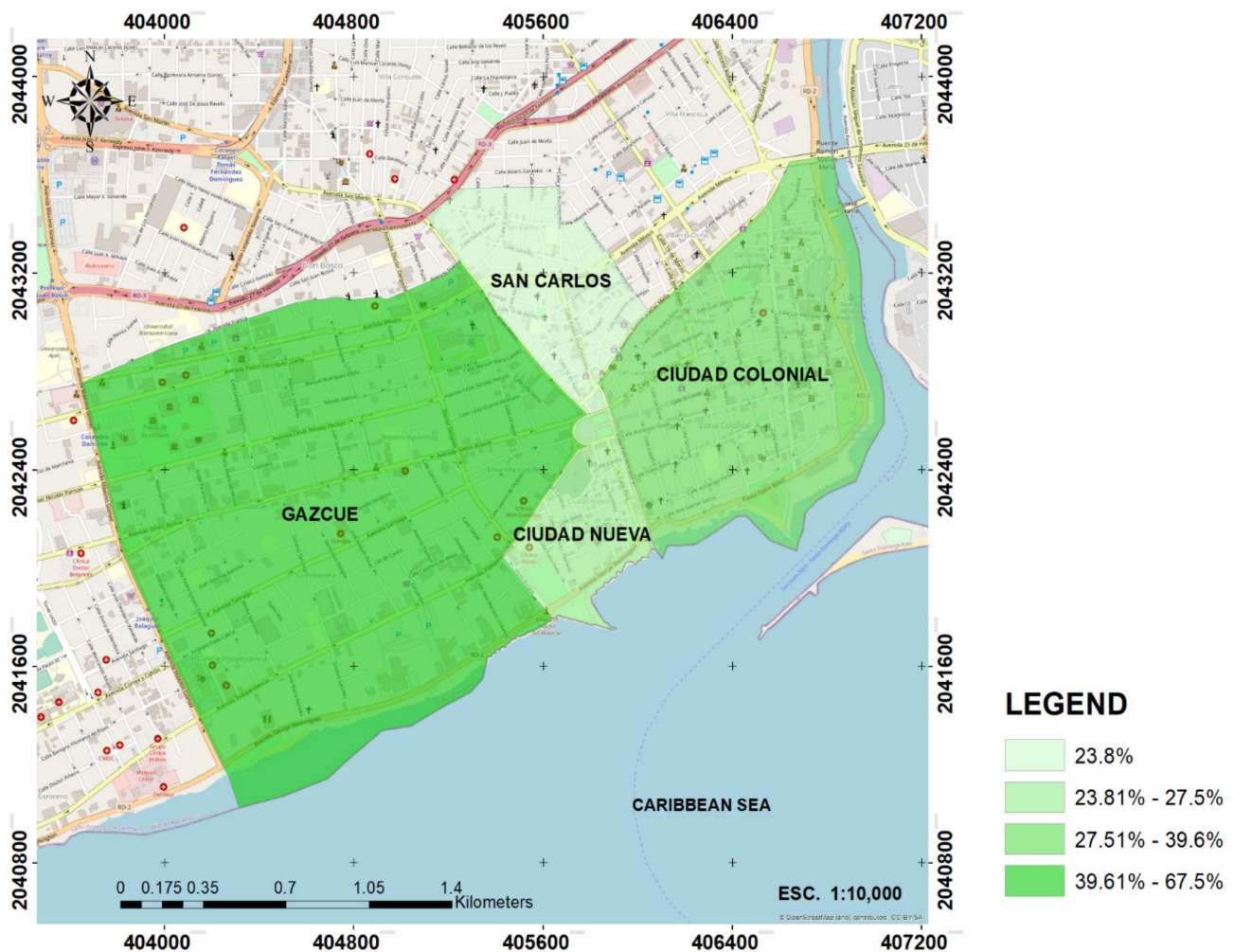


Figure 2. Environmental perception index of four zones of the city of Santo Domingo, Dominican Republic. Source: Own elaboration based on data collected in the field (Zona Colonial is the popular name of Ciudad Colonial).

Factors associated with the quality of urban forest, which are directly related to the ecosystem services they provide, have a higher value in the Gazcue zone (number of trees, percentage of forest cover, carbon storage, pollution removal, avoided runoff, and avoided carbon emission). Zona Colonial presented a weak association with the percentage of trees smaller than 5 cm and carbon sequestration (ton/year), which means that it does not have a significant association with the number of trees in that diameter range. In the case of San Carlos and Ciudad Nueva, they were not associated with any factor (Appendix A, Table A3).

Unlike previous indices, the forest quality index shows that Gazcue is superior to the rest of the neighborhoods with 67.5%, while Zona Colonial did not exceed 39.6%, Ciudad Nueva 27.5%, and San Carlos 23.8% (Figure 3). According to the index scores obtained by each neighborhood, Gazcue maintains greater forest cover and therefore has further benefits in terms of carbon capture and storage and other environmental benefits quantified for this index. It should be noted that Gazcue has historically been considered an “urban garden” because of its floristic richness, a condition that has been maintained over time [26].

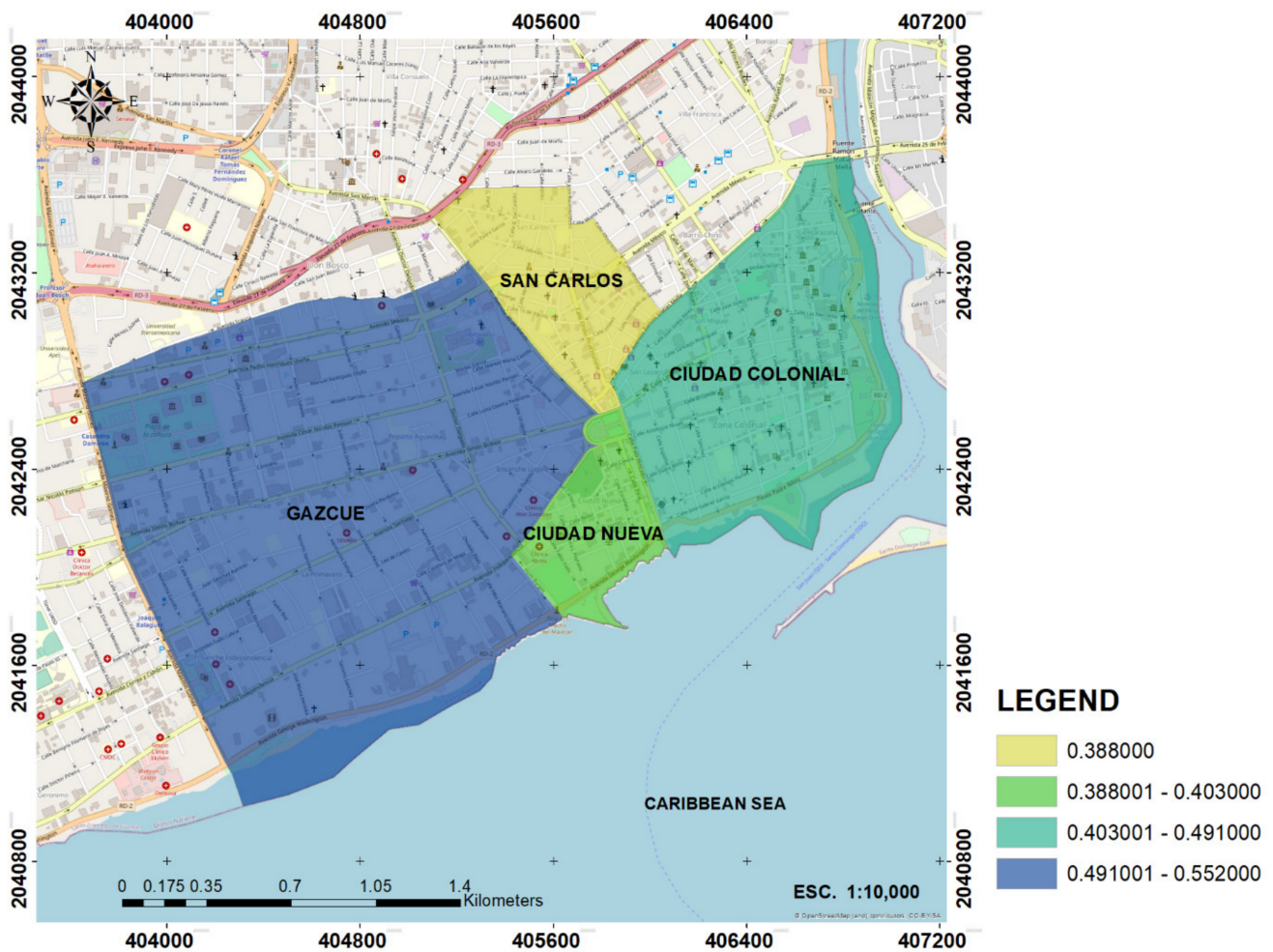


Figure 3. Forest quality index of four zones of the city of Santo Domingo, Dominican Republic. Source: Own elaboration based on data collected in the field (Zona Colonial is the popular name of Ciudad Colonial).

Ultimately, the forest cover sustainability index is the result of the sum of the three indices shown above; the results infer which neighborhood has better conditions to maintain the forest cover and therefore have greater environmental benefits for the urban area; in this sense, Gazcue presented a higher valuation than the rest (55%), mainly due to the value obtained in the quality of forest cover. However, Zona Colonial (49%) maintained high environmental and socioeconomic perception indexes (Figure 4). It is worth mentioning that both sites are those with better living conditions for the population, as well as greater environmental awareness compared to Ciudad Nueva (40%) and San Carlos (38%), neighborhoods where the population has less stability in terms of income and housing, as well as lower levels of formal education.

According to results shown by this index, Gazcue is more likely to conserve and care for the forest cover followed by Zona Colonial; the historical planning supports both neighborhoods to maintain the landscape for the delight of tourists and the upper social classes, compared to Ciudad Nueva and San Carlos, which have been urban areas of greater marginalization and occupied mainly by migrant or working-class inhabitants [25].

The discussion on which social setting benefits environmental conservation within cities is still ongoing [29]. The results of this study contribute to elucidate an answer.

Various indices presented in this research demonstrate that, in the urban context of Santo Domingo, the four zones studied show significant differences in the socioeconomic dimension, making clear that Gazcue and Zona Colonial have a close relationship with the presence of trees, mainly in private homes, and their care. Our results confirm the findings

of Gazcue, and Zona Colonial are related and perceived to a context of economic prosperity in addition to be historically representative [30]. It also claims that the upper social classes have better forest cover from private properties and, to a lesser degree, from public spaces.

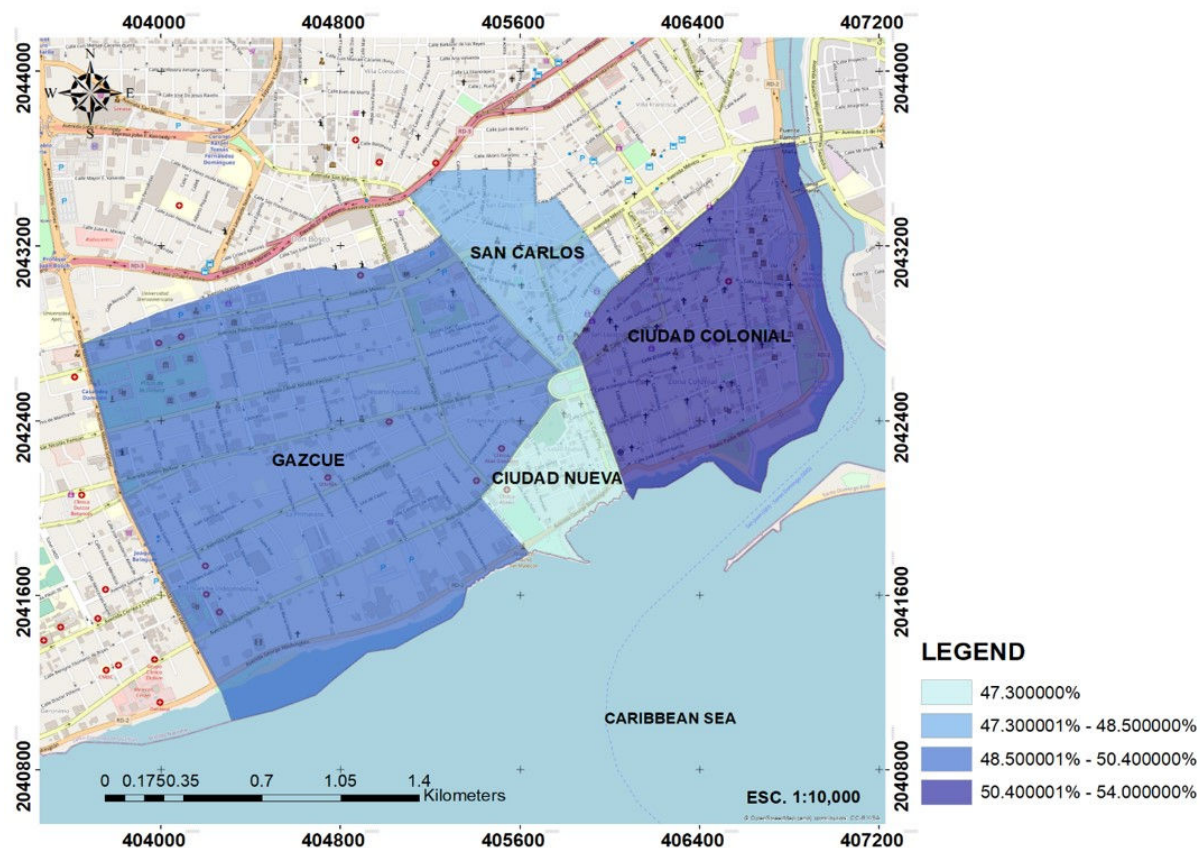


Figure 4. Sustainability index of four zones of the city of Santo Domingo, Dominican Republic. Source: Own elaboration based on data collected in the field (Zona Colonial is the popular name of Ciudad Colonial).

The population's perception of the benefits (environmental or social) or detriments (damage to property, disruption of public services, threat to public safety) that trees can cause are determinants for their conservation and establishment [31]. The results found in Gazcue related to the perception of trees seem to indicate that individuals prefer to have trees on their property because of the landscape service they provide. The non-monetary valuation of ecosystem services perceived by society positively influences the conservation of the tree component [32].

In Ciudad Nueva and San Carlos, historically marginalized and with rapid urbanization and overcrowding, there was less forest cover in private areas but a more marked tendency toward public wooded areas and precariousness in their care. Public parks or green areas present social problems such as insecurity and lack of maintenance [33]. The lower socioeconomic stratum tends to maintain public spaces with forest cover; however, this component is dispensable in private properties due to its high contribution of ecosystem services [30]. Likewise, these areas tend to have a shorter time of urbanization, which is a relevant factor in the loss of forest cover [32].

Although it is necessary to rethink the model of the peripheral expansion of cities [2], the verticalization of urban development also has severe consequences in terms of quality of life in the socioemotional and environmental spheres [30]; therefore, the challenge of urban sustainability continues.

The benefits of trees are indisputable; however, inadequate planning on the tree species to be established in cities entails important problems. A decade ago, it was established that 80% of the tree species established in Santo Domingo are not appropriate for the city, with

up to 30% of them being introduced species, which has a direct impact on instability in the ecosystem and biodiversity, habitat, and food for the local fauna. Likewise, there have been problems of broken sidewalks due to superficial roots or large trees that were planted in limited spaces and with little resistance to the impact of hurricanes [34].

The scarcity of phytosanitary care is an important factor in the deterioration of urban trees. There is a lack of studies that gather documentation on pests and diseases that attack urban trees and recommend management activities that prevent damage that in the long run can be transformed into economic losses and that also affect people's quality of life [34]. This document does not elaborate on the tree species found in the three neighborhoods; however, the problems described above may have an influence on the perception of the inhabitants interviewed.

4. Conclusions

This study showed that factors such as job stability, medium-high income, and property ownership are closely related to the establishment and quality of urban forest, i.e., the sustainability of forest cover.

A relevant aspect that became evident in the results of this study is the added value of the territory, whether in the tourism or socioeconomic sphere of the population that inhabits it, is closely related to greater attention in urban planning, giving priority to the conservation and landscape harmony that the tree component can provide.

Although there is still a long way to go in research on urban forest planning, there are three relevant points to consider about the benefits and ecosystem services they provide: tree species, design, and spatial arrangements.

As we have pointed out, the urban forest is undoubtedly an indispensable component for the sustainability of cities, providing ecosystem services reflected in improved air quality, contributing to well-being, and positively affecting the private value of properties. However, the proliferation of trees in urban environments goes beyond the private sphere as the external effects are evident, reaching all the inhabitants of the area and the city. For all these reasons, urban planning of green spaces with trees should play a central role in the agenda of local decision makers. Planning must be supported by competent public policies in line with the challenges of territorial sustainability and establishing criteria of social co-responsibility. The government will have to strengthen its capacities for planning, management, and facilitation of processes concerning incorporating and monitoring urban trees to provide resilience and mitigation of climate change impacts.

Based on the results obtained in the analysis, which show different patterns depending on the socioeconomic characteristics of the areas studied, it would seem appropriate to promote policies designed according to the specificities of each neighborhood rather than general policies with a global approach for the entire city. That is, in some cases, it will be appropriate for the policy to focus on the maintenance of trees in public parks, while in other cases the focus should be on increasing safety or in other areas it might be more appropriate to establish urban planning regulations that require the construction and maintenance of private green areas, for example, in neighborhoods with a high socioeconomic level.

However, the study opens different avenues for completing and expanding the analysis in the future. For example, it would be interesting to link the existence of green areas with the evolution of housing prices or, along other lines, to analyze what type of plant species are most suitable for public or private areas in each neighborhood.

Author Contributions: Conceptualization, S.B.-D., A.-L.V.-d.I.M., and A.G.-G.; Methodology, S.B.-D., A.-L.V.-d.I.M., and V.G.-V.; Formal analysis, S.B.-D. and A.-L.V.-d.I.M.; Data preparation, S.B.-D. and A.-L.V.-d.I.M.; Writing—original draft preparation, S.B.-D.; Writing—review and editing, S.B.-D., A.-L.V.-d.I.M., A.G.-G., and V.G.-V.; Supervision, V.G.-V. and A.G.-G.; Project administration, S.B.-D. and A.G.-G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Regional Government of Extremadura (Junta de Extremadura) through grant GR18075 and the Research Fund of INTEC.

Data Availability Statement: Database will be available at <https://infoclima.intec.edu.do/>.

Acknowledgments: The authors acknowledge the helpful comments received from Carol Franco Billini (Virginia Tech University) on previous versions of this paper. The authors also acknowledge the helpful support received from Rafael Garcia, Winston Gonzalez, Diana Montero, Cristina Cruz, and Mirel Volcan in the field data collection. The field work of this research was carried out with funding from Project 5-400 of the PEER-NAS Cycle 5 program.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Appendix A

Table A1. Principal component analysis—Socioeconomic Index (Standardized data: Cases read 4, skipped cases 0. Classification variables: Zone).

Lambda	Eigenvalues			Variables	Eigenvectors	
	Value	Proportion	Prop Accum.		e1	e2
1	13.53	0.45	0.45	Female	−0.2	0.19
2	9.52	0.32	0.77	Male	0.2	−0.19
3	6.95	0.23	1	Own house	0.27	−0.01
4	0	0	1	Rent house	−0.27	0.04
5	0	0	1	Loaned-lent house	−0.11	−0.25
6	0	0	1	Gray patio	−0.2	−0.07
7	0	0	1	Patio_plants	0.18	−0.11
8	0	0	1	Married/common law	0.27	−0.05
9	0	0	1	Single	−0.24	9.60×10^{-4}
10	0	0	1	Divorced	0.1	−0.16
11	0	0	1	Widower	−0.24	0.16
12	0	0	1	Unemployed	0.03	−0.24
13	0	0	1	Public employee	0.1	0.25
14	0	0	1	Private employee	0.13	0.07
15	0	0	1	Businessman	−0.22	0.13
16	0	0	1	Account worker	0.03	−0.15
17	0	0	1	Pensioner	0.25	0.12
18	0	0	1	Primary studies	−0.1	−0.28
19	0	0	1	Secondary studies	0.03	−0.3
20	0	0	1	Graduate	0.2	0.19
21	0	0	1	Master's degree	0.07	0.31
22	0	0	1	Doctorate	−0.09	0.3
23	0	0	1	Technical training-pro.	−0.18	0.24
24	0	0	1	Income 0–15,000	−0.19	−0.15
25	0	0	1	Income 16,000–30,000	−0.23	−0.13
26	0	0	1	Income 31,000–45,000	−0.21	0.18
27	0	0	1	Income 46,000–60,000	0.16	0.05
28	0	0	1	Income 61,000–75,000	0.16	0.27
29	0	0	1	Income 76,000–90,000	0.08	0.01
30	0	0	1	Income 91,000 or more	0.25	

Table A2. Principal component analysis—Forest Quality Index (Standardized data: Cases read 4, skipped cases 0. Classification variables: Zone).

Lambda	Eigenvalues			Variables	Eigenvectors	
	Value	Proportion	Prop Accum.		e1	e2
1	6.89	0.69	0.69	Green index	0.37	−0.01
2	2.46	0.25	0.93	Number of trees	0.37	0.18
3	0.66	0.07	1	Forest cover	0.27	−0.25
4	0	0	1	Percentage of trees	0.06	0.61
5	0	0	1	Contamination removal	0.37	0.14
6	0	0	1	Carbon store	0.36	0.14
7	0	0	1	Oxygen production	−0.34	0.26
8	0	0	1	Carbon sequestration	0.06	0.6
9	0	0	1	Runoff avoided	0.38	0.01
10	0	0	1	Carbon emission	0.34	−0.25

Table A3. Principal component analysis—Environmental Perception Index (Standardized data: Cases read 4, skipped cases 0. Classification variables: Zone).

Lambda	Eigenvalues			Variables	Eigenvectors	
	Value	Proportion	Prop Accum.		e1	e2
1	21.34	0.48	0.48	like tree property	−0.1	0.09
2	13.09	0.3	0.78	don't like tree property	0.1	−0.09
3	9.57	0.22	1	plant the yard	−0.07	0.15
4	0	0	1	don't plant	0.07	−0.15
5	0	0	1	know which entity cares	0.12	−0.22
6	0	0	1	don't know which entity cares	−0.12	0.22
7	0	0	1	fertilize the yard	0.17	0.1
8	0	0	1	don't fertilize the yard	−0.17	−0.1
9	0	0	1	hire gardening	−0.14	0.21
10	0	0	1	don't hire gardening	0.14	−0.21
11	0	0	1	water the yard several times	−0.19	0.08
12	0	0	1	water the yard once	0.18	−0.15
13	0	0	1	water the yard occasionally	0.18	−0.03
14	0	0	1	area maintenance	−0.12	−0.09
15	0	0	1	monthly maintenance expense	−0.07	0.25
16	0	0	1	spend on fertilizer	0.09	0.22
17	0	0	1	spend on pesticide	0.06	−0.04
18	0	0	1	spend on irrigation	−0.18	−0.14
19	0	0	1	gardening labor	0.1	0.01
20	0	0	1	willingness to pay for maint.	0.21	0.07
21	0	0	1	no WTP for maint.	−0.21	−0.07
22	0	0	1	willingness to pay	0.07	0.24
23	0	0	1	perceive tree benefit owner	0.14	0.12
24	0	0	1	perceive tree issue	−0.14	−0.12

Table A3. Cont.

Lambda	Eigenvalues			Variables	Eigenvectors	
	Value	Proportion	Prop Accum.		e1	e2
25	0	0	1	perceive tree benefit neighbor	0.21	−0.02
26	0	0	1	don't perceive benefit	−0.21	0.02
27	0	0	1	connection with construction	−0.21	−0.02
28	0	0	1	no connection construction	0.21	0.02
29	0	0	1	public park access	0.19	−0.13
30	0	0	1	no public park access	−0.19	0.13
31	0	0	1	feel safe	−0.01	0.26
32	0	0	1	don't feel safe	0.01	−0.26
33	0	0	1	public park benefit	0.07	0.26
34	0	0	1	no public park benefit	−0.07	−0.26
35	0	0	1	public park issue	−0.22	0.01
36	0	0	1	no public park issue	0.22	−0.01
37	0	0	1	recycle	−0.18	−0.02
38	0	0	1	don't recycle	0.15	0.02
39	0	0	1	don't know recycle	0.12	0.01
40	0	0	1	prepare compost	−0.2	−0.09
41	0	0	1	don't prepare compost	0.18	−0.05
42	0	0	1	belong community society	−0.11	−0.23
43	0	0	1	don't belong commun. society	0.16	0.17
44	0	0	1	don't answer if belong comm.	−0.01	0.27

References

1. FAO—Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Árboles en la Ciudad: Reconocimiento a los Pioneros de la Silvicultura Urbana Sostenible. 2020. Available online: <http://www.fao.org/news/story/es/item/1259767/icode/> (accessed on 7 June 2021).
2. Velásquez, C.; Barroso, H. Develando un modelo urbano a través de los procesos de planeamiento de la ciudad de Barcelona-España. *Rev. Geog. Venez.* **2008**, *49*, 93–112.
3. FAO—Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Objetivos de Desarrollo Sostenible. 2021. Available online: <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/goal-11/es/> (accessed on 7 June 2021).
4. Romero, H.; Irarrázaval, F.; Opazo, D.; Salgado, M.; Smith, P. Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *EURE* **2010**, *36*, 35–62. [CrossRef]
5. Escobedo, F.; Chacalo, A. Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia* **2008**, *33*, 29–33.
6. Langemeyer, J.; Gómez-Baggethun, E. Urban biodiversity and ecosystem services. In *Urban Biodiversity: From Research to Practice*; Routledge: New York, NY, USA, 2018; pp. 36–53.
7. Solomou, A.D.; Topalidou, E.T.; Germani, R.; Argiri, A.; Karetos, G. Importance, Utilization and Health of Urban Forests: A Review. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* **2019**, *47*, 10–16. [CrossRef]
8. Anguluri, R. Narayanan, P. Role of green space in urban planning: Outlook towards smart cities. *Urban For. Urban Green.* **2017**, *25*, 58–65. [CrossRef]
9. Del Caz-Enjuto, M.R. El papel de la vegetación en la mejora del entorno de los edificios en los procesos de regeneración urbana. *Urbano* **2017**, *20*, 102–113. [CrossRef]
10. Grande, M.A.; Ayuga, E.; Contato-Carol, M.L. Methods of Tree Appraisal: A Review of Their Features and Application Possibilities. *Arboric. Urban For.* **2012**, *38*, 130–140.
11. Graça, M.; Alves, P.; Gonçalves, J.; Nowak, D.J.; Hoehn, R.; Farinha-Marques, P.; Cunha, M. Evaluación de cómo los tipos de espacios verdes afectan la entrega de servicios ecosistémicos en Oporto, Portugal. *Landsc. Urban Plan.* **2018**, *170*, 195–208. [CrossRef]

12. Fernández, M.P.; Vargas, A. La ciudad y los árboles: Conflicto entre el arbolado urbano y la infraestructura. *AyF Agron. For.* **2011**, *43*, 32.
13. Rojas-Cortorreal, G.; Peña, J.; Roset-Calzada, J.; García, A. La infraestructura verde como herramienta de mitigación y adaptación urbana en la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana. In Proceedings of the 2019 XIII International Conference on Virtual City and Territory (XIII CTV): “Challenges and Paradigms of the Contemporary City”, Barcelona, Spain, 2–4 October 2019; CPSV: Barcelona, Spain, 2019; p. 8672, E-ISSN 2604-6512. [[CrossRef](#)]
14. Flores-Xolocotzi, R. Incorporando desarrollo sustentable y gobernanza a la gestión y planificación de áreas verdes urbanas. *Front. Norte* **2012**, *24*, 165–190.
15. Baró, F.; Chaparro, L.; Gómez-Bahhethun, E.; Langemeyer, J.; Nowak, D.J.; Terradas, J. Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of 45 Urban Forests in Barcelona, Spain. *Ambio* **2014**, *43*, 466–479. [[CrossRef](#)]
16. Gregory, J.H.; Dukes, M.D.; Jones, P.H.; Miller, G.L. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *J. Soil Water Conserv.* **2006**, *61*, 117–124.
17. Hedblom, M.; Heyman, E.; Antonsson, H.; Gunnarsson, B. Bird song diversity influences young people’s appreciation of urban landscapes. *Urban Forest. Urban. Green.* **2014**, *13*, 469–474. [[CrossRef](#)]
18. Hernández, E. Estimación de la temperatura superficial en San Carlos-Cojedes empleando sensores remotos. *Multiciencias Rev. Agrollania* **2017**, *14*, 113–118.
19. Leal, C.; Leal, N.; Alanís, E.; Pequeño, M.A.; Mora-Olivo, A.; Buendía, E. Structure, composition and diversity of the urban forest of Linares, Nuevo León. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* **2018**, *9*, 252–270. [[CrossRef](#)]
20. Garzón, B.; Brañes, N.; Abella, M.L.; Auad, A. Vegetación urbana y Hábitat Popular: El caso de San Miguel de Tucumán. *Rev. INVI* **2004**, *19*, 49.
21. Gómez-Baggethun, E.; Barton, D.N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecol. Econ.* **2013**, *86*, 235–245. [[CrossRef](#)]
22. Cadenasso, M.; Pickett, S.; Schwarz, K. Spatial heterogeneity in urban ecosystems: Reconceptualizing land cover and a framework classification. *Front. Ecol. Environ.* **2007**, *5*, 80–88. [[CrossRef](#)]
23. ONE—Oficina Nacional de Estadísticas. Perfiles Sociodemográficos Provinciales Región Ozama. 2010. Available online: <https://web.one.gob.do/media/y2siyjfiv/investigaci%C3%B3nperfilesociodemogr%C3%A1ficosprovincialesregi%C3%B3nozama2010.pdf> (accessed on 7 June 2021).
24. Bahar, V. Un estudio del impacto de la UNESCO y el Banco interamericano de desarrollo en los procesos de revitalización de los centros históricos latinoamericanos y caribeños: El caso de la zona colonial de Santo Domingo (República Dominicana). *J. OpenEdition* **2018**, 39–40. [[CrossRef](#)]
25. Gutiérrez, A. Vicisitudes de una villa de canarios en la Española: San Carlos de Tenerife, 1684–1750. Memoria Digital de Canarias; 2003, Volume 1, pp. 707–716. Available online: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/30942/1/Villa%20de%20canarios%20en%20La%20Espa%C3%B1ola-Gutierrez%20Escudero.pdf> (accessed on 7 June 2021).
26. Martínez, D. Gazcue, distrito arquitectónico: Su gestión como patrimonio urbano. *CLÍO* **2019**, *88*, 93–107.
27. United States Forest Service (USFS). iTree Guide to Assessing Urban Forest. 2017. Available online: https://www.itreetools.org/documents/521/Guide_to_Assessing_Urban_Forests_nrs_inf_24_13.pdf (accessed on 7 June 2021).
28. Pearson, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Phil. Mag.* **2010**, *2*, 559–572. [[CrossRef](#)]
29. Botzat, A.; Fischer, L.K.; Kowarik, I. Unexploited opportunities in understanding liveable and biodiverse cities. A review on urban biodiversity perception and valuation. *Glob. Environ. Chang.* **2016**, *39*, 220–233. [[CrossRef](#)]
30. Escobedo, F.; Nowak, D.; Wagner, J.; De la Maza, C.; Rodríguez, M.; Crane, D.; Hernández, J. La socioeconomía y gestión de los bosques públicos urbanos de Santiago de Chile. *Rev. Silvic. Urbana Ecol. Urbana* **2006**, *4*, 105–114.
31. Klein, R.W.; Koeser, A.K.; Hauer, R.J.; Hansen, G.; Escobedo, F.J. Risk assessment and risk perception of trees: A review of literature relating to arboriculture and urban forestry. *Arboric. Urban For.* **2019**, *45*, 23–33.
32. Dobbs, C.; Escobedo, F.J.; Zipperer, W.C. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landsc. Urban Plan.* **2011**, *99*, 196–206. [[CrossRef](#)]
33. Flores-Xolocotzi, R.; González-Guillén, M.J. Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos de algunas ciudades en el mundo. *Rev. Mex. Cienc. For.* **2010**, *1*, 17–24.
34. Szabo, M. *Árboles de Santo Domingo*; Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA); Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC); Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN): Santo Domingo, Dominican Republic, 2010.

VI. Discusión General

Esta investigación muestra que las especies de árboles introducidas en el Distrito Nacional son predominantes (86%), lo que coincide con lo expresado por Szabo (2010). En general, los territorios costeros han perdido hasta el 75% de la vegetación nativa por causa de la intervención antrópica (Espino et al, 2019). Sin embargo, los análisis de las 206 parcelas muestreadas en Santo Domingo permitieron evidenciar que 23 especies arbóreas son las de mayor importancia por el número de árboles, donde el porcentaje de especies nativas es 39%.

Es de resaltar que las especies con mayor número de individuos encontrados en Distrito Nacional son palmas, esta familia de plantas fue introducida en los años 30's después del paso del huracán San Zenón (Szabo, 2010). Las palmas son la tercera familia de plantas consideradas útiles para el hombre a nivel mundial, por su valor ecológico, económico y cultural, si bien la mayor explotación de estas plantas se realiza en zonas rurales o selváticas donde se han registrado hasta 90 usos de diversas especies de esta familia de plantas (Ledezma-Rentería, 2014), en las ciudades su uso es predominantemente paisajístico. Aunque la contribución ecosistémica de las palmas fue valorada en rangos bajos, la fauna urbana silvestre ha adaptado su dieta al consumo del fruto de coco (coco nucífera) así como al de guayaba (*Psidium guajava* L.), mangos (*Mangifera indica*) y aguacate (*Persea americana*), entre otros árboles (Aldana et al, 2017), que también figuran en este estudio. Los árboles no solo contribuyen como hábitat o alimento de mamíferos silvestres, también son clave para los insectos polinizadores (Dobbs et al, 2018).

Otro de los beneficios tangibles de los árboles es el área de cobertura de las hojas, es decir, la sombra que proporcionan. En esta investigación se muestra que la mayor cantidad de especies arbóreas proveen sombra media; esta característica puede promover superficies con temperaturas 11 a 25° C más frescas comparado con espacios que carecen de sombra dentro de la ciudad (Martínez-Soto et al, 2014, Silva et al, 2017, Enjuto, 2017). La reducción de la escorrentía superficial es otro servicio ecosistémico del arbolado, que reduce el riesgo de inundaciones y desborde de ríos en las ciudades (Arganaraz & Lornz, 2010).

En un esfuerzo por crear parámetros de sostenibilidad de las ciudades el Grupo de Expertos sobre Medio Ambiente Urbano de la Dirección General de Medio Ambiente de la Unión Europea crea un sistema de indicadores donde figura entre los primeros cinco

las zonas verdes públicas (Satterthwaite et al, 2007, Pimienta-Barros et al, 2014). Un parámetro cuantitativo sobre este aspecto es que las ciudades deberán tener 9 m²/habitante con el fin de alcanzar la sostenibilidad ambiental, pero también cumplir requerimientos de calidad paisajística, accesibilidad, inclusión y disponibilidad de espacios verdes y/o de recreación para la población (Wolfe et al, 2012, Nowak et al, 2014). En el Distrito Nacional, la ciudad ofrece 3.8 m²/habitante (ONU-Habitat, 2020).

La arborización del distrito fue desarrollada desde los años 30's hasta los 90's por iniciativa gubernamental (Zsabo, 2010). La expansión vertical de la ciudad en el polígono central del Distrito Nacional ha causado la pérdida de cobertura verde, para ser sustituida por infraestructura gris (ONU-Habitat, 2020). Como se ha evidenciado en esta investigación, la importancia del arbolado no radica únicamente en un índice de cobertura, influyen otros factores para alcanzar una verdadera sostenibilidad urbana. No obstante, el aumento y mantenimiento del arbolado urbano debe ser un proceso de co-responsabilidad entre las autoridades y los ciudadanos, puesto que, la valoración del arbolado por parte de la sociedad civil influye directamente en la conservación y aumento de la cobertura arbórea en los espacios privados (Martínez et al, 2016, Cerón-Palma et al, 2013).

El arbolado urbano puede considerarse un activo valioso como estrategia de sostenibilidad y resiliencia climática para las ciudades, contribuyen a la reducción de ruido, confort térmico, elevan la plusvalía de las zonas residenciales; no obstante, los beneficios más importantes son los servicios ecosistémicos que proveen desde la remoción de contaminantes de la atmósfera y secuestro de carbono hasta la provisión de alimentos para los seres vivos (Nowak et al, 2014, Fischer et al, 2016, Aldana et al, 2017, Dobbs et al, 2018, McPherson et al, 2018).

La remoción de contaminantes atmosféricos es uno de los principales servicios ecosistémicos que se registraron en los resultados de esta investigación, con las mediciones de i-Tree. Los árboles del Distrito Nacional, remueven aproximadamente 52.7 toneladas métricas anuales, lo que equivale a 1.4 millones de dólares anuales en beneficios para la ciudad con la conservación de 640,600 árboles. En Estados Unidos de América se registró que el arbolado del país remueve hasta 711,000 toneladas métricas de contaminación, equivalente a 3800 millones de USD por año (Nowak et al, 2009). McPherson et al, (2003), encontraron que los beneficios que aportan los árboles urbanos son mayores que los gastos de mantenimiento de éstos considerando una relación que oscila entre 1,37 y 3,09.

La acumulación de los gases contaminantes en la atmósfera (Gases de efecto invernadero –GEI-) favorece el cambio climático, pese a que a nivel político se han establecido acuerdos internacionales incentivados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la realidad es que los países que más contribuyen a la emisión de GEI se niegan

a ratificar acuerdos de reducción de emisiones, mientras que el esfuerzo de los países que se adhirieron al compromiso genera alrededor del 15% del total de emisiones contaminantes mundiales (Mora-Aguilera et al, 2016), por lo que el cambio climático continuará y debemos enfocarnos a promover resiliencia a través de estrategias locales (Baró et al, 2017).

El reto principal de las ciudades es la planeación de la “infraestructura verde” que debe considerar seleccionar especies adecuadas al ecosistema, espacio y tipo de mantenimiento; este diseño del componente arbóreo influenciará directamente la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos que se puedan proveer a la ciudad (ONU-Habitat, 2020, Rojas-Cortoreal et al, 2019, Fernández et al, 2011, Graca et al, 2018). Un ejemplo de avances en este sentido es el Plan Nacional de Descarbonización de Costa Rica que tiene previsto beneficios netos en la economía del país de hasta \$41,000 millones USD entre el periodo 2020 a 2050 invirtiendo en infraestructura verde del país tanto en áreas urbanas como rurales (Groves et al, 2020).

Si bien la información de esta investigación es un avance relevante en el análisis de los aportes ecosistémicos de los árboles en Distrito Nacional, aún falta mayor indagación en los impactos de estos árboles sobre la infraestructura de la ciudad, así como un análisis de la proyección sobre el manejo del arbolado de acuerdo a su condición física, entre otros temas que deben incluirse entre las acciones del municipio para mejorar la infraestructura verde del territorio (Szabo, 2010).

En lo que se refiere a la calidad de aire, luego del levantamiento de la data se realizó un análisis de componentes principales para la relación arbolado urbano y calidad de aire. Los resultados muestran niveles por debajo de los valores máximos anuales que establece la OMS (2005). Los niveles máximos anuales permitidos, según OMS para NO₂ es de 40 ug/m³, para SO₂ 20 ug/m³ y para PM₁₀ 20 ug/m³. Este organismo no cuenta con un parámetro de medición mensual por lo que, no es posible hacer una comparación directa. Sin embargo, considerando los valores de la OMS como un indicador para la estimación del nivel de contaminación en Santo Domingo, encontramos que UNIBE y Colegio Los Prados sobrepasan los niveles de Dióxido de Nitrógeno (NO₂), ningún punto de muestreo sobrepasa los niveles máximos permisibles de OMS para Dióxido de Azufre (SO₂), ni para Monóxido de Carbono (CO). Sin embargo, UNIBE muestra un valor alto en SO₂ comparado con los otros puntos muestrales.

En el caso de Material Particulado de 10 micras (PM₁₀), es el contaminante presente en 6 de los 27 puntos muestreados con niveles que sobrepasan los parámetros de la OMS (2005). Estos puntos son: UNIBE, MOVEARTE, Centro Educativo República Dominicana, Colegio Los Prados, Centro Educativo José Bordas Valdez, y Centro Educativo Carmen Pérez, lo que representa el 22% de los puntos de medición. En el

análisis de componentes principales se encuentra una asociación importante entre algunos puntos de muestreo con CO y PM₁₀; sin embargo, para contaminantes como NO₂ y SO₂ solo UNIBE se asocia significativamente.

Estudios que han realizado monitoreo puntual para la concentración de contaminantes criterio como PM₁₀, monóxido de carbono y otros gases de combustión como NO₂ han encontrado correlaciones importantes entre cobertura vegetal y calidad de aire (Rodríguez et al, 2021), en contraste con los resultados obtenidos en esta investigación. Existe una correlación estadística positiva entre los contaminantes SO₂ y NO₂ lo que sugiere puntos de la ciudad expuestos a los mismos tipos de emisores; pero no se identificó correlación entre la cobertura forestal y los contaminantes medidos.

Cabe resaltar, que aunque no existe correlación estadística entre la mayor parte de las variables contaminantes, se encontró que a mayor cobertura forestal, menor presencia de contaminantes y mayor presencia de CO; este último tiene una correlación negativa con NO₂, por lo que se asume que la cobertura forestal tiene influencia directa en la remoción de contaminantes, tal y como establecen las mediciones de iTree en las parcelas de medición. Esto es consistente con estudios que establecen que la eliminación de la contaminación y los efectos sobre la salud humana, son sustancialmente mayores en zonas rurales que urbanas, donde la cobertura vegetal es más abundante que la infraestructura gris (Nowak et al, 2014, Cushing, 2015, Kjellsrom et al, 2008, Friel et al, 2011). El tipo de vegetación y las especies también juegan un papel importante (Nowak et al, 2018, Guojian et al, 2021).

El aumento del parque vehicular en la República Dominicana es un factor importante a considerar, el crecimiento promedio anual porcentual del mismo es de 6.85%, por lo que para el 2025, se espera que el parque vehicular supere los 6 millones de unidades (ONU Ambiente, 2016b). Existen estudios que afirman que las emisiones del transporte son un factor importante de contaminación del aire en ciudades de todo el mundo, causando enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Friel et al, 2011, Heal et al., 2012, Guojian et al, 2021).

En un estudio realizado por ONU Ambiente (2017), en la ciudad de Santo Domingo, para establecer el impacto del parque vehicular en el material particulado, se encontró una correlación positiva estadísticamente significativa, entre la circulación vehicular y el material particulado PM_{2.5}. Igualmente, las mediciones de PM₁₀ en la única estación de monitoreo del Distrito Nacional, presenta resultados por encima de los parámetros de la OMS (2005), a partir del 2015 (ONU Ambiente, 2017).

Estos resultados son consistentes con el estudio con metadata de Karagulian et al. (2015), que analiza estudios en más de 500 ciudades a nivel mundial, midiendo diferentes contaminantes, el tránsito contribuye con el 25% de las concentraciones de PM₁₀. Los análisis de las tendencias de calidad de aire en la región de América Latina y El Caribe indican que se han producido fuertes incrementos en concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), sobrepasando los límites del planeta para el cambio climático, siendo el tránsito uno de los elementos de mayor contribución (ONU Ambiente, 2016b).

La ciudad de Santo Domingo no cuenta con una red de monitoreo permanente de la calidad del aire, ni estudios previos publicados y validados, que permita analizar y comparar los resultados de este estudio. La efectividad de la medición de los muestreadores pasivos y la relación de infraestructura verde y gris en los puntos de muestreo son factores a considerar para los resultados de esta investigación. Se han realizado estudios que relacionan la incidencia de algunos diseños de infraestructura verde sobre la calidad del aire (Nowak et al, 2014, Nowak et al, 2018, Koh et al, 2011, Jenninjs et al, 2016, Guojian, 2021). La calidad ambiental de la ciudad, por otro lado, implica trabajar de manera integral en la planificación urbana, considerando elementos como las fuentes de contaminación (Baró et al. 2017, Criollo et al, 2016, Wania et al, 2012), las regulaciones eficientes, infraestructura verde que contemple especies efectivas para la ciudad (Vos et al, 2013), su planificación adecuada y el aumento de la misma (Kjellstrom et al, 2008, TEEB, 2011).

En lo que se refiere a los índices estimados para cuatro zonas pobladas de la ciudad, en los que se relacionan características ambientales, sociales y la percepción de los habitantes, la discusión sobre cuál es el entorno social que beneficia la conservación ambiental dentro de las ciudades aún se encuentra vigente (Botzat et al. 2016), los resultados de este estudio contribuyen a dilucidar una respuesta.

Los índices elaborados en esta investigación evidenciaron que, en el contexto urbano de Santo Domingo, los cuatro zonas estudiadas muestran grandes diferencias en la dimensión socioeconómica, dejando claro que Gazcue y Ciudad Colonial, además de ser sitios históricamente representativos y relacionados con un contexto de prosperidad económica, así como atractivo turístico tienen una íntima relación con la presencia de arbolado en viviendas particulares principalmente y el cuidado de éste. Las clases sociales altas tienen mayor cobertura arbórea proveniente de propiedades privadas y en menor grado por espacios públicos (Escobedo et al. 2006, Martínez et al, 2016).

La percepción de la población sobre los beneficios (ambientales o sociales) o perjuicios (daños a la propiedad, interrumpir servicios públicos, amenaza a la seguridad

ciudadana) que pueden provocar los árboles son determinantes para su conservación y establecimiento (Klein et al 2019, Irrazabal, 2012). De acuerdo a lo encontrado en Gazcue relacionado con la percepción sobre el arbolado, los individuos prefieren tener árboles en su propiedad, por el servicio paisajístico que éstos brindan. La valoración no monetaria de los servicios ecosistémicos percibidos por la sociedad influye positivamente en la conservación del componente arbóreo (Dobbs et al. 2011).

En la zona de Ciudad Nueva y San Carlos, históricamente marginadas y de rápida urbanización y hacinamiento, se relacionaron con menor cobertura forestal en zonas privadas, pero una tendencia más marcada a zonas públicas arboladas y precariedad en el cuidado de éstas. Los parques o áreas verdes públicas presentan problemáticas sociales como inseguridad y déficit en su mantenimiento (Flores y González 2010). El estrato socioeconómico bajo, tiende a mantener espacios públicos de cobertura forestal, sin embargo, este componente es prescindible en las propiedades privadas por su alta contribución de servicios ecosistémicos (Escobedo et al. 2006); así mismo, estas zonas suelen tener un tiempo de urbanización más corto, lo que es un factor relevante en la pérdida de cobertura forestal (Dobbs et al. 2011).

El conflicto dicotómico entre ambiente-urbanización se origina principalmente por factores como la falta o mala planificación urbana, mala selección de especies arbóreas y falta de estudios o inadecuada aplicación de éstos en los espacios públicos (Fernández 2011; Rojas et al. 2019). Aunque discursivamente se han incluido los conceptos de sustentabilidad y gobernanza a los marcos de desarrollo urbano, la falta de capacidades técnico-administrativas de los gobiernos limitan la debida implementación, buena gestión, así como la planificación en las ciudades; lo anterior se suman a la falta de políticas públicas que contribuyan a mejorar los servicios ecosistémicos en el contexto urbano, resiliencia y mitigación de los efectos de cambio climático (Flores 2012; Baró et al. 2014).

Se han documentado las principales problemáticas de las ciudades a lo largo del tiempo y cómo los árboles urbanos pueden ser una estrategia de adaptación y mitigación ante el cambio climático; algunos beneficios que proveen son: aumentar de la capacidad de infiltración de los suelos, disminuir la escorrentía de aguas pluviales, conservación, restauración y aumento de flora y fauna, disminución de temperaturas en el casco urbano (diferenciado de acuerdo a la presencia de cobertura arbórea), mejorar la calidad del aire y agua así también, el aumento del bienestar socioemocional de la población (Gregory et al. 2006; Grande et al. 2012; Hedblom et al. 2014; Hernández 2016; Leal et al. 2018).

El arbolado urbano es sin duda un componente indispensable para la sostenibilidad de las ciudades (Del Caz 2017) y el bienestar socioambiental y emocional; aunque este último es rara vez considerado o valorizado (Grande 2012, Martínez-Soto, 2016). No obstante, el diseño del arreglo espacial y la estructura del componente arbóreo en la ciudad es variable; tiene influencia directa en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos que puedan proveer a la zona urbana (Graca et al. 2018).

Aunque se han realizado diversos estudios plausibles para la evaluación y monitoreo de los beneficios y servicios ecosistémicos provistos por el arbolado urbano, aún falta establecer un marco de indicadores específicos, entre los cuales, también debe figurar la inclusión de los diferentes actores sociales, los cuales pueden cooperar en la planeación, mantenimiento y monitoreo del recurso arbóreo (Garzón et al. 2009; Gómez-Baggethun 2013, Aldana et al, 2017).

Si bien es necesario replantear el modelo de expansión periférica de las ciudades (Velásquez y Barroso 2008), la verticalización del desarrollo urbano también presenta graves consecuencias en el aspecto de calidad de vida en los ámbitos social, emocional y ambiental (Escobedo et al. 2006, Escobedo et al, 2008); por lo que el reto de sustentabilidad urbana continúa.

VII. Conclusiones

El Distrito Nacional de Santo Domingo, es una ciudad que mantiene una cobertura forestal media, con respecto a la población que la habita. Más del 80% de las especies que componen la infraestructura verde de la ciudad son introducidas, por lo que tiene impactos directos en la calidad de vida de la fauna silvestre y en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos que proveen.

Si bien la infraestructura verde muestra un gran aporte económico con respecto a los costos evitados, aún es necesaria mayor investigación para mejorar la planeación y diseño de los espacios verdes, las especies arbóreas a utilizar y el mantenimiento que éstos necesitan.

Las políticas públicas sobre la infraestructura verde deberán integrar indicadores claros que prioricen no solo el aumento y conservación de la cobertura forestal, tendrán que considerar metas de resiliencia urbana a través del uso de especies arbóreas adecuadas al ecosistema y la realidad local.

En lo que se refiere a la calidad del aire, se encontraron cinco puntos calientes en el Distrito Nacional, a los que se le debe prestar especial atención: UNIBE, MOVEARTE, Colegio Los Prados, centro educativo Santo Domingo y centro educativo José Bordas Valdez. Si bien no existe una correlación estadística entre cobertura arbórea y los contaminantes medidos; se observa que a mayor cobertura forestal mayor CO y menor presencia de partículas y elementos contaminantes, por lo que se sugiere tener un sistema de monitoreo permanente para poder establecer relaciones contundentes entre estos elementos con el objetivo de obtener indicadores adecuados y comparables con la normativa de la OMS que contribuyan a la toma de decisiones en torno a la planificación urbana así como al diseño de políticas públicas adecuadas.

Es necesario también, considerar acciones con respecto a otros elementos como el transporte, los generadores de electricidad, la industria, así como el diseño y manejo de la infraestructura verde urbana, los cuales se sabe tienen alta contribución a la contaminación atmosférica.

La planificación urbana y la gestión territorial de las ciudades, debe desarrollar espacios verdes que tomen en cuenta especies viables y adecuadas para las ciudades de acuerdo

a sus características ecosistémicas, de biodiversidad de flora y fauna. Es importante la conservación de las zonas verdes periféricas de la ciudad y ampliar la infraestructura verde en los centros de zonas urbanas.

El cambio climático es un hecho que difícilmente podrá evitarse sin la contribución de todos los países a nivel mundial, principalmente los que mayor aporte tienen a la emisión de GEI; por lo que, las estrategias de resiliencia local son hasta ahora, la alternativa más factible para hacer frente al cambio climático.

Este estudio mostró que factores como la estabilidad laboral, ingresos económicos medio-altos y tenencia de propiedad son factores íntimamente relacionados con el establecimiento y calidad del arbolado urbano, es decir, la sustentabilidad de cobertura arbórea.

Un aspecto relevante que se evidenció en los resultados de este estudio es que la plusvalía del territorio sea en el ámbito turístico o socioeconómico de la población que lo habita, tienen una estrecha relación con una mayor atención en la planeación urbana, privilegiando la conservación y armonía paisajística que el componente arbóreo puede otorgar.

Si bien aún falta un largo camino que recorrer en las investigaciones sobre la planificación arbórea de las ciudades, tres puntos relevantes a considerar en relación a los beneficios y servicios ecosistémicos que éstos proveen son: las especies arbóreas, diseño y estructura de los arreglos espaciales.

Por otro lado, la planificación debe ser respaldada por políticas públicas competentes y afines a los retos de sustentabilidad territorial, además establecer criterios de corresponsabilidad social, donde el sector gubernamental tendrá que fortalecer sus capacidades de planeación, gestión y facilitación de procesos con respecto a la incorporación y monitoreo del arbolado urbano encaminado a proveer resiliencia y mitigación de los impactos de cambio climático.

VIII. Referencias

- ADN- Ayuntamiento del Distrito Nacional. Diagnostico Territorial del Distrito Nacional. Programa de Planificación para la Adaptación Climática. 2017. USAID-ICMA-FEDOMU-ADN. Santo Domingo, República Dominicana. p. 205
- Akbari, H., 2002. Shade trees reduce building energy use and CO2 emission from power plants. *Environmental Pollution* 116, S119-S126.
- Aldana-Domínguez, J., Montes, C., Martínez, M., Medina, N., Hahn, J., & Duque, M. (2017). Biodiversity and Ecosystem Services Knowledge in the Colombian Caribbean. *Tropical Conservation Science*, 10, 194008291771422. <https://doi.org/10.1177/1940082917714229>
- Armson, D., Rohman, A.M., Ernos, R.A., 2013. A comparison of shading effectiveness of five different street trees species in Manchester, UK. *Arboriculture & Urban Forestry* 39, 157-164.
- Argañaraz, J. P., & Lorenz, G. (2010). Contribución de las áreas verdes urbanas a la regulación del balance de agua en Santiago del Estero, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 31(3), 231–242. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000300007>
- Atar, D. Aportes metodológicos para el estudio de la percepción social de la ciencia y tecnología. Work paper N°251. Departamento de Investigaciones. Universidad de Belgrado, 2010, p. 48
- Bahar, V. Un estudio del impacto de la UNESCO y el Banco interamericano de desarrollo en los procesos de revitalización de los centros históricos latinoamericanos y caribeños: el caso de la zona colonial de Santo Domingo (República Dominicana). *Journals OpenEdition*, 2018, 39-40 <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.11388>
- Baró, F; Chaparro, L; Gómez, E; Langemeyer, J; Nowak, D. y Terradas, J. 2014. Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of 45 Urban Forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, 43(4): 466-479. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Baró, F., y E. Gómez-Baggethun (2017): «Assessing the potential of regulating ecosystem services as nature-based solutions in urban areas», en N. Kabisch, A. Bonn, H. Korn y J. Stadler (eds.): *Nature-based solutions to climate change in urban areas. Linkages between science, policy and practice*, Cham (Suiza): Springer.

- Baumgardner, D., Varela, S., Escobedo, F.J., Chacalo, A., Ochoa, C., 2012. The role of a peri-urban forest on air quality improvement in the Mexico City megalopolis. *Environmental pollution* 163, 174-183.
- Benedict, M.A., McMahon, E.T., 2006. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. *Urban Land* (vol. June). ISBN-10: 1559635584, p. 1559635320.
- Bonilla-Duarte, S.; Vargas-de la Mora, A.-L.; Gómez-Valenzuela, V.; García-García, A. 2021. An approach to the assessment of urban forests' ecosystem services in Santo Domingo, Dominican Republic. *Sustainability* 1322378
- Botzat, A; Fischer, L; Kowarik, I. 2016. Unexploited opportunities in understanding liveable and biodiverse cities. A review on urban biodiversity perception and valuation. *Global Environmental Change*. 39: 220-233. Consultado el 23 de agosto de 2019. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300528>
- Bowen, K.J., Lynch, Y., 2017. The public health benefits of green infrastructure: the potential of economic framing for enhanced decision-making. *Curr. Opin. Environ Sustain.* 25, 90–95.
- Cadenasso, M.L., Steward, T.A., Kirsten, S., 2007. Spatial heterogeneity in urban ecosystems: reconceptualizing land cover and a framework classification. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 80-88.
- Calaza Martínez, P. (2015). Trees in urban ecosystem: connection between ¿new? urbanism, society and rational risk management. *Ingeniería y Universidad*, 20(1), 155–173. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu20-1.tuec>
- Cerón-Palma, I., Sanyé-Mengual, E., Oliver-Solà, J., Montero, J.-I., Ponce-Caballero, C., & Rieradevall, J. (2013). Towards a green sustainable strategy for social neighbourhoods in Latin America: Case from social housing in Merida, Yucatan, Mexico. *Habitat International*, 38, 47–56. <https://doi.org/10.1016/J.HABITATINT.2012.09.008>
- Criollo C., Assar C, R., Cáceres L, D., & Préndez, B.M. (2016). Arbolado urbano, calidad del aire y afecciones respiratorias en seis comunas de la provincia de Santiago, Chile. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 32(2), 77–86. <https://doi.org/10.4067/S0717-73482016000200003>
- Cursach, J. A., Rau, J. R., Tobar, C. N., & Ojeda, J. A. (2012). Estado actual del desarrollo de la ecología urbana en grandes ciudades del sur de Chile.

Revista de Geografía Norte Grande, (52), 57–70. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022012000200004>

- Davies, Z.G., Edmondson, J.L., Heinemeyer, A., Leake, J.R., Gaston, K.J., 2011. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology* 48, 1125-1134.
- Del Caz, M. 2017. El papel de la vegetación en la mejora del entorno de los edificios en los procesos de regeneración urbana. *Urbano*, 20(35): 102 – 113. Consultado 8 de jul. 2019. Disponible en <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/2690>
- de Groot, R.S.; Alkemade, R.; Braat, L.; Hein, L.; Willemsen, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, (7), 260-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.200910.006>
- Demuzere, M., K. Orru, O. Heidrich, E. Olazabal, D. Geneletti, H. Orru, A.G. Bhawe, N. Mittal, E. Feliu y M. Faehnle. 2014 : «Mitigating and adapting to climate change: multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure», *Journal of Environmental Management*, 146.
- Dobbs, C., Hernández-Moreno, Á., Reyes-Paecke, S., & Miranda, M. D. (2018). Exploring temporal dynamics of urban ecosystem services in Latin America: The case of Bogota (Colombia) and Santiago (Chile). *Ecological Indicators*, 85, 1068–1080. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2017.11.062>
- Dobbs, C., Escobedo, F.J., Zipperer, W.C., 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning* 99, 196-206.
- Escobedo, F.J., Nowak, D.J., 2009. Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning* 90, 102-110.
- Escobedo, F.J., Wagner, J.E., Nowak, D.J., De la Maza, C.L., Rodriguez, M., Crane, D.E., 2008. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of environmental management* 86, 148-157.
- Enjuto, M. R. del C. (2017). El papel de la vegetación en la mejora del entorno de los edificios en los procesos de regeneración urbana. *Urbano*, 20(35), 102–113. Retrieved from <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/2690>
- Escobedo, F. J., Wagner, J. E., Nowak, D. J., la Maza, C. L., Rodriguez, M., & Crane, D. E. (2008). Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's

- policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of Environmental Management*, 86(1), 148–157.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.029>
- Escobedo, F., & Chacalo, A. (2008). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 33(1), 29–33. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/339/33933105.pdf>
- Escobedo, F.J.; Nowak, D.J. Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 90, 102-110.
- Espino, S.M.; Horta, G.O.; Merino, R.L. La Zona costera de la Escuela Latinoamericana de Medicina, acciones ante el cambio climático. *Panorama, Cuba y Salud*, 2019, 14(1):93-96 ISSN:1991-2684
- Escobedo, F. Nowak, D. Wagner, J. De la Maza, C. Rodríguez, M. Crane, D. Hernández, J. 2006. La socioeconomía y gestión de los bosques públicos urbanos de Santiago de Chile. *Revista Silvicultura urbana y ecologización urbana*, 4: 105-114. Consultado 4 jun. 2019. Disponible <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Escobedo%20et%20al%202006.pdf>
- Escobedo, Francisco y Chacalo, Alicia. 2008. Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 33(1):29-33
<https://www.redalyc.org/pdf/339/33933105.pdf>
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. Árboles en la ciudad: reconocimiento a los pioneros de la silvicultura urbana sostenible <http://www.fao.org/news/story/es/item/1259767/icode/> (accessed on 25 June 2021)
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016. Guidelines on urban and periurban forestry, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro & Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178. Rome. p. 172. Available at: <http://www.fao.org/3/i6210e/i6210e.pdf> (accessed on 29 June 2021)
- Fernández, M. 2011. La ciudad y los árboles: Conflicto entre el arbolado urbano y la infraestructura. *AyF Agronomía y Forestal*. 43. 32. Consultado 14 de julio de 2020. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/278730673>

- Flores, R; González, M. 2010. Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos de algunas ciudades en el mundo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1): 17-24. México.
- Flores, R. 2012. Incorporando desarrollo sustentable y gobernanza a la gestión y planificación de áreas verdes urbanas. *Frontera norte*, 24(48): 165-190. Recuperado en 14 de julio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722012000200007&lng=es&tlng=es
- Fisher, B.; Turner, R.K. Ecosystem services: classification for valuation. *Biological Conservation*, 2008, (141), 1167-1169
- Fisher, B.; Turner, R.K.; Morling, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 2009, (68), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon/2008.09.014>
- Fischer, L. K., Rodorff, V., von der Lippe, M., & Kowarik, I. (2016). Drivers of biodiversity patterns in parks of a growing South American megacity. *Urban Ecosystems*, 19(3), 1231–1249. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0537-1>
- Friel, S.; Akerman, M.; Hancock, T. Kumaresan, J.; Marmot, M.; Melin, T.; Vlahov, D. Addressing the social and environmental determinants of urban health equity: Evidence for action and a research agenda. *J. Urban Health* 2011, 88, 860–874.
- Garzón, B; Brañes, N; Abella, M; & Auad, A. (2009). Vegetación urbana y Hábitat Popular: el caso de San Miguel de Tucumán. *Revista INVI*, 19(49). Argentina.
- Gómez-Baggethun, E; Barton, D. N. 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning, *Ecological Economics*. 86:235-245. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- Graça, M.; Alves, P.; Gonçalves, J.; Nowak, D.J.; Hoehn, R.; Farinha-Marques, P.; Cunha, M. Evaluación de cómo los tipos de espacios verdes afectan la entrega de servicios ecosistémicos en Oporto, Portugal, *Landsc. Urban Plan*, 2018, 170, 195-208. https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2018/nrs_2018_graca_001.pdf
- Guojian Chen, Lin Lin, Yang Hu, Yuxin Zhang, Keming Ma. (2021). Net particulate matter removal ability and efficiency of ten plant species in Beijing, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 63, 2021
- Graça, M. Alves, P. Goncalves, J. Nowak, D. Hoehn, R. Farinha, P. Cunha, M. 2018. Evaluación de cómo los tipos de espacios verdes afectan la entrega

- de servicios ecosistémicos en Oporto, Portugal, 170. 195-208 p. Consultado 4 jun. 2019. Disponible https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2018/nrs_2018_graca_001.pdf
- Grande, E; Ayuga, E. y Contato, C. 2012. Methods of Tree Appraisal: A Review of Their Features and Application Possibilities. *Arboriculture & Urban Forestry* 2012. 38(4): 130-140
- Gregory, J; Dukes, M; Jones, P; y Miller, G. 2006. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61: 117–124
- Groves, G.D.; Syme, J.; Molina-Pérez, E.; Calvo, C.; Gallardo, V.L.; Godinez-Zamora, G.; Quirós-Tortós, J.; De León, F.; Meza, M.A.; Saavedra, G.V.; Vogt-Schilb, A. Costos y beneficios de la descarbonización de la economía de Costa Rica. *Valuación del Plan Nacional de descarbonización bajo incertidumbre*. Banco Interamericano de Desarrollo, 2020, p. 28
- Hedblom, M; Heyman, E; Antonsson, H; Gunnarsson, B. 2014. Bird song diversity influences young people's appreciation of urban landscapes. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13(3), 469-474pp. Consultado el 23 de agosto de 2019. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S161886671400034X>
- Hernández, E. 2016. Estimación de la temperatura superficial en San Carlos, Cojedes, Venezuela empleando sensores remotos. *Multiciencias, Universidad del Zulia, Venezuela*. 16(4), 8
- ICMA. Diagnóstico territorial del Distrito Nacional. Programa de planificación para la adaptación climática de USAID/INTEC. 2017. Santo Domingo, República Dominicana. p. 225.
- INTEC- Instituto Tecnológico de Santo Domingo. *Clima Futuro en la República Dominicana*. Editora Buho, S.R.L. 2018. Santo Domingo, República Dominicana. p. 104
- Irarrázaval, F. (2012). El imaginario “verde” y el verde urbano como instrumento de consumo inmobiliario: configurando las condiciones ambientales del área metropolitana de Santiago. *Revista INVI*, 27(75), 73–103. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582012000200003>
- Jennings, V.; Larson, L. Yun, J. 2016. Advancing Sustainability through Urban Green Space: Cultural Ecosystem Services, Equity, and Social Determinants of Health. *International Journal of Environmental and Public Health* 2016. 13, 196.

- Jim, C.Y., Chen, W.Y., 2008. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of environmental management* 88, 665-676.
- Karangulian Karagulian, F., Belis, C.A., Dora, C.F.C., Prüss-Ustün, A.M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., Amann, M., 2015. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): a systematic review of local source contributions at global level. *Atmos. Environ.* 120,475–483.
- Kjellstrom, T.; Mercado, S. Towards action on social determinants for health equity in urban settings. *Environ. Urban* 2008, 20, 551–574.
- Koh, H.K.; Piotrowski, J.J.; Kumanyika, S.; Fielding, J.E. Healthy People a 2020 vision for the social determinants approach. *Health Educ. Behav.* 2011, 38, 551–557.
- Konijnendijk, C.C., Schipperijn, J., Sadio, S., Randrup, T., 2004. Urban and Peri-urban forestry in a development context-strategy and implementation. *Journal of Arboriculture* 30, 269-275.
- Klein, R. Koeser, A. Hauer, R. Hansen, G. Ecobedo, F. 2019. Risk assessment and risk perception of trees: A review of literature relating to arboriculture and urban forestry. *Arboriculture & urban forestry.* 45 (1), 23-33
- Kumar, P.; Druckman, A.; Gallagher, J.; Gatersleben, B.; Allison, S.; Eisenman, T.; Uy,H.; Hama, S.; Tiwari, A.; Sharma, A.; Abhijith, A.; Adlakha, D.; McNabola,A.; Astell-Burt, T.; Feng, X.; Skeldon, A.; de Lusignan, S.; Morawska, L. 2019. The Nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environment International* 133 (2019) 105181. Elsevier.
- Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., Baldé, A.B., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J.I., Breyse, P.N., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A.M., Cropper, M.L., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., Hanrahan, D., Hunter, D., Khare, M., Krupnick, A., Lanphear, B., Lohani, B., Martin, K., Mathiasen, K.V., McTeer, M.A., Murray, C.J.L., Ndahimananjara, J.D., Perera, F., Potočnik, J., Preker, A.S., Ramesh, J., Rockström, J., Salinas, C., Samson, L.D., Sandilya, K., Sly, P.D., Smith, K.R., Steiner, A., Stewart, R.B., Suk, W.A., van Schayck, O.C.P., Yadama, G.N., Yumkella, K., Zhong, M., 2018. The lancet commission on pollution and health. *Lancet* 391, 462–512.
- Leal, C; Leal, N; Alanís, E; Pequeño, M.A.; Mora-Olivo, A.; Buendía, E. Structure, composition and diversity of the urban forest of Linares, Nuevo León. *Rev*

- Mex Cienc Forest*, 2018, 9(48).
<https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Ledezma-Rentería, E.D.; Galeano, G. Usos de las palmas en las tierras bajas del pacífico colombiano. *Caldasia*, 2014, 36(1):71-84
- Livesley, S.J.; Baudinette, B.; Glover, D. Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees – The impacts of canopy density and bark type. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, 13, 192-197.
- Livesley, S.J.; McPherson, E.G.; Calafapietra, C. The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *J Environ Qual*, 2016, 45, 119-124.
- Martínez Soto, J., Córdova y Vázquez, A., Montero-López Lena, M., Martínez Soto, J., Córdova y Vázquez, A., & Montero-López Lena, M. (2016). Impacto de la naturaleza urbana próxima en la percepción de seguridad exterior: evidencias de la zona metropolitana del Valle de México. *Acta Universitaria*, 26(3), 68–76. <https://doi.org/10.15174/au.2016.964>
- Martínez-Soto, J. ;, Montero-López Lena, M. ;, & Córdova y Vázquez, A. (2014). Restauración psicológica y naturaleza urbana: algunas implicaciones para la salud mental. *Salud Mental*, 37(3), 217–224. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252014000300005
- Martínez, D. Gazcue, distrito arquitectónico: su gestión como patrimonio urbano. *CLÍO*, 2019, 88(197), 93-107 <https://catalogo.academiadominicanahistoria.org.do/opac-tmpl/files/ppcodice/Clio-2019-197-093-107.pdf>
- McPherson, E.G.; Berry, A.M.; van Doorn, N.S. Performance testing to identify climate-ready trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 29, 28-39.
- McPherson, G.E. A benefit-cost analysis of ten street tree species in Modesto, California, U.S. *Journal of Arboriculture*, 2003, 29, 1-8.
- Mencia, B.D. Las ardillas mis vecinas, ¿cómo se han adaptado a las ciudades?. *Desde el Herbario CICY*, 2021, 13:91-95, ISSN:2395-8790
- Molina-Holgado, P., & Berrocal Menárguez, A. B. (2007). Urban trees, per capita rent, price of established in Madrid within inner boundary of the M-30 motorway. *Estudios Geográficos*, LXVIII(263), 575–593. <https://doi.org/10.3989/egeogr.2007.i263.69>
- Moreno, G., Martínez Carretero, E., Duplancic, A., & Alcalá, J. (2016). Frecuencia de diferentes tamaños de material particulado en hojas de *Morus alba* en el

- arbolado urbano de Mendoza (Argentina). *Multequina : Latin American Journal of Natural Resources*, 25(1), 5–12. Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292016000100001
- Mora-Aguilera, G.; Acevedo-Sánchez, G.; Calderón-Estrada, G.; Flores-Sánchez, J.; Domínguez-Monge, S.; Baker, P.; González-Gómez, R. Epidemiological considerations of climate change on tropical crops health. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 2016, 32(2):147-167
- Morgenroth, J., Östberg, J., Konijnendijk van den Bosch, C., Nielsen, A.B., Hauer, R., Sjöman, H., Chen, W., Jansson, M., 2016. Urban tree diversity – Taking stock and looking ahead. *Urban Forestry & Urban Greening* 15, 1-5.
- Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S., Pretzsch, H., 2015. Structure and ecosystem services of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening* 14, 1110-1121.
- Nidzgorski, D.A., Hobbie, S.E., 2016. Urban trees reduce nutrient leaching to groundwater. *Ecological Applications* 26, 1566–1580.
- Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M., Williams, N.S.G., 2015. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 134, 127-138.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S.; Doyle, M., McGovern, M., Pasher, Jon (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*. 29 (2018) 40-48.
- Nowak, D.J., Bodine, A.R., Hoehn, R.E., Low, S.C., Roman, L.A., Henning, J.G., Stephan, E., Taggart, T., Endreny, T., 2016. The Urban Forest of Philadelphia. Resource Bulletin NRS-106. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, PA (80 p.).
- Nowak, D.J.; Hirabayashi, S.; Bodine, A.; Greenfiel, E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 2014, 193, 119-129.
- Nowak, D.J., Cumming, A.B., Twardus, D, Joehn, R.E.; Oswalt, C.M.; Brandeis, T.J., *Bosques Urbanos de Tennessee*, 2009. Gen.Tech. Rep.SRS-149. Asheville, NC. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de EE.UU., Estacion de Investigación del Sur. P.52

- Nowak, D.J., Bodine, A.R., Hoehn, R.E., Low, S.C., Roman, L.A., Henning, J.G., Stephan, E., Taggart, T., Endreny, T., 2016. The Urban Forest of Philadelphia. Resource Bulletin NRS-106. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, PA (80 p.).
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Ellis, E., Greenfield, E.J., 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environ. Pollut.* 193, 119–129. y El Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ciudad de Panamá, Panamá. 252 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) 2005. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=5B7F54BDFD72596AF51A6F676471875F?sequence=1
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2015): World urbanization prospects: the 2014 revision, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/366).
- ONE—Oficina Nacional de Estadísticas. Perfiles Sociodemográficos Provinciales Región Ozama. 2010. Available online: <https://web.one.gob.do/media/y2siyjfiv/investigaci%C3%B3nperfilesocio-demogr%C3%A1ficosprovincialesregi%C3%B3nozama2010.pdf> (accessed on 7 July 2021).
- ONU-Ambiente 2017. Campaña de monitoreo de calidad del aire enfocada en el impacto del transporte en Santo Domingo, República Dominicana. Proyecto: Combustibles y Vehículos más Limpios y Eficientes. Ministerio de Energía y Minas. Santo Domingo, República Dominicana. 17p.
- ONU-Ambiente 2016b. Combustibles y vehículos más limpios y eficientes en República Dominicana: Establecimiento de línea base para la economía de combustible de los vehículos ligeros 2005 – 2015. Proyecto: Combustibles y Vehículos más Limpios y Eficientes. Ministerio de Energía y Minas. Santo Domingo, República Dominicana. 58p.
- ONU-Habitat- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Distrito Nacional-Santo Domingo, República Dominicana, Evaluación del sistema de espacios públicos. 2020, p. 40
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2020. Árboles en la ciudad: reconocimiento a los pioneros de la

- silvicultura urbana sostenible, disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/1259767/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2021. Objetivos de Desarrollo Sostenible, disponible en <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/goal-11/es/>
- Östberg, J.; Sandberg, K.; Wiström, B. Rating of parameters used to assess tree vitality by urban foresters and ecologists in Sweden, using the Delphi method. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 62(2021) 127134, 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127134>
- Pearson, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Phil. Mag.* **2010**, 2, 559–572.
- Pimienta-Barrios E, Robles-Murguía C, Carvajal S, Muñoz-Urias A, Martínez-Chávez C, León-Santos S (2014) Servicios ambientales de la vegetación en ecosistemas urbanos en el contexto del cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales* 5(22): 28-39.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat) 2020. Distrito Nacional, Santo Domingo: Evaluación del Sistema de Espacios Públicos. Disponible en: www.unhabitat.org
- Rodriguez, S.; Mena, A.; Garzón, D. Ramírez, F.; Chuquer, D. (2021) Muertes evitables asociadas a la implementación de infraestructura verde urbana en Quito. *InfoAnalítica* 9(1) 67-88. DOI: 10.26807/ia.v9i1.173
- Satterthwaite, D.; Saleemul, H.; Pelling, M; Reid, H; Lankao-Romero, P. Adapting to Climate Change in Urban Areas; The possibilities and constraints in low- and middleincome nations, IIED Working Paper, IIED, London, 2007, p. 107 <https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/10549IIED.pdf>
- Schnell, S.; Altrell, D.; Stahl, G.; Kleinn, C. The contribution of trees outside forests to national tree biomass and carbon stocks a comparative study across three continents. *Environ Monit Assess*, 2015, 187, 4197.
- Silva, K. B. ; Rego, N. A. C., Góes, K. O., Santos, G. P., & Costa, P. A. D. (2017). Ilhas de calor em vitória da conquista – ba: identificação e proposta para criação de áreas verdes. *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringa (PR)*, 10(3), 825–847. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n3p825-847>

- Sanusi, R., Johnstone, D., May, P., Livesley, S.J., 2016. Street Orientation and Side of the Street Greatly Influence the Microclimatic Benefits Street Trees Can Provide in Summer. *J Environ Qual* 45, 167-174.
- Schnell, S., Altrell, D., Stahl, G., Kleinn, C., 2015. The contribution of trees outside forests to national tree biomass and carbon stocks--a comparative study across three continents. *Environ Monit Assess* 187, 4197.
- Simpson, J.R., 1998. Urban forest impacts on regional cooling and heating energy use: Sacramento country case study. *Journal of Arboriculture* 24, 201-214.
- Steenberg, J.W., Millward, A.A., Nowak, D.J., Robinson, P.J., Ellis, A., 2017. Forecasting Urban Forest Ecosystem Structure, Function, and Vulnerability. *Environ Manage* 59, 373-392.
- Szota, C., Coutts, A.M., Thom, J.K., Virahsawmy, H.K., Fletcher, T.D., Livesley, S.J., 2019. Street tree stormwater control measures can reduce runoff but may not benefit established trees. *Landscape and Urban Planning* 182, 144-155.
- Szabo, M. Árboles de Santo Domingo. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), 2010. Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN). República Dominicana. p. 93
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) (2011): TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management, disponible en teebweb.org.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., James, P., 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning* 81, 167-178.
- USFS- United States Forest Service. i-Tree Guide to Assessing Urban Forest, 2017. https://www.itreetools.org/documents/521/Guide_to_Assessing_Urban_Forests_nrs_inf_24_13.pdf
- Velásquez Marea, Carmen y Barroso Villalobos, Helen. 2008. Develando un modelo urbano a través de los procesos de planeamiento de la ciudad de Barcelona-España. *Revista Geográfica Venezolana*, 49(1):93-112 (<https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730375007.pdf>)
- VLSAC, 2011. Victorian Local Sustainability Accord: Urban Forestry Background Issue Paper. In: Environment, D.o.S.a. (Ed.). Victorian Government, Melbourne, Victoria, Australia, p. 22.

- Vos, P.E.J., Maiheu, B., Vankerkom, J., Janssen, S., 2013. Improving local air quality in cities: to tree or not to tree? *Environ. Pollut.* 183, 113–122.
- Wania, A., Bruse, M., Blond, N., Weber, C., 2012. Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *J. Environ. Manage.* 94, 91–101.
- Watts, G. Tranquillity Trails for urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 29, 154-161.
- WHO, 2017 World health statistics 2017: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Available in: https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2017/EN_WHS2017_TOC.pdf
- Wolfe, M.; Mennis, J. Does vegetation encourage or suppress urban crime? Evidence from Philadelphia, PA. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 108, 112-122.
- Zucchetti, A, Hartmann, N, Alcantara, T, Gonzales, P, Cánepa, M, Gutierrez, C. (2020). Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y ClikHub.