

Sistema de monitoreo de la
**biodiversidad y los servicios
de los ecosistemas**
en el cantón de Curridabat



Créditos

Publicado por:

Municipalidad de Curridabat

Elaboración técnica:

Lenin Corrales

Emily Fung

Unidad de Modelado Ecosistémico

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

Fotografías:

Municipalidad Curridabat

Revisión técnica:

Irene García

Alejandro Muñoz

José Manuel Retana

Municipalidad de Curridabat

Esta publicación puede citarse sin previa autorización con la condición que se mencione la fuente.

Citar como:

Municipalidad de Curridabat .2019. Sistema de monitoreo de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas en el cantón de Curridabat. Curridabat-Costa Rica

Esta investigación fue desarrollada por la Unidad de Modelado Ecosistémico del Programa de Bosques, Biodiversidad y Cambio Climático del CATIE a partir del análisis de las bases de datos facilitadas por el Centro de Inteligencia Territorial de la Municipalidad de Curridabat a través de la Gerencia de Despacho. La Unidad de Modelado está enfocada en la investigación y la asistencia técnica sobre el efecto del cambio global en los ecosistemas, servicios ecosistémicos e implicaciones para la sociedad latinoamericana, mediante el desarrollo y la aplicación de herramientas de modelado biofísico y socioeconómico dirigidas a apoyar la planificación de toma de decisiones y la gestión de proyectos para mitigación y adaptación a la variabilidad y el cambio climático.





Índice

Glosario	4
Introducción	5
Servicios Ecosistémicos Urbanos en el Cantón de Curridabat	8
Marco Conceptual del Sistema de Monitoreo	15
Protocolo de Indicadores	19
Indicadores Servicios de Provisión	19
Indicadores de Servicios de Regulación	26
Indicadores de Servicios Culturales	49
Indicadores de Servicios de Soporte	56
Requisitos y Gobernanza	72
Referencias generales	76

Glosario

Vegetación urbana: La vegetación urbana hace referencia a todo tipo de plantas que crecen en entornos urbanos, como bosques, parques, bordes de caminos y áreas de terrenos baldíos.

Ciudades biofílicas: Ciudades biofílicas o urbanismo biofílico, es un concepto útil que integra la naturaleza, la biología humana, la planificación y el diseño para ayudar a crear entornos urbanos más sostenibles que reduzcan el estrés y mejoren el bienestar físico en un esfuerzo por crear ciudades más resilientes y sostenibles.

Infraestructura verde: La infraestructura verde puede definirse, en términos generales, como una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos. Tiene como objetivo mejorar la capacidad de la naturaleza para facilitar bienes y servicios ecosistémicos múltiples y valiosos, tales como agua o aire limpios.

Espacio verde urbano: Espacios abiertos en áreas urbanas, tanto públicos como privados, cubiertos de vegetación que están disponibles para los usuarios. Incluyen parques, cementerios, jardines y patios, huertos familiares, bosques urbanos, arboles, tejados y paredes verdes.

Áreas naturales: Se definen como todas las áreas que son naturales y no son muy perturbadas o completamente artificiales. Algunos ejemplos

de áreas naturales son bosques, manglares, pantanos de agua dulce, pastizales naturales, arroyos, lagos, etc. Los parques, campos de golf, plantaciones en las carreteras no se consideran naturales. Sin embargo, los ecosistemas naturales dentro de los parques donde las especies nativas son dominantes pueden incluirse en la definición. La definición también toma en consideración los “ecosistemas restaurados” y las “áreas naturalizadas” para reconocer los esfuerzos realizados por las ciudades para aumentar las áreas naturales de su ciudad.

Isla de calor: es un desequilibrio de temperatura entre las zonas urbanas y rurales, problemático porque el calor causa efectos dañinos sobre la salud humana, en la esperanza de vida de los materiales y en el clima local. Varios estudios han demostrado el papel fundamental que desempeña la vegetación en la regulación de este fenómeno.

Restauración de suelos: La restauración del suelo es el proceso de mejorar la estructura, la vida microbiana, la densidad de nutrientes y los niveles generales de carbono del suelo.

Degradación de la tierra: La degradación de la tierra se define como la disminución temporal o permanente de la capacidad productiva de la tierra y la disminución del potencial productivo, incluidos sus principales usos de la tierra (por ejemplo, cultivos herbáceos, riego, bosques), sus sistemas agrícolas (por ejemplo, subsistencia de los pequeños agricultores), y su valor como recurso económico.



Introducción

A comienzos del 2015, el cantón de Curridabat desarrollo su visión o modelo de desarrollo denominado *Ciudad Dulce*¹, que a la vez se constituyo en la base del Plan de Gobierno Multidimensional. Impulsado por el municipio local busca beneficiar 75.000 habitantes residentes a través de la creación y transformación de los espacios urbanos. Este programa tiene como antecedente relevante la promulgación de un Plan Regulador Urbano que sustrajo a Curridabat de la lógica de usos de tierra segregados o con dedicación exclusiva e introdujo el uso mixto de suelo y la densificación de transeptos. El objetivo de *Ciudad Dulce* consiste en integrar de forma lógica el desarrollo sostenible de una ciudad de tamaño intermedio, mejorando la experiencia de los ciudadanos del cantón a través de la atención de cinco dimensiones: Biodiversidad, Hábitat, Infraestructura, Convivencia y Productividad. Este objetivo se materializaría en la alteración visible de espacios ya existentes. La transformación del municipio se realiza de la mano de equipos multidisciplinarios y a través de procesos participativos con las comunidades.

1 Municipalidad de Curridabat

Descripción de las Dimensiones

Biodiversidad: Favorecer la biodiversidad en el espacio urbano según la ubicación natural de Curridabat. Esto significa “traer el parque y el río al barrio”. Se busca tener una Ciudad en el Bosque.

Infraestructura: Alinear la infraestructura urbana y la arquitectura del paisaje con la biodiversidad y no al revés. Tradicionalmente, la infraestructura ha sido el mecanismo para contener y estructurar la naturaleza dentro del territorio urbano. Con desafíos como el cambio climático, la infraestructura debería hacer que las ciudades sean resistentes y capaces de adaptarse, y a la vez reducir su huella ecológica dentro de la región. Más específicamente, ¿cómo podemos acomodar la infraestructura para que los ríos sirvan y mejoren su propósito ecológico dentro del territorio? ¿Cómo viaja una gota de agua dentro de nuestras ciudades? La infraestructura urbana se ha diseñado para promover la escorrentía (para conducir rápidamente las gotas de lluvia hacia el río más cercano). Hoy en día, es necesario diseñar una infraestructura que favorezca la percolación, es decir, que la gota de lluvia permanezca en el lugar donde cae.

Hábitat: Mejorar la relación de los habitantes con todos los elementos urbanos: diseñar el territorio para crear una sociedad menos segregada (un hábitat más accesible e integrado), con un mayor acceso a las oportunidades. ¿Cómo podemos brindar el acceso a oportunidades (trabajo, educación, bienes y servicios, salud y recreación) a todos por igual? Hábitat se enfoca principalmente en la distribución de estas oportunidades a lo largo del territorio, junto con la ubicación de la vivienda y los sistemas de transporte (tránsito, privados y no motorizados) para llegar a ellas. Un ejemplo es la Ley de Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad (Ley 7600²), que establece la construcción de rampas de acceso e instalación de ascensores en establecimientos, entre otras medidas. Sin embargo, a partir de la experiencia real, una persona con discapacidad ni siquiera puede movilizarse a la pulpería de su vecindario.

Convivencia: Permitir que las poblaciones vulnerables proporcionen una influencia cohesiva en la política y que esta procure un hábitat más inclusivo. Establecer las condiciones necesarias para integrar los diferentes miembros a nuestras comunidades. Esto va desde la inclusión de polinizadores y mascotas, a todas las cohortes de la ciudadanía. Además, incluye a los habitantes u ocupantes temporales, como aquellos que trabajan y no “residen” en la comunidad. ¿Qué tan amigable, agradable e incluyente es nuestra ciudad para la fauna (como los colibríes) o las minorías, como las mujeres inmigrantes? Por ejemplo, si solo los propietarios son considerados miembros de una comunidad, y en su mayoría son hombres, el diseño de la ciudad excluiría a las mujeres, al migrante y al polinizador, así como a otros ciudadanos que coexisten activamente en el espacio urbano.

Productividad: Revertir el patrón más común y destructivo de la ciudad: la explotación de los recursos ajenos. Convertir el poder extractivo consumista de la ciudad en uno productivo. A pesar del hecho de que la mayoría de los ciudadanos del mundo vivimos actualmente en el entorno urbano, seguimos contando con el entorno rural para producir electricidad y alimentos, subestimando la capacidad productiva de las ciudades. ¿Cómo hacer que la biodiversidad, la infraestructura, el hábitat y la convivencia sea la base de un escenario urbano productivo?

2 <http://www.tse.go.cr/pdf/normativa/leyigualdaddeoportunidades.pdf>

Ciudad Dulce está inspirado en la polinización y pretende ser un modelo a seguir por parte de las ciudades pequeñas y medianas alrededor del mundo. Surge para resolver una serie de situaciones o “formas de hacer las cosas” del modelo tradicional de urbanización y su contradicción con los procesos de la Naturaleza. Procura dar respuesta a la siguiente pregunta ¿cómo rediseñar una ciudad que agregue valor al planeta en vez de sustraérselo? Posteriormente se establece una relación con el concepto de las “ciudades biofílicas” que se han desarrollado en el mundo³.

Los ecosistemas urbanos proveen una amplia gama de servicios ecosistémicos de los cuales depende la sociedad. Estos se definen como “los beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa o indirectamente, de las funciones del ecosistema”⁴. Dependemos de los servicios ecosistémicos para la provisión de aire limpio, calidad y cantidad de agua potable, alimentos, ropa, combustible, regulación del clima, control de erosión, filtración del agua, polinización de plantas, captura de carbono, entre muchos otros⁵.

Como resultado del alto crecimiento de las áreas urbanas, lo cual ha conllevado a una fragmentación de hábitat, a la invasión de especies exóticas y en general a una degradación de las funciones ecológicas, el gran desafío es poder recuperar estos servicios ecosistémicos de los cuales las poblaciones urbanas han llegado a depender⁶. De esta manera, el concepto de Ciudades Biofílicas comienza con el establecimiento de redes verdes urbanas, las cuales tienen como objetivo reestablecer el funcionamiento ecológico urbano de áreas verdes, parques y corredores urbanos a través del diseño ecológico. Bajo este contexto el esfuerzo realizado hasta ahora en el cantón de Curridabat con la implementación del programa Ciudad Dulce constituye la versión local de lo que globalmente se conoce como Ciudad Biofílica.

El presente reporte describe la propuesta de un Sistema de Monitoreo de co-beneficios basado en los servicios ecosistémicos que provee la dimensión de la Biodiversidad en el cantón de Curridabat bajo el marco de la visión de Ciudad Dulce.

3 Beatley, T. 2011 y 2017

4 Constanza et al. 1997

5 Cook 2016

6 Bolund & Hunhammar 1999



Servicios Ecosistémicos Urbanos en el Cantón de Curridabat

Las ciudades son un nexo clave de la relación entre las personas y la naturaleza y son enormes centros de demanda de servicios de los ecosistemas, pero a la vez generan impactos ambientales extremadamente grandes. La rápida expansión de las áreas urbanas presenta desafíos fundamentales y también oportunidades para diseñar ciudades más habitables, saludables y resilientes⁸.

La urbanización presenta desafíos fundamentales, pero también oportunidades para mejorar la resiliencia y el funcionamiento ecológico de los sistemas urbanos. Los ecosistemas urbanos conocidos como 'infraestructura verde y azul' urbana, pueden tener un papel crucial en el aumento de la capacidad de adaptación para hacer frente al cambio climático⁹. Además, existe un interés creciente en la restauración de los ecosistemas urbanos, impulsado en parte por los compromisos asumidos por las partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica para restaurar al menos el 15% de los ecosistemas degradados para 2020¹⁰, sumado a que invertir en infraestructura urbana verde y azul constituye una contribución tangible para que las ciudades pueden contribuir a la agenda de las Naciones Unidas sobre una economía verde para el siglo XXI¹¹ y el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) principalmente¹².

7 Cook 2016

8 Elmqvist et al. 2015

9 Kates et al. 2003; Solecki et al, 2013

10 CBD.2011

11 UNEP.2011

12 PNUD.2019

Cada vez se le está poniendo más atención a la ecología urbana y a la importancia de los servicios de los ecosistemas urbanos, sin embargo, la dinámica de los ecosistemas en los paisajes urbanos es poco conocida¹³, especialmente cuando se trata de diseñar, crear y restaurar procesos ecológicos, funciones y servicios en áreas urbanas¹⁴.

Los servicios de los ecosistemas urbanos se generan en un conjunto diverso de hábitats, que incluyen: espacios verdes y bosques urbanos; tales como parques, cementerios, lotes baldíos, jardines y patios, aceras, áreas de campus universitarios; y espacios azules, que incluyen arroyos, lagos, estanques, cunetas artificiales y estanques de retención de aguas pluviales. Los servicios de los ecosistemas urbanos generalmente se caracterizan por una alta intensidad de demanda debido a que se puede considerar a un gran número de beneficiarios locales inmediatos, en comparación con los servicios de los ecosistemas generados en áreas rurales alejadas de áreas densamente pobladas¹⁵.

El recuadro 1 contiene ejemplos de servicios importantes provistos por infraestructura verde y azul en áreas urbanas.

Sobre la base de las categorizaciones previas de los servicios de los ecosistemas¹⁷, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio¹⁸ y la Economía de los Servicios de los Ecosistemas y la Biodiversidad¹⁹, los servicios ecosistémicos pueden clasificarse bajo cuatro categorías: (1) *Servicios de provisión o aprovisionamiento*: los necesarios para producir alimentos, agua, energía, minerales y otros productos para uso humano; (2) *Servicios de regulación*: aquellos servicios importantes para el secuestro de carbono, la regulación del clima, la descomposición de desechos, la purificación del aire y el agua, la polinización y el control de plagas y enfermedades; (3) *Servicios culturales*: los relacionados con el crecimiento intelectual y espiritual, el desarrollo cultural, la recreación, el descubrimiento científico, el desarrollo cognitivo y la estética; y (4) *Servicios de soporte y hábitat*: aquellos esenciales para la producción de otros servicios, entre ellos el reciclaje de nutrientes, la dispersión y la producción primaria²⁰.

Servicios de aprovisionamiento

Suministro de alimentos

Un cantón como Curridabat probablemente solo produzca una pequeña parte de los alimentos que consume, dependiendo en gran medida de otras áreas para satisfacer sus demandas. Sin embargo, en algunas áreas geográficas y en determinados períodos, la producción de alimentos de la agricultura urbana puede desempeñar un papel importante para la seguridad alimentaria, especialmente durante crisis económicas y políticas, utilización de territorios abandonados y fomento de la cohesión social.

13 Pataki et al. 2011; Gomez and Barton. 2013

14 Pataki et al. 2011; Rey et al. 2009

15 Elmqvist et al. 2015

16 Gómez, et al. 2013

17 Daily, et al. 1997

18 MA 2005

19 TEEB 2010

20 Moreno-Garcia. 1994

Recuadro 1. Ejemplos de servicios prestados por infraestructura verde y azul en áreas urbanas

Regulación del microclima: los parques urbanos y la vegetación, incluidos los techos verdes y las paredes verdes, reducen el efecto de isla de calor urbano²¹. El efecto de enfriamiento de los árboles en las ciudades puede contribuir significativamente al ahorro de la energía utilizada en los ventiladores o en los aires acondicionados²².

Regulación del agua: la intercepción de la lluvia por parte de árboles, otra vegetación y suelos permeables en áreas urbanas también puede ser crucial para reducir la presión en el sistema de drenaje y para reducir el riesgo de inundación de aguas superficiales²³.

Reducción de la contaminación y efectos en la salud: la vegetación urbana puede contribuir a mejorar la calidad del aire²⁴, aunque este efecto depende del contexto debido a la alta variabilidad espacial y temporal dentro de las ciudades²⁵. Otros beneficios para la salud pública tienen que ver con la accesibilidad de las áreas verdes la cual se ha relacionado con la reducción de la mortalidad²⁶ y la mejora de la salud general percibida y real²⁷. Sin embargo, la distribución y accesibilidad de los espacios verdes a diferentes grupos socioeconómicos a menudo revela grandes asimetrías en las ciudades²⁸, lo que contribuye a la inequidad en la salud física y mental entre los grupos socioeconómicos.

Hábitat: una característica importante de las áreas urbanas es su mosaico de hábitats y una diversidad alta de especies de plantas y animales. Además del valor innato o inherente de las especies y la biodiversidad, este servicio también brinda beneficios importantes para muchos ciudadanos, y también para los gobiernos nacionales y locales que intentan cumplir sus compromisos para reducir la pérdida de biodiversidad y restaurar el 15% como los proponen las metas Aichi del Convenio Global de Biodiversidad²⁹.

Servicios culturales: muchos servicios culturales están asociados con los ecosistemas urbanos y existe evidencia de que la biodiversidad en las áreas urbanas desempeña un papel positivo en la mejora del bienestar humano. Se ha demostrado que los beneficios psicológicos de los espacios verdes aumentan con la biodiversidad, mientras que una “vista verde” desde una ventana aumenta la satisfacción laboral y reduce el estrés laboral³⁰. Otros estudios han demostrado que las propiedades con mayor proximidad a las áreas verdes tienen mayor valor en la propiedad³¹.

Adaptado de Elmqvist et al. 201

21 Pataki et al. 2011

22 Nicholson. 2003; Akbari. 2002

23 Pataki et al. 2011

24 Escobedo et al. 2011; Escobedo and Nowak. 2009

25 Vos et al. 2013; Seta et al. 2013

26 Mitchell and Popham. 2008

27 Maas et al. 2006

28 Pickett et al.2008; Ernstson. 2013

29 Mueller et al. 2010; McKinney. 2008

30 Fuller et al. 2002; Lee et al. 2009

31 Brander and Koetse.2011

Suministro de agua

El crecimiento de Curridabat presenta cada vez nuevos desafíos para asegurarse que el suministro de agua satisfaga las necesidades de los habitantes y es un hecho que este cantón no tiene la capacidad de proveerse a sí mismo el recurso que demanda. Sin embargo, es fundamental que los habitantes del cantón reconozcan esta dependencia externa y que ayuden a la conservación de la cobertura vegetal y bosques que mantienen esa provisión de agua para consumo humano o la producción de alimentos en los otros cantones que suplen el recurso para el cantón.

Servicios de regulación

Regulación de la temperatura urbana

La vegetación remanente en el cantón regula las temperaturas locales y amortigua los efectos de las islas de calor urbano. Esta vegetación reduce la temperatura en los meses más calurosos a través del sombreado y al absorber el calor del aire por evapotranspiración, particularmente cuando la humedad es baja. Los árboles contribuyen a regular las temperaturas locales de la superficie y del aire, al reflejar la radiación solar y generar sombra en las calles y aceras que de otra manera absorberían el calor. Este servicio de regulación de la temperatura urbana es uno de los más importantes para que los habitantes logren estar en un confort climático agradable³².

Reducción de ruido

El tráfico principalmente vehicular, las construcciones y otras actividades humanas hacen que el ruido sea una fuente importante de contaminación, constituyéndose en un problema en la ciudad que afecta la salud a través del estrés. El suelo urbano y las plantas pueden atenuar la contaminación acústica por absorción, desviación, reflexión y refracción de las ondas de sonido. Si la ciudad posee hileras de vegetación las ondas de sonido se reflejan y refractan, dispersando la energía del sonido a través de las ramas de los árboles³³.

Purificación de aire

La contaminación del aire proveniente del transporte y la industria principalmente conduce a aumentos en las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La vegetación en los sistemas urbanos puede mejorar la calidad del aire al eliminar los contaminantes de la atmósfera, incluido el ozono (O_3), el dióxido de azufre (SO_2), el dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y partículas de menos de $10\ \mu m$ (PM_{10})³⁴. Si bien hay diferencias significativas en el rendimiento dependiendo la especie se ha demostrado que los árboles urbanos son especialmente importantes para interceptar contaminantes del aire³⁵.

32 McPhearson.2011

33 Fang and Ling 2003

34 Nowak 1994; Escobedo et al. 2008

35 Aylor et al. 2003

Moderación de los extremos del clima

Los cambios en el clima están aumentando la frecuencia e intensidad de los extremos ambientales; esto plantea crecientes desafíos de adaptación para las ciudades. Es conocido que la vegetación estabiliza los terrenos y reduce la probabilidad de deslizamientos, no obstante, la gestión de riesgos y la vulnerabilidad en las ciudades, deberá estar basada en combinaciones en el uso de infraestructura gris e infraestructura ecológica³⁶.

Mitigación de la escorrentía superficial

El aumento del área de superficie impermeable en las ciudades conduce a mayores volúmenes de escorrentía de agua superficial, y por lo tanto aumenta la vulnerabilidad a las inundaciones. La vegetación reduce la escorrentía superficial después de los eventos de precipitación al interceptar el agua a través de las hojas y los tallos³⁷. El suelo subyacente también reduce las tasas de infiltración al actuar como una esponja al almacenar agua en los espacios porosos. También la intercepción de la lluvia por parte de las copas de los árboles reduce la velocidad de los efectos de inundación y las áreas verdes reducen la presión sobre los sistemas de drenaje urbano al filtrar el agua³⁸.

Tratamiento de residuos

Los ecosistemas filtran y descomponen los desechos orgánicos de los efluentes urbanos mediante el almacenamiento y reciclaje de residuos mediante dilución, asimilación y recomposición química³⁹. Los sistemas acuáticos como los ríos naturalmente reducen el nivel de nutrientes y contaminación en zonas urbanas, capacidad que puede ser aumentada si se gestiona de mejor manera las aguas residuales y se aumenta el ancho de las zonas de amortiguamiento de vegetación y la cubierta arbórea en la ribera de los ríos⁴⁰.

Polinización, regulación de plagas y dispersión de semillas

La polinización, la regulación de plagas y la dispersión de semillas son procesos importantes en la diversidad funcional de los ecosistemas urbanos y pueden desempeñar un papel crítico en el largo plazo⁴¹. Sin embargo, esta diversidad está amenazada por la pérdida de hábitat y la fragmentación de los productos de la expansión urbana.

La vegetación remanente y principalmente los parques públicos de Curridabat están demostrando a través de los datos obtenidos con los inventarios realizados, ser áreas importantes que promueven el mantenimiento de la vegetación que sirve como base de la recreación de los pobladores y que a la vez contribuye con la disminución de la temperatura urbana.

³⁶ Depietri et al. 2012

³⁷ Villarreal y Bengtsson 2005

³⁸ Pataki et al. 2011

³⁹ TEEB 2011

⁴⁰ Booth 2005

⁴¹ Andersson et al. 2007

Regulación del clima global

Aunque debemos reconocer que la cantidad de carbono que un cantón como Curridabat puede compensar localmente a través de infraestructura verde en comparación con las emisiones generales de la ciudad es poca, se debe reconocer que los árboles urbanos actúan como sumideros de CO₂ almacenando el exceso de carbono y que esta capacidad es proporcional a la biomasa de los árboles, por lo que aumentar la cantidad de árboles en la ciudad puede ralentizar la acumulación de carbono atmosférico en zonas urbanas. Así, esta acción de aumentar la cobertura arborea se convierte en una opción atractiva para la acción climática urbana.

Servicios culturales

Recreación

Debido a que los entornos urbanos pueden ser estresantes para los habitantes, el servicio ecosistémico de la recreación constituye uno de los servicios mejor valorados en la ciudad a partir del acceso y facilidades ubicadas en parques, bosques, lagos y ríos ya que estos ofrecen múltiples posibilidades de recreación, mejorando así la salud humana y el bienestar⁴². Una experiencia en un parque puede reducir el estrés, mejorar la contemplación, rejuvenecer el habitante de la ciudad, y proporcionarle una sensación de paz y tranquilidad⁴³. No obstante, el valor recreativo de los parques depende de las características ecológicas como la diversidad biológica y estructural, pero también de la infraestructura construida, así como de la disponibilidad de instalaciones deportivas.

Este servicio ecosistémico de la recreación varía según los criterios sociales, incluida la accesibilidad, la capacidad de penetración, la seguridad, la privacidad y la comodidad, así como los factores que pueden causar trastornos sensoriales (es decir, el valor recreativo disminuye si se percibe que las áreas verdes son feas y sucias)⁴⁴.

Beneficios estéticos

Los espacios verdes en ambientes urbanos han sido relacionados con una reducción del estrés y con un aumento en la salud física y mental, además de que son proveedores de estética⁴⁵. Algunos estudios han encontrado que la proximidad de la vivienda de una persona a los espacios verdes estaba correlacionada con menos problemas de salud relacionados con el estrés y una mayor percepción general de salud⁴⁶ y otros estudios encontraron que las personas a menudo eligen dónde vivir en ciudades basadas en parte en las características de los paisajes naturales⁴⁷.

⁴² Konijnendijk et al. 2013

⁴³ (Kaplan 1983

⁴⁴ Rall y Haase 2011

⁴⁵ Kaplan 1983; Van den berg et al. 2010a

⁴⁶ Van den Berg et al. 2010b

⁴⁷ Tyrväinen y Miettinen 2000

Desarrollo cognitivo

Los espacios verdes en las ciudades y la exposición a la naturaleza en general, en un ambiente urbano, proporcionan múltiples oportunidades para el desarrollo de las habilidades cognitivas, ya que aumenta el potencial de la protección del ambiente y permite la posibilidad de que los habitantes de la ciudad reconozcan los servicios ecosistémicos de la biodiversidad urbana⁴⁸.

Valores de lugar y cohesión social

Los espacios verdes públicos en la ciudad brindan oportunidades para la interacción entre los habitantes, la cohesión social y en algunos países se ha visto que se reduce la criminalidad⁴⁹. También pueden dar lugar a otros beneficios sociales importantes como la promoción de intereses, y la participación en las actividades del barrio⁵⁰.

Servicios de soporte y hábitat

Hábitat para la Biodiversidad

Los espacios verdes públicos y la vegetación remanente en espacios privados desempeñan un papel extremadamente importante como refugio de la biodiversidad de la ciudad⁵¹, no obstante, la abundancia y la riqueza de especies estará en función de los niveles de urbanización que existan y en la cantidad de especies no nativas que haya prosperado en el tiempo.

48 Tidball y Krasny 2010

49 Kázmierczak 2013

50 Gotham y Brumley 2002

51 Müller et al. 2010



Marco Conceptual del Sistema de Monitoreo

La meta principal de la visión de Ciudad Dulce en el Cantón de Curridabat es *Reintroducir la biodiversidad en el espacio urbano según la ubicación natural de Curridabat*, así la propuesta estratégica prioriza la conservación de biodiversidad como la base fundamental de la continuidad de los servicios ecosistémicos que presta el capital natural que aún se mantiene, y que se reconoce debe ser manejado de manera responsable, para asegurar que pueda continuar ofreciendo servicios ecológicos vitales para el funcionamiento de la ciudad y oportunidades de sustento para los ciudadanos⁵². A su vez, esta sufre de diversas amenazas como la fragmentación del paisaje natural debido a la construcción de infraestructura y a la contaminación de los ríos y quebradas.

La estrategia de trabajo del Municipio en materia de biodiversidad busca, además, de restaurar el paisaje urbano para mejorar el bienestar humano de los habitantes lograr el desarrollo sostenible en el cantón a través de las siguientes metas⁵³:

- Lograr una ciudad **biodiversa**, inmersa en un sistema natural;
- más segura estabilizando los **impactos del clima**, logrando una reducción en la escorrentía y el impacto de las tormentas y las ráfagas intensas de viento, así como un grado de mitigación aceptable de **las altas temperaturas**;

⁵² Municipalidad de Curridabat

⁵³ Idem

- más disfrutable promoviendo la existencia de espacios para la **recreación y la interacción social**;
- más saludable, mejorando la **calidad del agua y del aire**, el espacio disponible para las actividades físicas, y el bienestar psicológico que se logra conectando a los ciudadanos con la naturaleza;
- más atractiva, mejorando cómo los **ciudadanos experimentan la naturaleza** a través de paisajes diversos;
- más próspera, promoviendo la **seguridad alimentaria y la disponibilidad de recursos**; y
- más sostenible, asegurando el **secuestro de carbono y la mitigación del cambio climático**.

El enfoque que se promueve a partir de la reintroducción y conservación de la biodiversidad en la ciudad conlleva la generación de otros servicios ambientales o de los ecosistemas. Dichos servicios o co-beneficios incluyen por ejemplo beneficios hidrológicos, o de protección ante riesgos naturales, pero para poder demostrar cuándo los co-beneficios están presentes y cuándo se puede tener un impacto mayor que el simple hecho de conservar biodiversidad, se requiere medir los impactos o beneficios de las actividades que se promueven a través de la infraestructura verde del cantón. Así se hace necesario el diseño e implementación de un Sistema de Monitoreo robusto, transparente y preciso, de ámbito cantonal, que permita evaluar los resultados en cuanto a la generación de beneficios sociales y ambientales.

Selección de indicadores

Para llevar a la práctica el marco de trabajo propuesto y seleccionar los indicadores que proporcionen información sobre todos los aspectos principales de la prestación de servicios de los ecosistemas, como gestión del territorio, propiedades de los ecosistemas, función y servicios ecosistémicos a partir de la visión de Ciudad Dulce, identificamos en primera instancia los co-beneficios que conllevarían la implementación de las acciones municipales, los co-beneficios ecológicos que producen y los servicios ecosistémicos que impactan (Figura 1 y 2).

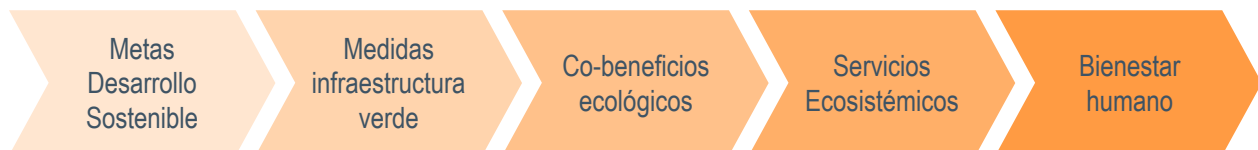


Figura 1. Secuencia para la selección de indicadores a partir de las metas de desarrollo sostenible de la ciudad

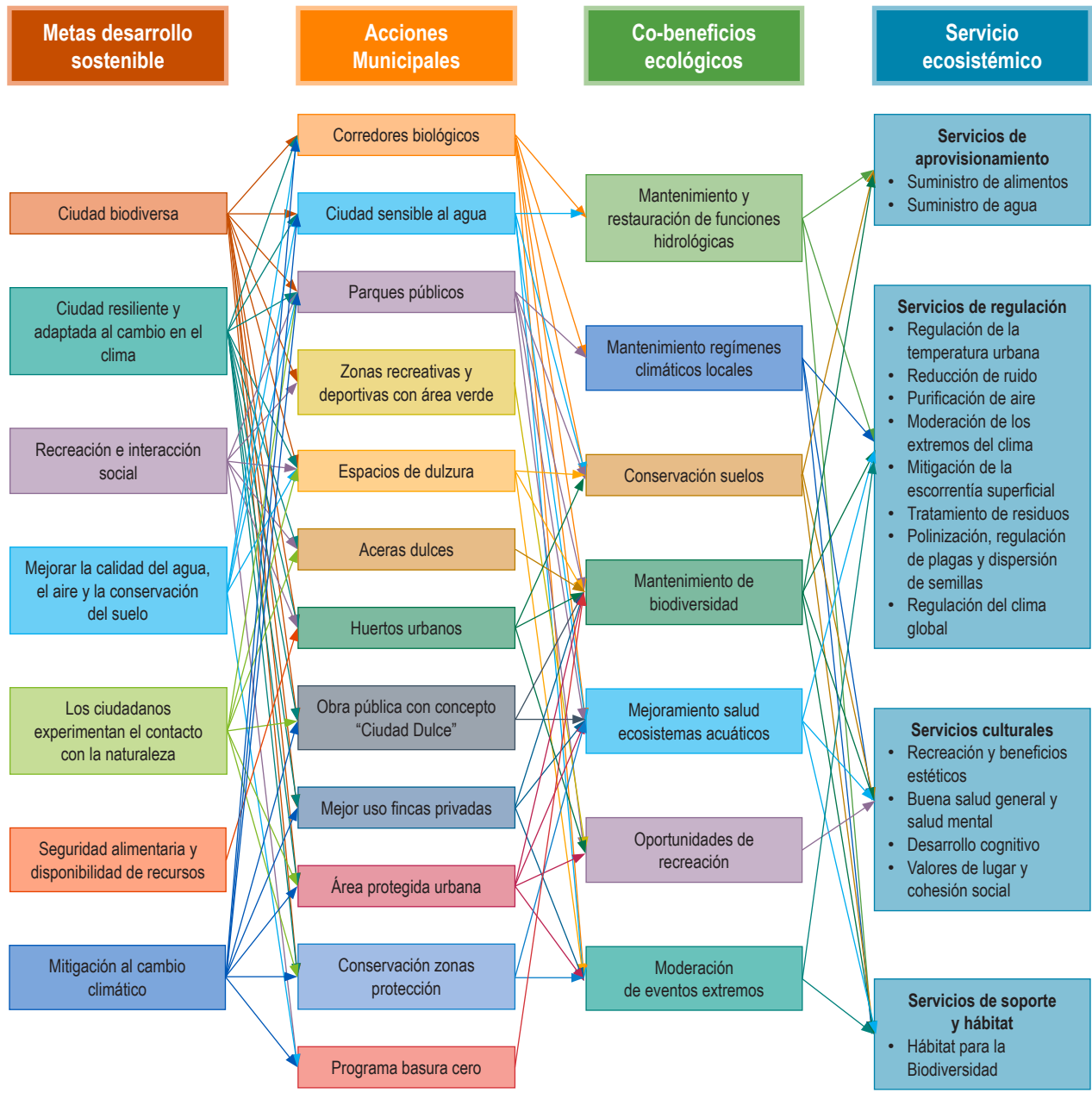


Figura 2. Identificación de servicios ecosistémicos a partir de las acciones Municipales para promover la conservación de infraestructura verde en el cantón de Curridabat

Cuadro 1.

Identificación de indicadores por servicios ecosistémicos a partir de las acciones Municipales para promover la conservación de infraestructura verde en el cantón de Curridabat

Tipo Servicio	Servicio ecosistema	Indicador
Provisión	Suministro de alimentos	Cambio en el área y volumen de producción de huertos urbanos
	Suministro de agua	Caudal del agua de los ríos y quebradas del cantón
Índice biológico de la calidad del agua		
Regulación	Regulación de la temperatura urbana	Consumo de energía eléctrica por habitante
	Reducción de ruido	Cambio del ruido ambiental
	Purificación de aire	Índice Costarricense de Calidad del Aire (ICCA)
	Moderación de los extremos del clima	Proporción de cobertura de vegetación
	Mitigación de la escorrentía superficial	Índice biótico del suelo (IBS)
	Tratamiento de residuos líquidos	Índice de calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón
	Polinización, regulación de plagas y dispersión de semillas	Cambio en la abundancia y riqueza de angiospermas (flora dulce)
Cambio en la abundancia y riqueza de polinizadores (abejas, mariposas, colibríes, murciélagos).		
Regulación del clima global	Almacenamiento y secuestro de carbono	
Culturales	Recreación	Número y área de sitios de importancia (espacios de yoga, bibliotecas móviles, espacios de ejercicio, parques de perros) para los habitantes
	Beneficios estéticos	Superficie verde por habitante (SvHab)
	Desarrollo cognitivo, Valores de lugar y cohesión social	Porcentaje de la población que visita parques o áreas verdes diariamente y su tiempo de visita
Soporte	Hábitat para la Biodiversidad	Cambio en la riqueza de especies de peces
		Proporción de áreas naturales o semi-naturales en la ciudad
		Proporción del área cubierta por vegetación ribereña
		Proporción de áreas verdes en las escuelas y colegios y otros edificios
		Cambio en la densidad arbórea
		Cambio en la cobertura del uso del suelo
		Cambio en la abundancia y riqueza de aves
Cambio en el número de especies nativas		



Protocolo de Indicadores

El presente apartado describe los protocolos de monitoreo de cada uno de los indicadores seleccionados para cada servicio ecosistémico.

Indicadores Servicios de Provisión

Cuadro 2. Identificación de indicadores de servicios ecosistémicos de provisión en las acciones Municipales para promover la conservación de infraestructura verde en el cantón de Curridabat

Servicio ecosistema	Indicador
Suministro de alimentos	Cambio en el área y volumen de producción de huertos urbanos
Suministro de agua	Caudal del agua de los ríos y quebradas del cantón
	Índice biológico de la calidad del agua

Indicador

Nombre del indicador

Cambio en el área y volumen de producción de huertos urbanos

Relevancia del indicador

Los huertos urbanos tienen como propósito producir alimentos para el autoconsumo a través de una combinación de cultivos, en ocasiones en asociación con animales domésticos. Generalmente se encuentran en los alrededores de las casas, así como también en espacio públicos o cívicos de las comunidades. Los huertos urbanos proveen además de alimento, otros servicios ecosistémicos como la restauración de los suelos, principalmente los suelos degradados presentes en las ciudades, y hábitat para la flora y fauna, mejorando la biodiversidad de la ciudad.

Objetivo

Proporcionar información sobre los cambios en el número de huertos urbanos y el área total del cantón dedicada a la agricultura urbana.

Variables

- Porcentaje de área dedicada a huertos urbanos
- Producción de alimentos (kg/año)
- Producción de semillas
- Volumen de compost (m²)/restauración de suelo (m³)

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

- Área total de huertos urbanos (m²)
- Alimentos producidos mensualmente (kg/mes) y por año (kg/año)

- Producción de semillas
- Número de viveros
- Volumen de compost (m²)/restauración de suelo (m³)

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

Se recomienda coleccionar la información a través de encuestas que contengan preguntas abiertas y cerradas con la finalidad de hacer una caracterización rápida de la agricultura urbana del cantón. La encuesta tiene como objetivo primordial determinar el cambio que se da en el área total del cantón dedicado a huertos urbanos y conocer el volumen de alimentos producidos.

Variables a medir:

- Nombre del productor
- Distrito
- Área total del huerto (m²)
- Alimentos producidos mensualmente (kg/mes) y por año (kg/año)
- Cantidad de kilos de semillas producidas (kg/año)
- Volumen de compost (m²)/restauración de suelo (m³)

Formas de presentación más efectivas

Gráficos de barras representando las distintas variables a medir (área total del huerto, producción de alimentos, producción de semillas, volumen de compost generado) a lo largo del tiempo.

Periodicidad

Se recomienda realizar el inventario de huertos urbanos una vez al año.

Indicadores estrechamente vinculados

- m² de suelos restaurados a través de huertos urbanos
- Cambio en la riqueza/abundancia de polinizadores
- Diversidad y composición de especies (aves/mamíferos)
- Cambio en la cobertura de uso del suelo

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la lombriz de tierra:

Objetivo 4) Rehabilitar los suelos del cantón logrando el ciclo cerrado de nutrimentos para el aumento de su productividad. **Meta 4.5)** Alcanzar anualmente al menos 200 m² de restauración de suelos en espacios públicos o con oportunidad, producidas por huertas urbanas y paisajismo regenerativo, a partir del año 2019.

Experiencia de Alimentación Consciente:

Objetivo 1) Procurar a la ciudadanía información sobre acceso a alimentos saludables y frescos, mediante la localización y caracterización de la demanda y la oferta de comercios, huertas caseras,

emprendimientos, entre otros. **Meta 1.2)** Crear una base de datos georreferenciada con información y localización de alimentos saludables en el cantón para el año 2019.

Objetivo 3) Promover el cultivo de especies vegetales para consumo en áreas verdes del cantón, con la participación de la comunidad en su vigilancia y mantenimiento. **Meta 3.4)** Crear una base de datos georreferenciada con información sobre las áreas del cantón que cuentan con especies vegetales de consumo para el año 2019 y **Meta 3.5)** Crear una base de datos georreferenciada con información sobre personas y organizaciones que están trabajando espacios productivos para el año 2020.

Bibliografía

- Aerts, R.; Dewaelheyns, V.; Achten Wouter, M.J. 2016. Potential Ecosystem Services of Urban Agriculture: a review. PeerJ Preprints. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2286v1> | CC BY 4.0 Open Access.
- Arrieta Bolaños, S. 2015. Prácticas agroecológicas para mejorar la producción y la seguridad alimentaria en huertos caseros en Nicaragua Central. Tesis de Maestría. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. P. 70.
- Nair, P.K.R.; Kumar, B.M. 2006. Tropical homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry. Dordrecht, Netherlands. Springer. p. 1–10

Indicador

Nombre del indicador

Caudal del agua de los ríos y quebradas del cantón

Relevancia del indicador

Los recursos hídricos forman la base funcional de las ciudades y su desarrollo económico, no obstante, la alta tasa de urbanización ha provocado la degradación del agua, así como sus ecosistemas asociados.

Los ecosistemas juegan un papel primordial en el suministro de agua potable para las ciudades, para otros usos, y para garantizar el almacenamiento y la liberación controlada de los flujos del agua. La cobertura de vegetación y los bosques presentes en las cuencas dentro de las ciudades, influyen en la cantidad de agua disponible. El incremento de superficies impermeables dentro de las ciudades, reduce la capacidad del agua para filtrarse en el suelo, incrementando el volumen de escorrentía de agua superficial y, por lo tanto, aumentando la vulnerabilidad a inundaciones.

Objetivo

Evaluar cambios en el caudal de los ríos y quebradas del cantón a mediano y largo plazo.

Variables

Caudal (l/s)	Tiempo (s)
Volumen (m ³)	Área (m ²)

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

A nivel de ríos y quebradas

Unidades en las que se expresa

Q (caudal)= m³/s o L/s

A (área) = m²

V (velocidad) = m/s

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

Inicialmente se deben seleccionar los tramos del río donde se realizarán las medidas del caudal. Para ello, se recomiendan los siguientes criterios basados en información cartográfica y ortofotos del área de estudio:

- Ubicación y accesibilidad
- Red Hidrográfica, tomando en cuenta que sean afluentes representativos de la cuenca
- Ubicación de estaciones hidrométricas
- Ubicación de sitios de extracción de agua y estructuras que regulen el caudal
- Estados y conservación del bosque y calidad de agua

Una vez identificado el sitio de estudio, se harán medidas en la parte alta, media y baja del río, durante la época seca y lluviosa. Existen muchos métodos para calcular el caudal, sin embargo, se recomienda el método hidrológico siendo un abordaje más simple, menos costoso y más utilizado a nivel mundial. Se basa en el análisis de series temporales de los caudales de un curso de agua, datos que pueden obtenerse del registro histórico de estaciones de aforo o mediante modelación numérica hidrológica-hidrodinámica, entre otras formas.

Estos métodos se pueden dividir en dos grupos: 1) los que establecen un único valor de caudal ambiental para todo el año o mes, y 2) los que establecen un régimen completo de caudales ambientales.

Para la medición del caudal en un tiempo dado, puede medirse a través de varios métodos y la

elección dependerá de las condiciones del sitio. Se recomienda usar el Aforo por Vadeo el cual es realizado para determinar el flujo o caudal que pasa por una determinada sección de un río en un instante cualquiera en unidades de volumen en l/s. El aforo por vadeo se realiza en ríos y quebradas poco profundas (0.15 – 2 m), donde la corriente de la sección transversal presenta velocidades bajas, no tan fuertes que pueda arrastrar al equipo de aforo (vara de vadeo, molinete) y el aforador.

La profundidad del río en la sección transversal se mide en verticales con una barra o sonda. Al mismo tiempo que se mide la profundidad, se hacen mediciones de la velocidad con el molinete en uno o más puntos de la vertical. La medición del ancho, de la profundidad y de la velocidad permite calcular el caudal correspondiente a cada segmento de la sección transversal. La suma de los caudales de estos segmentos representa el caudal total.

El caudal se calcula de la siguiente manera:

$$Q=V*A$$

Donde:

Q: caudal en litros por segundo (l/s)

A: Área de la sección de aforos

V: Velocidad media del flujo

Formas de presentación más efectivas

Gráficos de tendencias mostrando los distintos caudales a lo largo del año.

Límites de la utilidad y precisión

Los caudales ambientales son utilizados porque permiten identificar dónde la extracción de agua en un sitio determinado podría ocasionar un impacto indeseable en el ecosistema y en las especies. No obstante, a través de este indicador no es posible conocer dónde se ha provocado un daño en el ecosistema por la extracción de agua.

Una de las desventajas de utilizar el caudal, consiste en que se requiere de registros históricos para

analizar la probabilidad de ocurrencia de caudales altos o bajos, o caudales medios, los cuales generalmente son difíciles de adquirir.

Periodicidad

Mensual, resaltando la temporada seca y lluviosa

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de cobertura de la vegetación (incluida la vegetación ribereña)
- Cambio en la densidad arbórea
- Cambio en la riqueza de especies de flora dulce
- Permeabilidad del suelo
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Proporción de áreas naturales en la ciudad

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la Gota de Agua

Objetivo 1. Promover la inclusión de los factores de infiltración, retención y reducción de la velocidad de la gota de agua en los criterios de ciudad sensible al agua para el diseño de obra pública y privada. **Meta 1.1)** Obtener información y datos que determinen métricas cantonales en la gestión del agua para el año 2019.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Gómez-Baggethun, E. & Barton, D.N. 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics* 86: 235–245.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Metodología y Estudios Ambientales). 2007. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá, Colombia. 162 pág.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Metodología y Estudios Ambientales). S.f. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Bogotá, Colombia. 83 pág.
- Januchta-Szostak, A. 2012. Urban water ecosystem services. *Sustainable Development Applications* 3: 91- 110.

Indicador

Nombre del indicador

Índice biológico de la calidad del agua

Relevancia del indicador

Los macroinvertebrados acuáticos han sido ampliamente usados durante muchos años como indicadores de calidad del agua, ya que constituyen una herramienta muy útil y relativamente de bajo costo. A través de los indicadores biológicos, es posible evaluar tendencias de la calidad del agua a través del tiempo, comparando condiciones pasadas y presentes, y detectar eventos puntuales de toxicidad, los cuales suelen ser difícil de identificar con mediciones físico-químicas estándar.

Los macroinvertebrados acuáticos cuentan con los siguientes atributos, haciéndolos de gran utilidad para la evaluación de la calidad del agua: 1) amplia distribución geográfica, así como con la variedad de ambientes que habitan, 2) alta diversidad taxonómica, permitiendo un amplio rango de respuestas ante perturbaciones o contaminación, 3) organismos relativamente sedentarios, facilitando un análisis espacial de la contaminación, 4) ciclos de vida relativamente largos, permiten conocer los efectos de la contaminación a largo plazo y 5) la metodología de monitoreo suele ser sencilla y de bajo costo.

Objetivo

Identificar la composición de comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los ríos y quebradas del cantón, con la finalidad de evaluar cambios en la calidad del agua a mediano y largo plazo.

VARIABLES

Riqueza y abundancia de especies

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

A nivel de ríos y quebradas

Unidades en las que se expresa

Al ser un índice no cuenta con una unidad específica ya que es una combinación de muchas variables.

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

Se recomienda usar el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) modificado para Costa Rica. Esta metodología consiste en coleccionar muestras de macroinvertebrados y asignarle una puntuación a cada taxón encontrado. La puntuación se establece de acuerdo al grado de sensibilidad a la contaminación de cada taxón y el índice se calcula sumando las distintas puntuaciones (para mayor información del puntaje que se le asigna a cada familia de macroinvertebrados, ver el Decreto Ejecutivo No. 33903).

Los valores del índice están comprendidos entre 0 hasta un valor máximo de 200. De acuerdo al puntaje establecido, la clasificación de las aguas se divide en 6 niveles de Calidad del Agua.

Clasificación de la Calidad del Agua en función del puntaje total obtenido.

Nivel de Calidad	BMWP	Color representativo
Aguas de calidad excelente	> 120	Azul oscuro
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	<15	Rojo

Formas de presentación más efectivas

Gráficos de barras representando el Índice Biótico de Macroinvertebrados Acuáticos (BMWP-CR) en diferentes tramos del río o quebrada (área de estudio) muestreada a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

El uso de bioindicadores para determinar la calidad de agua para consumo humano puede tener sus limitaciones, ya que no necesariamente detecta la presencia de patógenos o condiciones químicas potencialmente peligrosas para la salud humana. Por otro lado, las comunidades de macroinvertebrados pueden ser afectados por distintos factores ambientales, como la calidad del hábitat o por condiciones climáticas. Por tal motivo, se recomienda usar de manera conjunta ambos métodos, el físico-químico y el biológico, lo cual ya se contempla en la legislación de muchos países.

Periodicidad

Se recomienda hacer el monitoreo estacional resaltando la temporada seca y lluviosa

Indicadores estrechamente vinculados

Parámetros fisicoquímicos relacionados con la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos:

- Altitud (m)
- Temperatura del agua (°C)
- Oxígeno disuelto (% de saturación)
- Contenido de fosfatos (mg/L)
- Total de sólidos disueltos (mg/L)
- Riqueza
- Abundancia

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la Gota de Agua

Objetivo 5) Mejorar la calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón y la diversidad de especies asociadas al recurso hídrico. **Meta 5.2)** Realizar para el año 2020 al menos 10 acciones administrativas de carácter interinstitucional para mantener o mejorar los índices de calidad del agua en el cantón. **Meta 5.3)** Mejorar la calidad del agua de los ríos María Aguilar y Tiribí a la salida del cantón, pasando de nivel 5 a nivel 4 para el año 2022

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019.

Bibliografía

- MINAE-S. 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Decreto Ejecutivo No. 33903, La Gaceta No. 178. San José, Costa Rica. Consultado 25 feb. 2019. Disponible en http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/de-33903reglamento_evaluacion_clasificacion_cuerpos_de_agua_0.pdf
- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta & M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas, p. 631-654. In E. Domínguez & H.R. Fernández (eds.). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- Rosenberg, D.M., R.S. King & V.H. Resh. 2008. Use of aquatic insects in biomonitoring, p. 123-137. In R.W. Merritt, M.B. Berg & K.W. Cummins (eds.). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt, Dubuque, EEUU.
- Springer, M. 2010. Biomonitorio. En: Springer, M., Ramírez A. & P. Hanson (eds.). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. Rev. Biol. Trop. 58 (Suppl. 4): 53-59.

Indicadores de Servicios de Regulación

Cuadro 3. Identificación de indicadores del servicio ecosistémico de regulación de las acciones Municipales para promover la conservación de infraestructura verde en el cantón de Curridabat

Servicio ecosistema	Indicador
Regulación de la temperatura urbana	Consumo de energía eléctrica por habitante
Reducción de ruido	Cambio del ruido ambiental
Purificación de aire	Índice Costarricense de Calidad del Aire (ICCA)
Moderación de los extremos del clima	Proporción de cobertura de vegetación
Mitigación de la escorrentía superficial	Índice biótico del suelo (IBS)
Tratamiento de residuos líquidos	Índice de calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón
Polinización, regulación de plagas y dispersión de semillas	Cambio en la abundancia y riqueza de angiospermas (flora dulce)
	Cambio en el abundancia y riqueza de polinizadores (abejas, mariposas, colibríes)
Regulación del clima global	Almacenamiento y secuestro de carbono

Indicador

Nombre del indicador

Consumo de energía eléctrica por habitante

Relevancia del indicador

La energía es esencial para el desarrollo económico y social, mejorando la calidad de vida de los habitantes, sin embargo, el consumo de energía tiene implicaciones sobre la disponibilidad de los recursos naturales. Un alto consumo de energía puede afectar negativamente la producción de servicios ecosistémicos, generar contaminación ambiental y contribuir a acentuar los efectos del cambio climático. Por tal motivo, es imprescindible hacer una gestión sostenible de la energía urbana, la cual fomente la reducción del consumo por habitante y el uso de fuentes de energía renovables. El indicador es un proxy del aumento en el consumo producto del aumento de temperatura en la ciudad.

Objetivo

Detectar cambios en el consumo de energía eléctrica por habitante en el mediano y largo plazo.

Variables

- Cantidad de energía eléctrica que en promedio ha sido consumida por habitante
- Cantidad de energía eléctrica consumida en el cantón
- Población del cantón

Agencia responsable

Centro Nacional de Control de Energía (CENCE)

Resolución espacial

Escala municipal y/o cantonal

Unidades en las que se expresa

kWh/hab y año: kilovatios hora por habitante a lo largo de un año

Descripción de los datos de origen

Informe del Centro Nacional de Control de Energía 2017

Método y esfuerzo

Fórmula del indicador:

$$CEH_{jt} = \frac{CEC_{jt}}{P_{jt}}$$

CEH_{jt}: Cantidad de energía eléctrica que en un promedio ha sido consumida por habitante, en el municipio j, en el momento t.

CEC_{jt}: Cantidad de energía eléctrica consumida en el municipio j, en el momento t.

P_{jt}: Población del municipio j en el momento t.

Los datos del indicador los proporciona el Centro Nacional de Control de Energía.

Formas de presentación más efectivas

Gráficos de tendencia del consumo de energía eléctrica promedio por municipio/cantón a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

El indicador no refleja la cantidad de energía consumida según el tipo de fuente que la generó.

Periodicidad

Anual

Indicadores estrechamente vinculados

- Almacenamiento y secuestro de carbono
- Proporción del área cubierta por vegetación
- Cambio en la densidad arbórea

Propiedad de los datos

Centro Nacional de Control de Energía

Relación con el PEM 2018-2022

No aplica

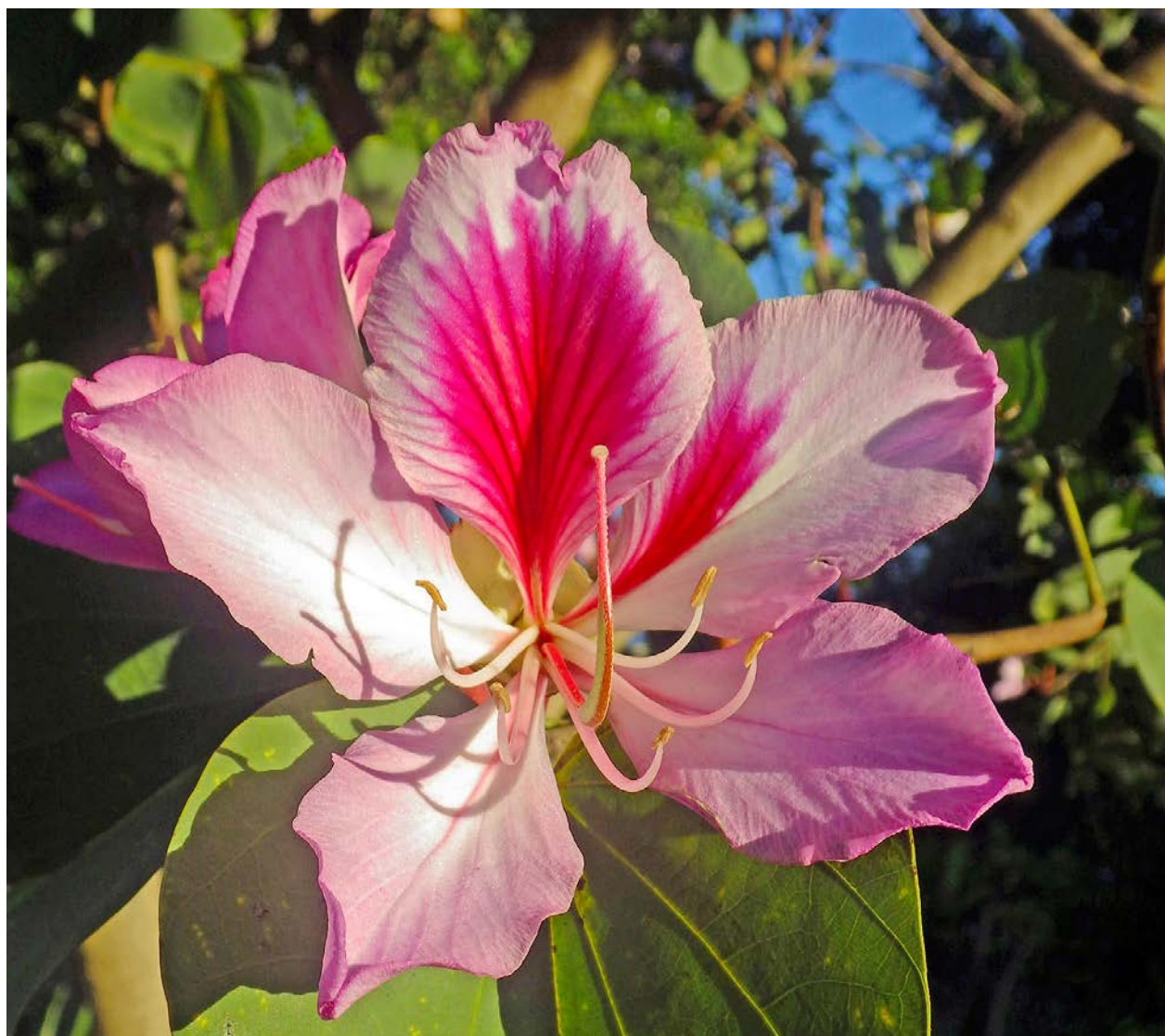
Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

Organismo Internacional de Energía Atómica, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Agencia Internacional de la Energía, Eurostat y Agencia Europea de Medio Ambiente. 2008. Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías. Imprenta OIEA, Viena, Austria. 183 P.

Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonia Colombiana (SIAT-AC). Consumo de energía eléctrica por habitante (CEH). Bogotá D.C., Colombia. Consultado 13 feb. 2019. Disponible en <http://siatac.co/web/guest/consumo-de-energia-electrica-por-habitante>



Indicador

Nombre del indicador

Cambio del ruido ambiental

Relevancia del indicador

Una de las principales formas de contaminación dentro de las zonas urbanas corresponde al ruido ambiental. El ruido se define como aquel sonido indeseado o molesto, el cual interviene en las actividades cotidianas del ser humano, como dormir, tener conversaciones, el trabajo y eventualmente genera una baja calidad de vida y puede llegar a afectar la salud de las personas.

Sin embargo, muchos estudios han descubierto que existe un efecto positivo de la masa arbórea sobre la disminución del ruido. Se ha encontrado que la propagación del ruido se reduce proporcionalmente a la superficie foliar, variando dependiendo de la frecuencia del sonido, época del año, posición de la barrera de vegetación con respecto a la fuente del sonido, las especies que componen esa barrera, además de la estructura, cantidad de hojas, densidad y altura de la vegetación.

Objetivo

Monitorear los niveles de ruido ambiental en distintos puntos de la ciudad de Curridabat y caracterizar los sitios con mayor y menor contaminación de ruido con la finalidad de disminuir el ruido o de proteger los sitios.

Variables

- Nivel Sonoro Continuo Equivalente (L_{Aeq})
- Nivel de Presión Sonora Máximo (L_{Max})
- Nivel de Presión Sonora Mínimo (L_{Min})
- Nivel de Presión Sonora Pico (L_{Peak})

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

dBA: decibelio o decibel

Descripción de los datos de origen

No cuentan con línea base

Método y esfuerzo

Previamente al muestreo, se deben definir los sitios a medir a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se debe delimitar el área de estudio y dividirla en celdas de igual tamaño que sean proporcionales a la superficie del área. En los centros de la cuadrícula se ubican las estaciones de medición. Este tipo de medición permite tener una representatividad de la zona de estudio como un conjunto y obtener valores globales del sitio de interés. Permite, por ejemplo, identificar aquellas áreas de mayor y menor contaminación de ruido (representado con mapas de ruido). Para la recolección de los datos se utiliza un equipo sonómetro.

Se recomienda caracterizar cada sitio de muestreo, anotando las características del tráfico vehicular (cantidad y tipo) y las fuentes de ruido presentes en el sitio. Esta información se colecta a través de una ficha de caracterización donde se puede incluir una fotografía, las coordenadas del punto de muestreo, dirección, descripción urbana, entre otros factores de interés para el observador.

Formas de presentación más efectivas

- Mapas de ruido del día y mapa de ruido de noche del cantón de Curridabat
- Gráficos de barras mostrando los valores promedio obtenidos en distintos puntos de medición en distintos horarios de muestreo a lo largo de los años

Límites de la utilidad y precisión

Uno de los desafíos que presenta el monitoreo del ruido ambiental es cómo realizar mediciones que abarquen la escala espacial y temporal. Los cambios en las condiciones climáticas tienen un efecto significativo en el monitoreo de los niveles de ruido y es necesario realizar mediciones durante periodos largos de tiempo para obtener la variabilidad del ruido.

Una de las desventajas de definir los puntos de muestreo a través de cuadrículas por el área de estudio, es tener el riesgo de no evaluar algunos puntos de interés (sitios muy tranquilos o sitios con mucho ruido) que podrían ofrecer información relevante. Así mismo, esta metodología, requiere un consumo importante de tiempo y de recursos si se quiere hacer un muestreo representativo de toda el área.

Periodicidad

Durante el periodo de medición (mínimo un mes), se recomienda hacer muestreos diarios divididos por rangos de horarios (diurnos de 7:00-9:00 y nocturnos de 17:00-19:00). La medición se puede realizar cada 10 minutos en cada punto de muestreo.

Indicadores estrechamente vinculados
Almacenamiento y secuestro de carbono
Consumo de energía eléctrica
Proporción de cobertura de vegetación
Cambio en la densidad arbórea
Cambio en la cobertura del uso del suelo

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de Acceso a Destinos Deseados

Objetivo 3) Lograr que Curridabat cuente con infraestructura que contemple todos los elementos disponibles de seguridad vial, y que este nivel de servicio sea sostenido a través del tiempo. **Meta 3.2)** Realizar acciones de pacificación vial mediante urbanismo táctico o infraestructura permanente en al menos 20 sectores de las vías cantonales para el año 2020, hasta llegar al menos a 40 sectores para el año 2022.

Bibliografía

- La Gaceta Diario Oficial de Costa Rica. 2015. Reglamento para el control de la contaminación por ruido. Decreto N° 39200-S. La Uruca, San José, Costa Rica.
- Lobos Vega, V.H. 2008. Evaluación del ruido ambiental en la ciudad de Puerto Montt. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Valdivia, Chile. 125 P.
- Maijala, P.; Shuyang, Z.; Heittola, T. & Virtanen, T. 2018. Environmental noise monitoring using source classification in sensors. Applied Acoustics 129: 258-267.
- Martínez Añazco, C.M. 2004. Valoración económica de áreas verdes urbanas de uso público en la comuna de La Reina. Tesis de Maestría en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 118 P.
- Moya Bonilla, J.E. & Monge Monge, E.A. 2015. Caracterización de la distribución de los niveles de presión sonora para el casco central del cantón de San José. Tesis de Licenciatura. Tecnológico de Costa Rica (TEC) y Municipalidad de San José. Cartago, Costa Rica. P. 25.
- Platzer, L.M.; Iñiguez, R.C.; Cevo, J. & Ayala, F. 2007. Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello 67:122-128.
- Yepes, D.L.; Gómez, M.; Sánchez, L. & Jaramillo, A.C. 2008. Metodología de elaboración de mapas acústicos como herramienta de gestión del ruido urbano- Caso Medellín. Dyna 158: 29-40.

Indicador

Nombre del indicador

Índice Costarricense de Calidad del Aire (ICCA)

Relevancia del indicador

La Ley General de Salud de Costa Rica define la contaminación atmosférica como “el deterioro de su pureza por la presencia de agentes de contaminación, tales como partículas sólidas, polvo, humo, vapor, gases, materias radioactivas y otros, que el Ministerio de Salud defina como tales, en concentraciones superiores a las permitidas por las normas de calidad del aire aceptadas internacionalmente y declaradas oficiales”.

Se ha demostrado que la contaminación del aire tiene una variedad de efectos negativos sobre la salud de los seres humanos, incluida una mayor probabilidad de enfermedades respiratorias e incluso muerte prematura.

A nivel mundial, las normas de calidad del aire evalúan los siguientes contaminantes primarios: SO₂, CO, NO, PM₁₀, PM_{2.5} y compuestos orgánicos.

Las plantas y los árboles absorben estos contaminantes gaseosos a través de sus estomas y adhieren partículas más grandes a la superficie de la hoja. Este proceso denominado deposición seca, permite que se eliminen las partículas del aire a distintas velocidades durante los eventos de precipitación.

Objetivo

Detectar cambios en el índice de calidad del aire en el mediano y largo plazo en el cantón de Curridabat.

Variables

- Partículas PM₁₀ y PM_{2.5} (µg/m³)
- Ozono
- Plomo
- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Nitrógeno
- Dióxido de Azufre

Las demás variables se expresan en partes por millón

Agencia responsable

- Municipalidad de Curridabat
- Comisión de la Calidad del Aire (coordinado por el Ministerio de Salud e integrada por el Ministerio de Ambiente y Energía, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, la CCSS, representantes municipales, un representante del sector académico, uno de laboratorios privados y otro de la Defensoría de los Habitantes).

Resolución espacial

Varía dependiendo del contaminante a muestrear (ver cuadro de las concentraciones contaminantes)

Unidades en las que se expresa

No aplica

Descripción de los datos de origen

- Informe de Calidad del Aire Área Metropolitana de Costa Rica 2013-2015
- Informe de Calidad del Aire Área Metropolitana de Costa Rica 2016

Método y esfuerzo

Se recomienda usar las siguientes metodologías para el muestreo de gases:

Muestreo de Extracción o Activo

El método consiste en bombear un volumen de aire a través de un colector (solución química con afinidad por el contaminante de interés) por un tiempo determinado y posteriormente analizar la muestra en el laboratorio. La ventaja del método de extracción consiste en que es portable y relativamente de bajo costo. No obstante, las muestras deben ser manipuladas por personal con gran habilidad y cuidado para garantizar datos de calidad.

Muestro y Análisis *in situ*

Consiste en un monitoreo continuo en el sitio de muestreo a través de equipos que miden SO₂, NO, NO₂, O₃ y CO, así como compuestos orgánicos medidos en tiempo real con cromatógrafos. En la mayoría de los casos, los equipos que usan esta técnica se utilizan dentro de una estación con condiciones de climatización controlada.

Métodos Pasivos

Los métodos pasivos o estáticos son confiables y costo efectivo. Miden la concentración promedio de los contaminantes en periodos de semanas o meses. No utilizan un componente activo de movimiento de

aire (bomba que succiona la muestra de aire para colectar el contaminante), sino que el flujo de aire es controlado por un proceso físico, como la difusión.

Se debe usar el ICCA para facilitar los procesos de información a la ciudadanía sobre el estado de la calidad del aire del país con respecto a los contaminantes criterio. El índice se calcula con la siguiente ecuación.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

I_p = Índice para el contaminante p

C_p = Concentración medida para el contaminante p

BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual a CP

BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual a Cr

I_{Hi} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Hi}

I_{Lo} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Lo}

Se debe calcular la ecuación para los diferentes contaminantes que se monitorean, y reportar el mayor valor obtenido de las diferentes ecuaciones. Las concentraciones de contaminantes no deberán ser superiores a los valores máximos reportados en el siguiente cuadro.

Contaminante	Tipo de estándar	Valor de Referencia	Tiempo Promedio	Método de Referencia
Partículas con diámetros menores a 2,5 µm (PM _{2,5})	Primario	15 µg/m ³	Anual	Manual Bajo Volumen
	Secundario	15 µg/m ³	Anual	Manual Bajo Volumen
	Primario/Secundario	35 µg/m ³	24 horas	Manual Bajo Volumen
Partículas con diámetros menores a 10 µm (PM ₁₀)	Primario	30 µg/m ³	Anual	Manual Alto Volumen
	Secundario	40 µg/m ³	Anual	Manual Alto Volumen
	Primario/Secundario	100 µg/m ³	24 horas	Manual Alto Volumen
Ozono	Primario/Secundario	0,75 ppm (0.150 mg/m ³)	8 horas	Ultravioleta
		0,100 ppm (0,200 mg/cm ³)	1 hora	
Piorno	Primario/Secundario	0,70 µg/m ³	24 horas	Manual Alto Volumen
Monóxido de Carbono	Primario	35 ppm (64 mg/m ³)	1 hora	Infrarrojo no dispersivo
		9 ppm (16,5 mg/m ³)	8 horas	

Contaminante	Tipo de estándar	Valor de Referencia	Tiempo Promedio	Método de Referencia
Dióxido de Nitrógeno	Primario	100 ppb (0,191 mg/m ³)	1 hora	Quirnioluminiscencia
	Primario/Secundario	53 ppb (0,100 mg/m ³)	Anual	
Dióxido de Azufre	Primario	75 ppb (0,200 mg/m ³)	1 hora	Fluorescencia
	Secundario	500 ppb (1,33 mg/m ³)	3 horas	

El ICCA contará con los siguientes rangos y códigos de colores:

Índice de Calidad del Aire	Descripción de la Calidad del Aire	Color
0-20	Buena	Verde
21-40	Desfavorables para grupos sensibles	Amarillo
41-60	Desfavorable	Anaranjado
61-80	Muy desfavorables	Rojo
81-100	Peligrosa	Púrpura

Formas de presentación más efectivas

Gráficos de barras representando el Índice de Calidad del Aire (ICA) en diferentes zonas del cantón a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

Dentro de las desventajas que presenta el muestreo pasivo de medición: 1) no mide todos los contaminantes, 2) solo brinda valores promedios con una resolución semanal o mensual, 3) en muchos casos no tiene gran exactitud (provee valores de referencia) y 4) requieren posteriores análisis de laboratorio.

El muestreo activo presenta las siguientes limitaciones: 1) no es posible determinar los valores máximos y mínimos durante el día, solo los promedios de 24 horas y 2) requieren análisis posteriores en el laboratorio.

Periodicidad

El tiempo de muestreo varía dependiendo del contaminante a analizar.

Indicadores estrechamente vinculados

- Almacenamiento y secuestro de carbono
- Proporción del área cubierta por vegetación
- Cambio en la densidad arbórea

Propiedad de los datos

Red de Monitoreo del Índice Costarricense de Calidad del Aire

Relación con el PEM 2018-2022

No aplica

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2010. Manual 1. Principio de la medición de la calidad del aire. México. Consultado 4 feb. 2019. Disponible en <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- MINAE-S. 2016. Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio. Decreto Ejecutivo No. 39951-S, La Gaceta No. 209. San José, Costa Rica. Consultado 4 feb. 2019. Disponible en http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/reglamento_calidad_del_aire_contaminantes_criterio.pdf
- Rice, C. 2015. The ecosystem service of forest improving air quality: A literature review. Tesis de Maestría. North Carolina State University. Raleigh, North Carolina, USA. P. 43
- Sexto Informe de la Calidad del Aire: GAM 2013-2015. Universidad Nacional, Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud, Ministerio de Obras Públicas y Transportes y Municipalidad de San José. 64 pp.

Indicador

Nombre del indicador

Proporción de cobertura de vegetación

Relevancia del indicador

El clima local puede verse muy afectado por la estructura física de una ciudad. Los cambios que se dan en la radiación neta, el almacenamiento de calor y el calor producido por los diferentes tipos de uso del suelo urbano (centros urbanos y parques) determinan grandes diferencias en la temperatura del aire interurbano y, por lo tanto, pueden ayudar a la formación de islas de calor urbano.

Durante muchos años se ha estudiado el efecto que tienen las áreas verdes y la vegetación sobre la temperatura del aire en zonas urbanas. Se han evaluado los beneficios que brindan la vegetación y principalmente los árboles en las ciudades y se ha demostrado que un solo árbol o un solo grupo de árboles puede tener efectos positivos sobre la temperatura ambiental urbana. Los parques de gran tamaño se han caracterizado por presentar temperaturas más bajas que sus alrededores y pueden extender sus efectos positivos a las zonas urbanizadas aledañas y carreteras cercanas disminuyendo la temperatura del aire.

Objetivo

Identificar los cambios en la proporción de suelo cubierto por vegetación en el mediano y largo plazo en el cantón de Curridabat, con la finalidad de regular la temperatura urbana.

Variables

Superficie (ha) anual cubierta por vegetación

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución especial

Escala 1:1000

Unidades en las que se expresa

Porcentaje de cambio o hectáreas

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

El mapa de cobertura de vegetación del 2017 se obtuvo a través de ortofotos, con una resolución de 1:1000. Sin embargo, para futuros monitoreos de la cobertura del cantón, se recomienda el análisis a través de la clasificación de imágenes satelitales, ya que no siempre se dispondrá de ortofotos.

Para evaluar la extensión de cobertura de la vegetación, se recomienda hacer un análisis multitemporal de las imágenes satelitales disponibles para el cantón a lo largo de distintas fechas de interés.

Se presentan los distintos pasos a seguir para obtener la cobertura de vegetación:

1. Realizar el preprocesamiento (ortocorrección) de las imágenes. Se recomiendan distintos softwares especializados como ERDAS IMAGINE, QGIS, R, entre otros.
2. Clasificar las imágenes (con los softwares mencionados anteriormente) a través de la Metodología de Teledetección Supervisada y No Supervisada.

Supervisada: donde el usuario selecciona muestras representativas para cada una de las clases que desea identificar en la imagen con el algoritmo de máxima probabilidad.

No Supervisada: donde cada píxel de la imagen es asociado a una clase espectral sin que el usuario tenga un conocimiento previo del número o

identificación de las diferentes clases presentes en la imagen, a través de algoritmos de agrupamiento.

3. Validar la clasificación de las imágenes (ráster de vegetación) por medio de trabajo de campo.
4. Finalmente, se debe realizar una matriz de contingencia con el objetivo de determinar qué porcentaje de los píxeles definidos en una firma espectral se clasificaron correctamente.

Otra metodología que se puede implementar, es el Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI), el cual consiste en combinar los valores de las bandas 3 (roja) y 5 (infrarrojo cercano, NIR) de la imagen satelital para determinar la existencia de vegetación.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR band} - \text{Red band}}{\text{NIR band} + \text{Red band}}$$

Los valores del NDVI oscilan entre -1 a 1, no obstante, la ausencia de vegetación verde generalmente produce valores cercanos a cero. Por lo tanto, cero indica sitios sin vegetación y +1 muestra alta densidad de vegetación verde.

Formas de presentación más efectivas

- Mapas de cobertura de la vegetación, indicando los cambios anuales por píxel.
- Gráfico de barras mostrando los cambios en el porcentaje/área de suelo cubierto por vegetación a lo largo del tiempo

Límites de la utilidad y precisión

La estimación de la disminución de la temperatura ambiental debido a la vegetación no es fácil de medir. Se puede esperar una reducción de la temperatura promedio de alrededor de 0.8 °C cuando se da un aumento del 10% en la proporción de zonas verdes comparadas con áreas urbanizadas.

La cifra que brinda el indicador por sí sola no da información de la calidad, del tipo de vegetación ni de la biodiversidad presente. El indicador, por ejemplo, no proporciona información sobre la degradación de la tierra o restauración presente en el cantón.

Periodicidad: Bianaual (cinco años)

Indicadores estrechamente vinculados

- Riqueza y abundancia de especies de flora y fauna
- Índice de calidad del aire
- Almacenamiento y secuestro de carbono
- Cambio en la densidad arbórea
- Consumo de energía eléctrica

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de Acceso a Destinos Deseados

Objetivo 2) Introducir un nuevo paradigma de movilidad con un orden jerárquico en el uso del derecho de vía en Curridabat, poniendo como elemento central a las personas en su condición humana y su accesibilidad. **Meta 2.5)** Sembrar plantas y/o árboles en al menos 2000 metros lineales de corredores peatonales anualmente, según criterios de Ciudad Dulce.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Cao X, Onishi A, Chen J, Imura H. 2010. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning* 96(4): 224–231. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.03.008
- Dimoudi A, Nikolopoulou M. 2003. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35: 69–76. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00081-6.
- Grande Ayala, C.E. 2014. Análisis de la cobertura vegetal del Área Metropolitana de San Salvador y determinación de Índices de cobertura vegetal del municipio de Antiguo Cuscatlán. Conference Paper. Consultado 2 feb. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/317552540_Analisis_de_la_cobertura_vegetal_del_Area_Metropolitana_de_San_Salvador_y_determinacion_de_Indices_de_cobertura_vegetal_del_municipio_de_Antiguo_Cuscatlan
- Petralli, M.; Massetti, L.; Brandania, G. & Orlandinia, S. 2014. Urban planning Indicators: useful tools to measure the effect of urbanization and vegetation on summer air temperatures. *International Journal of Climatology*. 34: 1236-1244.

Indicador

Nombre del indicador

Índice biótico del suelo (IBS)

Relevancia del indicador

La urbanización de las ciudades afecta directamente el suelo. Las construcciones de edificios y la pavimentación, impermeabilizan en distintos grados el suelo y afectan negativamente el desarrollo de ecosistemas, disminuyendo completamente su producción primaria. Los procesos de impermeabilización generan impacto sobre la estructura del suelo e impiden la infiltración, pudiendo llegar a generar respuestas imprevisibles como la afectación al caudal ecológico e inundaciones de gran impacto.

El índice biótico del suelo es un valor que indica la relación entre las superficies funcionalmente significativas en el ciclo natural y la superficie total de una zona de estudio. Existen 3 clases de tipos de superficies del suelo, dependiendo de su permeabilidad y naturaleza: suelos con superficies permeables, suelos con superficies semipermeables y suelos impermeables.

Objetivo

Evaluar cambios en el índice biótico del suelo a mediano y largo plazo en el cantón de Curridabat.

Variables

- Tipos de superficie
- Área muestreada (ha) por tipo de superficie

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

A nivel de barrios, municipios y cantón

Unidades en las que se expresa

No aplica

Descripción de los datos de origen

No cuenta con línea base

Método y esfuerzo

Para calcular el IBS, se le asigna un valor a cada tipo de suelo, el cual oscila entre 0 y 1 de acuerdo al grado de permeabilidad y condición del suelo. Aquellos suelos completamente permeables, se les asigna un 1 y para los suelos impermeables un 0. Entre los valores 0 y 1 existen tipos de suelo intermedios, como la superficie de vegetación sobre edificios o casas, así como también paredes verdes que favorecen la infiltración del agua y hábitat para la biodiversidad.

A continuación, se presentan los diferentes tipos de superficies que pueden presentarse en áreas urbanas y su factor correspondiente:

Tipos de superficie	Factor (fi)	Descripción
Superficies impermeables	0	Pavimento impermeabilizado respecto al agua y al aire. Sin funciones ecológicas. Por ejemplo: asfalto, adoquines, edificios, construcciones, etc.
Superficies impermeabilizadas parcialmente	0.3	Pavimentos que permiten el traspaso de aire y agua. Normalmente sin plantaciones. Ejemplo: pavimentos de piedra, con caja de pavimentos de grava y arena.
Superficies semipermeables	0.5	Pavimento que permite el traspaso de aire y agua, e infiltración, con plantaciones. Ejemplo: pavimento de piedra, con caja de pavimento de grava/arena.

Tipos de superficie	Factor (fi)	Descripción
Espacios verdes sin conexión con suelo natural	0.5	Espacios con vegetación sobre parqueos subterráneos, (eco-parkings) cubiertas verdes intensivas con menos de 80 cm de tierra vegetal fértil
Espacios verdes sin conexión con suelo natural	0.7	Espacios con vegetación con más de 80 cm de tierra vegetal fértil
Espacios verdes con conexión con suelo natural	1	Suelos con estructura edafológica natural. En ellos se desarrolla flora y fauna.
Infiltración de aguas pluviales en m ²	0.2	Espacios verdes que permiten la infiltración hacia las capas freáticas
Verde vertical (hasta 10 metros)	0.5	Paredes y muros cubiertos de vegetación
Cubiertas verdes	0.7	Techos cubiertos de vegetación que permiten recoger el agua de la lluvia. Extensivas o intensivas, con más de 80 cm de tierra fértil

Una vez que se le asigna el valor a cada tipo diferente de suelo en el área de estudio, el índice se calcula de la siguiente manera:

$$\text{IBS (\%)} = \left[\frac{\sum (\text{factor de permeabilidad del suelo} \times \text{área})}{\text{área total}} \right]$$

Formas de presentación más efectivas

Mapas del área de estudio representando el IBS (porcentaje) en las diferentes zonas del cantón a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

Dentro del parámetro de evaluación del IBS, se recomienda que el valor mínimo del índice sea mayor o igual a un 20% y el valor deseable sea mayor a 30%.

Periodicidad

Anual

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción del área cubierta por vegetación
- Cambio en la densidad arbórea
- % de área urbana dedicada a huertos urbanos
- Área de espacios públicos verdes
- Diversidad y composición de especies de flora
- Cambio en la cobertura del suelo
- Proporción de áreas naturales en la ciudad

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

No aplica

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. 2010. Plan de indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria-Gasteiz. Departamento de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Vitoria Gasteiz, España. 477 P.
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. S.f. Sistema de indicadores condicionantes para ciudades grandes y medianas. Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Ministerio de Fomento. Gobierno de España, España. 81 P.
- Morales Cerdas, V.; Piedra Castro, L.; Romero Vargas, M. & Bermúdez Rojas, T. 2018. Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. Rev. Biol.Trop. 66 (4):1421-1435.

Indicador

Nombre del indicador

Índice de calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón

Relevancia del indicador

El agua es vital para sustentar la vida, sin embargo, esta debe mantener un nivel de calidad adecuado para que cumpla con esta función. Para ello, es necesario monitorear y evaluar sus características físicas, químicas y bacteriológicas, propias de los ecosistemas acuáticos, mediante índices de calidad de agua (ICA), que combinan una serie de variables o parámetros, generando una escala numérica representativa del grado de contaminación del cuerpo de agua.

El indicador refleja la alteración potencial de la calidad de los sistemas hídricos superficiales en una subzona hidrográfica dada. Permite conocer a través del tiempo si la calidad del agua mejora, se mantiene o pierde calidad como consecuencia de modificaciones en el uso del suelo y la cobertura forestal.

Objetivo

Detectar cambios de parámetros físico-químicos de los ríos y quebradas del cantón a mediano y largo plazo.

Variables

- El cálculo del índice de calidad de agua está basado en los siguientes parámetros:
- Oxígeno Disuelto (OD % de saturación)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ en mg/L)
- Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄⁺ en mg/L)

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

A nivel de ríos y quebradas

Unidades en las que se expresa

Al ser un índice no cuenta con una unidad específica ya que es una combinación de muchas variables.

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

Para conocer la calidad del agua de un sitio determinado, se recomienda usar el Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los cuerpos de agua superficiales, el cual mide parámetros físico-químicos. Entre ellos, el Oxígeno Disuelto (OD), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y el Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄⁺). El OD es un parámetro que se mide en el campo, así como la temperatura del cuerpo de agua donde se tomen las muestras. Con la medición del OD se puede calcular el Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO), parámetro necesario para la clasificación de la calidad del agua.

Las muestras se colectan de forma superficial y se pueden utilizar las siguientes metodologías:

- PSO: sonda multiparamétrica
- Nitrógeno Amoniacal: Espectrofotometría
- DBO₅: OxiTop

Para la clasificación del agua superficial se requiere sumar los puntos correspondientes de cada parámetro de acuerdo al siguiente cuadro.

Cuadro de asignación de puntaje según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores.

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH+4 (mg/L)
1	91-100	<=3	<0.50
2	71-90 111-120	3.1-6.0	0.50-1.0
3	51-70 121-130	6.1-9.0	1.1-2.0
4	31-50	9.1-15	2.1-5.0
5	<=30 y >130	>15	>5.0

Una vez sumados los puntos, se interpreta de acuerdo con un código de colores que clasifica la calidad del agua de acuerdo al grado de contaminación propio según el siguiente cuadro. Finalmente, para cada clase desde la 1 a la 5 y su asignación correspondiente de color, queda definida el estado de la calidad del agua en un punto determinado.

Cuadro de asignación de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.

Clase	Sumatoria de puntos	Código de color	Interpretación de Calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4-6	Verde	Contaminación incipiente
3	7-9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10-12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13-15	Rojo	Contaminación muy severa

El monitoreo de las variables debe realizarse en distintos puntos del cauce del río (a lo largo del cauce principal, en la unión de cada río tributario, antes y después de poblados) tanto en la parte alta, media y baja de la cuenca de interés.

Es importante tomar en cuenta los siguientes criterios de selección del sitio de monitoreo:

- Condiciones generales y problemas relativos al agua
- Centros potenciales de desarrollo industrial y urbano
- Tendencias de la población
- Clima, geografía y geología
- Asequibilidad
- Mano de obra disponible, fondos, medios para el proceso de datos sobre el terreno y en laboratorio
- Consideraciones interjurisdiccionales
- Duración del transporte de muestras inestables hasta el laboratorio
- Facilidad de realizar mediciones hidrométricas o que se realicen
- Acción del fondo implementada
- Seguridad del personal

Formas de presentación más efectivas

Gráficos de barras representando el Índice de Calidad del Agua (ICA) en diferentes tramos del río o quebrada (área de estudio) muestreada a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

El indicador de calidad del agua representa la condición del agua en el momento del muestreo, no muestra una tendencia a través del tiempo.

Por otro lado, el indicador no es capaz de integrar la complejidad de los fenómenos naturales y la variabilidad climática, impidiendo conocer las posibles fuentes de contaminación.

Cuerpos de agua superficiales con tipos de contaminación y orígenes distintos, pueden quedar registrados en una misma categoría de calidad.

Periodicidad

Se recomienda hacer el monitoreo mensual, resaltando la temporada seca, de transición y lluviosa

Indicadores estrechamente vinculados

- Índice Biótico de Macro invertebrados Acuáticos
- Caudal del agua de los ríos y quebradas
- Proporción de cobertura de vegetación ribereña
- Riqueza de especies de peces
- Cambio en la cobertura del uso del suelo

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la Gota de Agua

Objetivo 5) Mejorar la calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón y la diversidad de especies asociadas al recurso hídrico. **Meta 5.2)** Realizar para el año 2020 al menos 10 acciones administrativas de carácter interinstitucional para mantener o

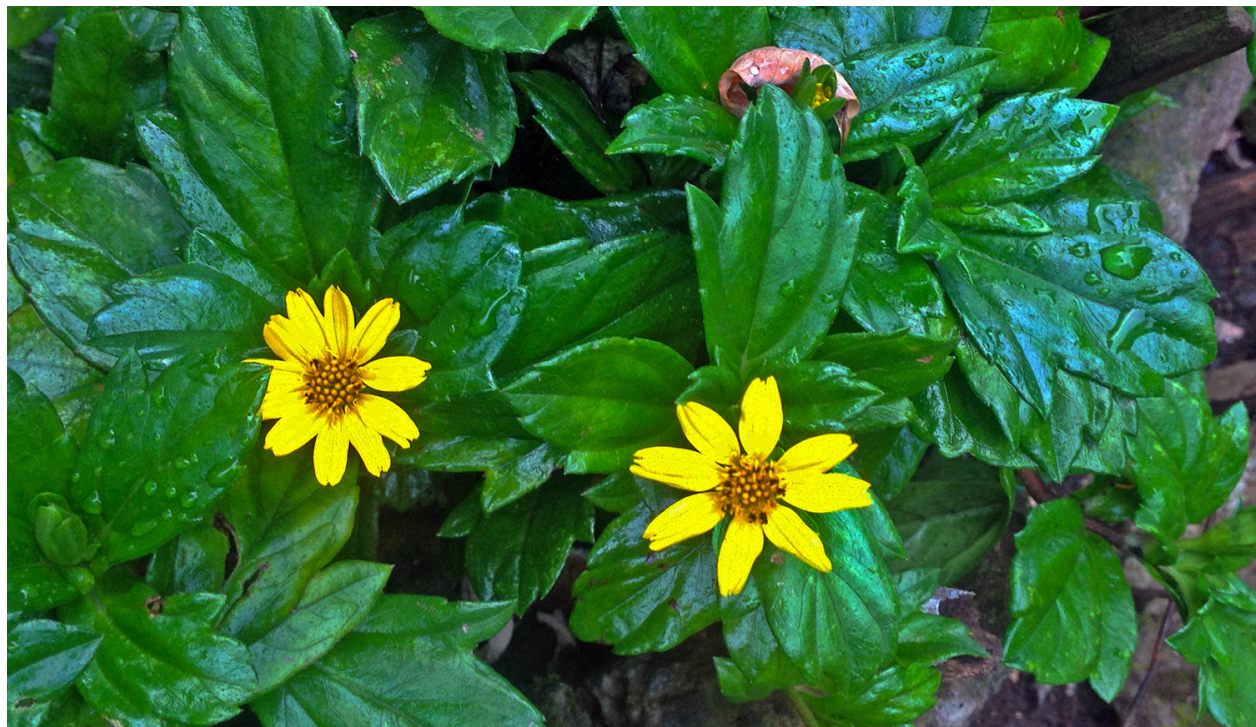
mejorar los índices de calidad del agua en el cantón. **Meta 5.3)** Mejorar la calidad del agua de los ríos María Aguilar y Tiribí a la salida del cantón, pasando de nivel 5 a nivel 4 para el año 2022.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Mora Molina, J. & Brenes Calvo. 2011. Evaluación y clasificación de la calidad de varios cuerpos de agua en la Península de Osa. Tecnología en Marcha 24(3): 15-29.
- MINAE-S. 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Decreto Ejecutivo No. 33903, La Gaceta No. 178. San José, Costa Rica. Consultado 25 feb. 2019. Disponible en http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/de-33903reglamento_evaluacion_clasificacion_cuerpos_de_agua_0.pdf
- Robledo, J.; Vanegas Chacón, E.A. & García Álvarez, N. 2014. Aplicación del Sistema Holandés para la evaluación de la calidad del agua. Caso de estudio Lago de Izabal, Guatemala. Ingeniería Agrícola 4 (2): 15-21.



Indicador

Nombre del indicador

Cambio en la abundancia y riqueza de angiospermas (flora dulce)

Relevancia del indicador

La polinización es un servicio ecosistémico que brinda apoyo tanto a la flora silvestre como a los cultivos manipulados. Dentro del entorno urbano, el mantenimiento de las poblaciones de plantas con flores puede depender de las especies polinizadoras (insectos, aves, murciélagos) que habitan las ciudades. En los últimos años se ha dado una creciente preocupación por varios grupos de polinizadores, los cuales han estado disminuyendo en paisajes intensamente gestionados y transformados. Una disminución en la abundancia y diversidad de los polinizadores puede dar como resultado una limitación en la producción del polen y una reducción en el éxito reproductivo de las plantas. Al mismo tiempo, una baja diversidad de plantas puede mantener menos especies de polinizadores. Los entornos urbanos pueden proporcionar una gama de recursos para los polinizadores, incluidos sitios de anidación y recursos nutricionales, por ejemplo, en jardines, zonas verdes y a lo largo de carreteras.

Objetivo

Evaluar los cambios en la abundancia y riqueza de angiospermas presentes en los parques y zonas verdes del cantón de Curridabat.

Variables

- Abundancia relativa de las diferentes especies de angiospermas
- Riqueza de angiospermas

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

- Número de especies
- Número de individuos por especie

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

Se describe la metodología y el diseño de muestreo propuesto durante el levantamiento de la línea base (para mayor detalle ver el informe del Estudio sobre biodiversidad de Polinizadores de Curridabat, Municipalidad de Curridabat).

El inventario de la riqueza de las especies de flora dulce en el cantón, se realiza por medio de observaciones in situ de las especies herbáceas, arbustivas, arbóreas y trepadoras realizando recorridos aleatorios por toda el área de cada sitio de estudio. Cada especie es anotada y fotografiada para la posterior elaboración de una guía de especies. La identificación de las especies se realiza a través de observación directa en campo, con la ayuda de guías, expertos y comparación con especímenes del herbario de la Universidad de Costa Rica.

Por otro lado, la abundancia relativa y frecuencia relativa de plantas arbóreas, arbustivas, bejucos y herbáceas mayores a 50 cm de altura, se determina mediante el establecimiento de parcelas aleatorias, de forma rectangular de 1000 m² (100x10 m) en cada uno de los sitios de estudio.

La abundancia relativa se calcula con la siguiente fórmula:

$$A_i = (n_i / N) * 100$$

A_i: Abundancia relativa, proporción de individuos de cada especie con relación al total de individuos que conforman la comunidad.

n_i: número de individuos de la especie

N: número total de individuos para todas las especies de la comunidad

La frecuencia relativa de cada especie se calcula de la siguiente manera:

$$F_i = Np_i / Ntp$$

F_i: Frecuencia relativa de cada especie

Np_i: Número total de parcelas o subparcelas donde se presenta la especie

Ntp: Número total de parcelas o subparcelas

Además, se calcula un Valor de Importancia Relativo (VIR) para cada especie, como la sumatoria de la abundancia relativa y la frecuencia relativa.

Formas de presentación más efectivas

- Gráficos de tendencias de cambio relativo por especie
- Diagramas de ordenación para mostrar los cambios en la composición de la comunidad
- Gráficos o tablas temporales con el cambio porcentual entre especies especialistas y generalistas

Límites de la utilidad y precisión

La evaluación de composición de angiospermas requiere estudios botánicos completos y un identificador de especies.

Periodicidad

Cada dos años

Indicadores estrechamente vinculados

- Cambio en la abundancia y riqueza de polinizadores
- Proporción del área cubierta por vegetación
- Cambio en la densidad arbórea
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Cambio de especies nativas

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la Gota de Agua

Objetivo 5) Mejorar la calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón y la diversidad de especies asociadas al recurso hídrico. **Meta 5.4)** Mejorar en un 5% el índice de biodiversidad y riqueza de especies para la flora del cantón para el año 2022.

Experiencia de Alimentación Consciente

Objetivo 3) Promover el cultivo de especies vegetales para consumo en áreas verdes del cantón, con la participación de la comunidad en su vigilancia y mantenimiento. **Meta 3.1)** Obtener información y datos sobre la biodiversidad de la flora presente en el cantón para el año 2019.

Experiencia de la Lombriz de la Tierra

Objetivo 4) Rehabilitar los suelos del cantón logrando el ciclo cerrado de nutrimentos para el aumento de su productividad. **Meta 4.3)** Elaborar un plan de manejo de los árboles del cantón que incluya inventario y proceso de certificación de cantón carbono neutro para el año 2020.

Experiencia de Acceso a Destinos Deseados

Objetivo 2) Introducir un nuevo paradigma de movilidad con un orden jerárquico en el uso del derecho de vía en Curridabat, poniendo como elemento central a las personas en su condición humana y su accesibilidad. **Meta 2.5)** Sembrar plantas y/o árboles en al menos 2000 metros lineales de corredores peatonales anualmente, según criterios de Ciudad Dulce.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

Farruggia, F., M.H. Stevens & M.A. Vincent. 2008. A floristic description of a Neotropical coastal savanna in Belize. *Caribbean J. Sci.* 44: 53-69.

Henning, E.I. & Ghazoul, J. 2012. Pollinating animals in the urban environment. *Urban Ecosyst* 15:149-166.

Martínez-A, D.; Oviedo Brenes, F.; Jiménez, J.E.; Matamoros-Calderón, W. & Chacón-Monge, J.L. 2018. Estudio sobre Biodiversidad de Polinizadores de Curridabat. Informe de consultoría. Municipalidad de Curridabat.

Zarco-Espinoza, V.M.; Valdez-Hernández, J.I.; Ángelez-Pérez, G.; Castillo-Acosta, O. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad u Ciencia* 26(1): 1-17.



Indicador

Nombre del indicador

Cambio en la abundancia y riqueza de polinizadores (abejas, mariposas, colibríes)

Relevancia del indicador

La expansión urbana es una amenaza creciente para la biodiversidad, especialmente en sitios con alta riqueza de especies. Las abejas y otros polinizadores son especies amenazadas que brindan importantes servicios ecosistémicos, no obstante, suelen ser muy sensibles a los cambios en el uso de la tierra.

Objetivo

Identificar los futuros cambios en la abundancia y riqueza de los polinizadores presentes en el cantón de Curridabat.

Variables

- Abundancia relativa de las diferentes especies de polinizadores
- Riqueza de especies polinizadoras

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

- Número de especies
- Número de individuos por especie

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

La metodología, el diseño de muestreo y la frecuencia dependerán de las especies seleccionadas.

Lepidoptera

Se realizan dos muestreos por cada sitio de interés, durante 4 horas por sitio. Para el inventario de las especies, se realizan caminatas en toda el área de estudio durante dos horas colectando los especímenes con una red de golpe y realizando observaciones de interacciones polinizador-planta. Se identifican las especies de planta observadas en el sitio o se toma una fotografía para la posterior identificación.

Una vez finalizado el muestreo en campo, se realiza el conteo del número de individuos de cada morfoespecie y se guardan los especímenes para su futura identificación.

Hymenoptera

Se realizan dos muestreos por cada sitio de interés durante horas de la mañana y se observan los parches de vegetación con flores, además de otros recursos importantes para las abejas (árboles ricos en resinas o aceites, cuerpos de agua, sus nidos).

La colecta de especímenes se realiza con redes y aspiradores entomológicos, pinzas y frascos con alcohol (70%). En cada parche que se muestrea, durante cinco minutos se realizan golpes con la red sobre las partes aéreas de las plantas, y se cuantifican y clasifican los organismos capturados. Posteriormente se realiza la identificación de las especies a través de guías específicas o con la ayuda de expertos.

La información de la abundancia y riqueza de las especies, se presentan a través de histogramas y los análisis de similitud y heterogeneidad entre los distintos sitios de estudio con el programa Primer 6.1.4. Se calcula el índice de Bray-Curtis y el de Shannon-Wiener para presentar la similitud y heterogeneidad entre sitios respectivamente.

Trochilidae

Se implementa el método de búsqueda de área intensiva, donde se hacen recorridos por toda el área de estudio durante horas de la mañana (5:45-10:30 am). La identificación de las especies se realiza a través de la detección visual directa y auditiva (cantos o vocalizaciones). Además, se observan las plantas que son visitadas por los colibríes, así como el número de individuos presentes.

Formas de presentación más efectivas

- Mapas de distribución de especies polinizadoras
- Gráficos de tendencias de cambio relativo por especie
- Diagramas de ordenación para mostrar los cambios en la composición de la comunidad
- Gráficos o cuadros temporales con el cambio porcentual entre la especie especialista y generalista

Límites de la utilidad y precisión

Monitorear las tendencias de las poblaciones de varias especies a una escala de paisaje, puede ser excesivamente costoso. Por otro lado, los sitios a menor escala pueden no ser suficientes para detectar cambios en un paisaje variable con múltiples factores influyendo sobre las poblaciones de polinizadores.

Por otro lado, se conoce poco sobre las relaciones entre el tiempo y el clima, los polinizadores y las plantas para muchas especies. Para evaluar/interpretar los efectos causales entre el cambio climático y los cambios en la composición de los polinizadores y cómo esto afecta a la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, se necesita información adicional sobre aspectos sensibles al clima e interacciones entre especies y el papel de las diferentes especies de polinizadores en el ecosistema.

Es requisito conocer la información sobre el rol de especies especialistas en comparación con generalistas de diferentes polinizadores. Dicha información

permitirá estimar mejor los efectos potenciales de los cambios en los gremios específicos de los animales sobre otras especies y funciones de los ecosistemas.

Periodicidad

Cada dos años

Indicadores estrechamente vinculados

- Cambio en la riqueza de especies de flora dulce
- Proporción del área cubierta por vegetación
- Cambio en la densidad arbórea
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Cambio de especies nativas

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la Gota de Agua

Objetivo 5) Mejorar la calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón y la diversidad de especies asociadas al recurso hídrico. **Meta 5.5)** Disponer de 6 índices adicionales sobre biodiversidad y riqueza de especies en el cantón (aves, mariposas, abejas, murciélagos, peces, escarabajos) para el año 2019.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Guenat, S.; Kunin, W.; Dougill, A.; Dallimer, M. 2018. Effects of urbanization and management practices on pollinators in tropical Africa. *J. Appl Ecol.* 56:214-224.
- Martínez-A, D.; Oviedo Brenes, F; Jiménez, J.E.; Matamoros-Calderón, W. & Chacón-Monge, J.L. 2018. Estudio sobre Biodiversidad de Polinizadores de Curridabat. Informe de consultoría. Municipalidad de Curridabat.
- Theodorou, P.; Radzeviciute, R.; Settele, J.; Schweiger, O.; Murray, T.E.; Paxton, R.P. 2016. Pollination services enhanced with urbanization despite increasing pollinator parasitism. *Proc. R. Soc. B* 283: 20160561. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2016.0561>

Indicador

Nombre del indicador

Almacenamiento y secuestro de carbono

Relevancia del indicador

La vegetación arbórea y los bosques presentan la mayor reserva de carbono en la tierra. Actúan como importantes fuentes y sumideros de carbono en la naturaleza. La medición de stocks de carbono en ecosistemas forestales es importante para evaluar la productividad y la sostenibilidad del bosque. Permite evaluar la cantidad de carbono que es perdido durante procesos de deforestación o la cantidad de carbono que un bosque puede almacenar cuando se regenera. La evaluación precisa de las estimaciones de biomasa de un bosque es importante para muchas aplicaciones, como la extracción de madera, el seguimiento de los cambios en las reservas de carbono del bosque y el ciclo global del carbono. Tiene además el potencial de formar un componente principal en la mitigación del calentamiento global y la adaptación al cambio climático.

Las estimaciones de carbono forestal a lo largo del tiempo comprenden el seguimiento de los cambios en las reservas de carbono como consecuencia de modificaciones en el uso del suelo y la cobertura forestal.

Objetivo

Evaluar los cambios en las reservas de carbono almacenados en los sitios públicos pertenecientes a la Municipalidad como parques y zonas verdes de protección dentro del cantón de Curridabat a mediano y largo plazo, con la finalidad de determinar el potencial de remoción de gases de efecto invernadero a futuro.

Variables

- Diámetro a la altura del pecho (DAP)
- Altura total (Ht)
- Diámetro de copa (Dc)
- Cantidad de árboles por especie
- Cantidad de individuos en el parque
- Cantidad de individuos por parcela/hectárea
- Cálculo de área basal (G/ha)
- Cálculo de volumen (V/ha)
- Valores de densidad de la madera
- Factor de forma (ff)
- Factor de expansión de biomasa aérea (feba)
- Factor de expansión de biomasa en el suelo (febs)
- Fracción de carbono (FC)
- Fracción de Dióxido de carbono (FCO₂)
- Cálculo del dióxido de carbono fijado (Ton CO₂)
- Cálculo de oxígeno generado

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución especial

No aplica

Unidades en las que se expresa

- Toneladas de CO₂
- Toneladas de O₂ generado

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

La metodología presentada a continuación corresponde a la misma utilizada durante el levantamiento de información de línea base (para mayor detalle ver el Informe del Inventario Forestal para el almacenamiento y secuestro de carbono en el Cantón de Curridabat).

El área de estudio consistió en los parques municipales con carácter vegetal y las zonas de protección de los ríos y afluentes del cantón exceptuando el río María Aguilar.

Metodología

Se realiza un censo del 100% de los árboles presentes en el área de estudio que cuentan con un DAP ≥ 15 cm y se utiliza la siguiente fórmula.

Cálculo del dióxido de carbono fijado (Ton CO₂), fórmula del IPCC 2006.

$$CO_2 = d^2 * \frac{\pi}{4} * H * ff * pe * feba * febs * FC * FCO_2$$

Donde:

d: Diámetro a la altura del pecho (m)

h: Altura total (m)

ff: Factor de forma

pe: Peso específico (densidad de la madera) (gm-3)

feba: Factor de expansión de biomasa aérea

febs: Factor de expansión de biomasa en suelo

FC: Fracción de carbono

FCO₂: Fracción de dióxido de carbono

Formas de presentación más efectivas

Gráficos de tendencias (aumento/disminución) del almacenamiento de carbono en el cantón de Curridabat a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

Debido a que existen muchas metodologías que permiten cuantificar los stocks de carbono, es importante que a la hora de realizar extrapolaciones

espaciales y analizar cambios temporales de datos sobre carbono en distintos sitios, se utilice la misma metodología que fue empleada al cuantificar los valores iniciales. La utilidad y el valor de los datos de carbono va a depender de lo siguiente:

- Descripción adecuada del método utilizado al seleccionar las parcelas
- Integridad de los registros que permiten interpretar la parcela como parte de un sistema de uso de la tierra con periodo de tiempo e intensidad conocidos
- Representatividad del conjunto de parcelas para representar el dominio (ej, según variaciones climáticas, en la tierra y en la accesibilidad)
- Descripción adecuada del método utilizado en la medición, incluyendo el tamaño de la muestra o la intensidad de muestreo utilizada en muestreos "sin parcela"
- Viabilidad de los datos primarios y posibilidad de realizar cálculos adicionales.

Si alguna de estas cuestiones se viese afectada, los datos podrían resultar sospechosos para su utilización.

Por otro lado, la literatura indica que las densidades de carbono son muy variables entre diferentes comunidades forestales y entre la misma comunidad forestal en diferentes localidades. Por tal motivo, es importante extrapolar las densidades de carbono de bosques similares de localidades lo más adyacentes posibles al lugar del estudio.

Periodicidad

Cada cinco años

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de cobertura de vegetación/ ribereña
- Riqueza y abundancia de especies de flora
- Cambio en la densidad arbórea
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Proporción de áreas naturales en la ciudad

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la Lombriz de la Tierra

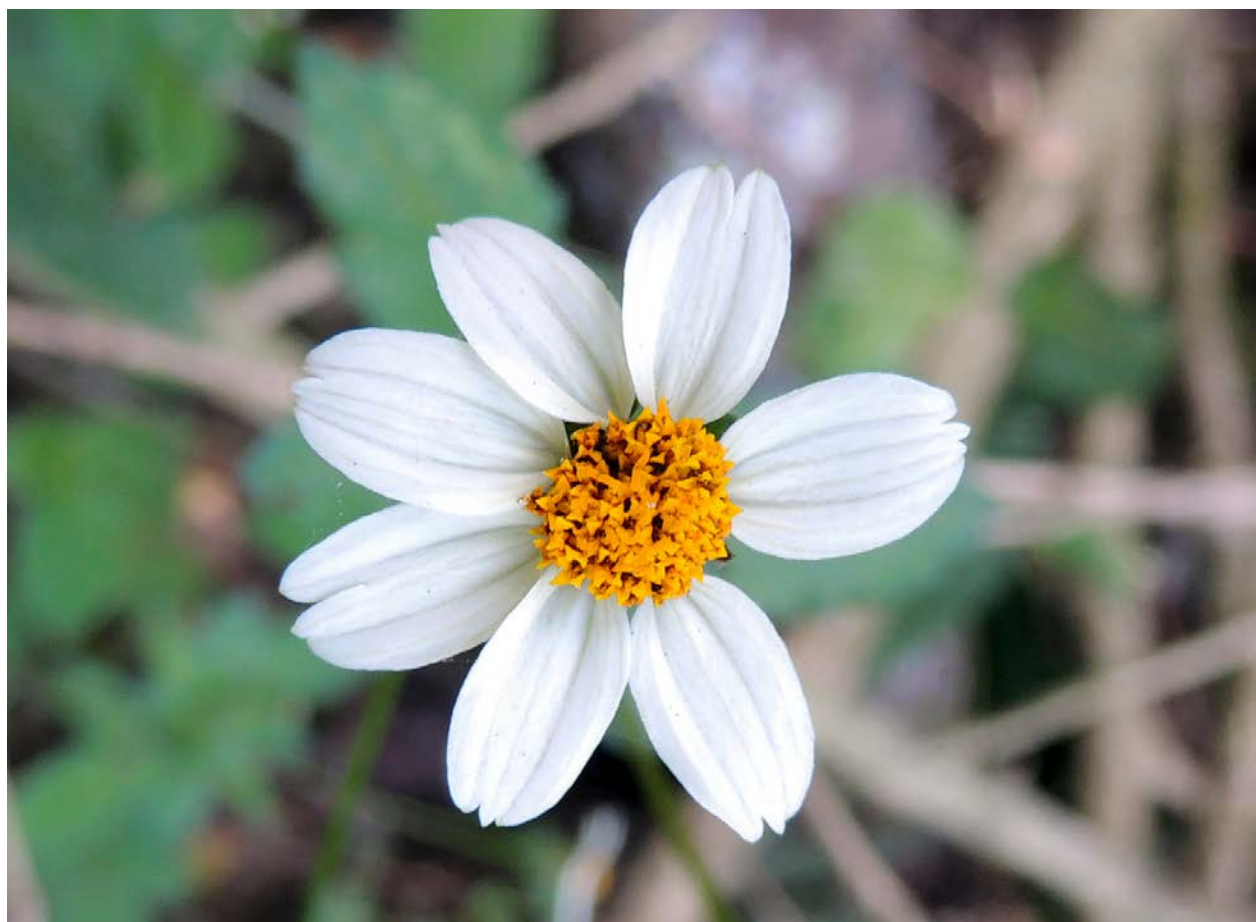
Objetivo 4) Rehabilitar los suelos del cantón logrando el ciclo cerrado de nutrimentos para el aumento de su productividad. **Meta 4.3)** Elaborar un plan de manejo de los árboles del cantón que incluya inventario y proceso de certificación de cantón carbono neutro para el año 2020.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Aalde, H.; González, P. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Backer, T. & Aguilar-Amuchastegui, N. 2014. Estimando los stocks de carbono forestal tropical a partir de información de inventario existente. WWF Perú, WWF Forest and Climate Program. Lima, Perú. 13 p.
- Global Code Technology. 2018. Inventario Forestal para el almacenamiento y secuestro de carbono en el Cantón de Curridabat. Informe Final. Ciudad Dulce, Municipalidad de Curridabat. 72 p.
- INTECO (2006) INTE ISO 14064-2: 2006 "Gases de efecto invernadero-Parte 2: especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero (Primera edición) (INTECO, Ed.) San José, Costa Rica: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO.



Indicadores de Servicios Culturales

Cuadro 4

Identificación de indicadores de los servicios ecosistémicos culturales de regulación de las acciones Municipales para promover la conservación de infraestructura verde en el cantón de Curridabat

Servicio ecosistema	Indicador
Recreación	Número y área de sitios de importancia (espacios de yoga, bibliotecas móviles, espacios de ejercicio, parques de perros) para los habitantes
Beneficios estéticos	Superficie verde por habitante (SvHab)
Desarrollo cognitivo, Valores de lugar y salud mental	Porcentaje de la población que visita parques o áreas verdes diariamente y su tiempo de visita

Indicador

Nombre del indicador

Número y área de sitios de importancia (espacios de yoga, bibliotecas móviles, espacios de ejercicio, parques de perros, centros de desarrollo humano) para los habitantes

Relevancia del indicador

Existen varios estudios acerca de los beneficios que generan los espacios verdes urbanos al bienestar humano en términos de relajación, ejercicio y socialización. Estas actividades brindan muchos beneficios a los usuarios incluyendo una mejor salud física, bienestar mental y disminución del estrés, así como, altos niveles de interacción social, mayor sentido del lugar y un mayor conocimiento del ambiente. No obstante, uno de los servicios ecosistémicos culturales que cuenta con pocos estudios corresponde a la espiritualidad e identidad local y generalmente se asocia a sitios sagrados. El valor de conservación de sitios sagrados se reconoce porque generalmente presenta una alta riqueza de especies y biomasa con relación a lugares aledaños. Dentro del contexto urbano, se ha evaluado muy poco los servicios ecosistémicos que brindan los

sitios sagrados como las áreas verdes de las iglesias y templos, cementerios y en el caso particular de Curridabat, espacios de dulzura, espacios de yoga, áreas donde se ubican las bibliotecas móviles, zonas de ejercicio al aire libre, zonas de contemplación de arte o naturaleza (murales, esculturas, Parque del Recuerdo) y las zonas establecidas para llevar a caminar a las mascotas.

Objetivo

Identificar el número y el área dedicada a los diferentes sitios de importancia (espacios de yoga, bibliotecas móviles, espacios de ejercicio, parques de perros) para los habitantes del cantón de Curridabat.

Variabes

- Número total
- Área total de sitios de importancia

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

Hectáreas o metros cuadrados

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

La identificación del número y área total de sitios de importancia del cantón, se realiza a través de información primaria suministrada por la municipalidad y a través de ortofotos, interpretación de imágenes satelitales o cuando es posible con la ayuda de Google Earth. Se realiza una digitalización de las áreas de los sitios de importancia, se crean los polígonos y se calcula el área total (m²).

Formas de presentación más efectivas

- Mapa de los sitios de importancia
- Gráfico de barras representando las áreas dedicadas a los distintos sitios de importancia a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

Es posible que existan otros sitios importantes que brindan el servicio ecosistémico de espiritualidad e identidad local que no están siendo contemplados dentro de éste indicador; por lo que sería de interés realizar un estudio piloto anterior a la medición del indicador que brinde información de los sitios de interés para los ciudadanos de Curridabat.

Periodicidad

Bianual

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de áreas naturales (jardines, parques municipales) en la ciudad
- Área de espacio públicos verdes (ha)/habitante
- Número y área de sitios de importancia
- Proporción de cobertura de vegetación/ ribereña
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Cambio en la riqueza y abundancia de polinizadores
- Diversidad y composición de especies

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia del Bienestar Mental

Objetivo 2) Propagar en la población del cantón el acceso al conocimiento y herramientas que potencien el bienestar mental, a través de una estrategia territorial y de la articulación de instituciones. **Meta 2.1)** Impartir para el año 2019 un programa modelo sobre estilos de vida saludable en tres centros educativos del cantón, y en los Centros de Desarrollo Humano para el año 2020. (Este programa Modelo, que ha sido denominado como “Programa de Bienestar”, incluye un módulo de convivencia con la naturaleza y Terapia de Bosque.

Objetivo 4) Incrementar actividades que promuevan la interacción de la población del cantón en sus espacios de convivencia a partir de demanda. **Meta 4.1)** Actualizar anualmente en al menos un 80% la base de datos de parques y espacios públicos del cantón. **Meta 4.4)** Intervenir anualmente al menos 4 espacios públicos (parques y vías) a partir de criterios de activación y mejoras en infraestructura.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Berghöfer, A. & Schneider, A. 2015. Indicators for Managing Ecosystem Services – Options & Examples. ValuES Project Report. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ) GmbH, Leipzig, and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn. Germany. 49pp.
- Byers, B.A.; Cunliffe, R.N. & Hudak, A.T. 2001. Linking the conservation of culture and nature: A case study of sacred forests in Zimbabwe. *Hum. Ecol.* 29: 187–218.
- De Lacy, P. & Shackleton, C. 2017. Aesthetic and Spiritual Ecosystem Services Provided by Urban Sacred Sites. *Sustainability* 9: 2-14. doi:10.3390/su9091628
- Keniger, L.E.; Gaston, K.J.; Irvine, K.N. & Fuller, R.A. 2013. What are the benefits of interacting with nature? *Int. J. Environ. Res. Public Health* 10: 213–235.
- La Rosa, D. Spyra, M. & Inostroza, L. 2016. Indicators of cultural ecosystem services for urban planning: A review. *Ecological Indicators* 61 (1): 74-89.
- Lee, A.C. & Maheswaran, R. 2011. The health benefits of urban green spaces: A review of the evidence. *J. Public Health* 33: 212–222.



Indicador

Nombre del indicador

Superficie verde por habitante (SvHab)

Relevancia del indicador

A lo largo de los años, muchos investigadores han confirmado la teoría que los espacios verdes urbanos tienen un efecto positivo sobre el bienestar de los residentes. Las áreas verdes brindan espacios de recreación y sitios para realizar ejercicio, además de lugares donde la naturaleza y los ciudadanos entran en contacto, mejorando la calidad de vida de los habitantes, así como brindando hábitat para la biodiversidad.

Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), los espacios verdes son considerados “imprescindibles” por los beneficios que aportan a los ciudadanos, tanto por el bienestar físico y emocional de las personas como por la contribución que aporta en la mitigación del deterioro urbanístico de las ciudades, creando un ambiente más habitable y saludable.

La superficie verde por habitante es aquella superficie de jardines o parques públicos o privados que contienen vegetación (árboles y arbustos) con relación al número de habitantes. La OMS recomienda un mínimo de 10m² de superficie verde por habitante y preferiblemente 15 m² por habitante.

Objetivo

Conocer la superficie verde promedio con que cuenta los habitantes en el cantón de Curridabat, según distrito.

Variables

- Área total de zonas verdes
- Población total

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

m² por habitante

Descripción de los datos de origen

No cuenta con línea base

Método y esfuerzo

La identificación del área total de zonas verdes dentro del cantón, se realiza a través de la interpretación de imágenes satelitales mediante una clasificación supervisada. Se realiza una digitalización de las áreas verdes, se crean los polígonos y se calcula el área total (m²) de las zonas verdes.

Fórmula:

$$\text{SvHab (m}^2\text{/hab)} = \frac{\text{superficie verde pública total}}{\text{número de habitantes}}$$

Formas de presentación más efectivas

- Mapa del área verde total del cantón
- Mapas de zonificación (distintas clases) con la cantidad de área verde por habitante

Límites de la utilidad y precisión

No aplica

Periodicidad

Anual

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de áreas naturales (jardines, parques municipales) en la ciudad
- Área de espacio públicos verdes (ha)/habitante
- Número y área de sitios de importancia
- Proporción de cobertura de vegetación/riberaña
- Cambio en la cobertura del uso del suelo

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia del Bienestar Mental

Objetivo 4) Incrementar actividades que promuevan la interacción de la población del cantón en sus espacios de convivencia a partir de demanda. **Meta 4.1)** Actualizar anualmente en al menos un 80% la base de datos de parques y espacios públicos del cantón. **Meta 4.4)** Intervenir anualmente al menos 4 espacios públicos (parques y vías) a partir de criterios de activación y mejoras en infraestructura.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. 2010. Plan de indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria-Gasteiz. Departamento de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Vitoria Gasteiz, España. 477 P.
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. S.f. Sistema de indicadores condicionantes para ciudades grandes y medianas. Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Ministerio de Fomento. Gobierno de España, España. 81 P.
- Chiesura, A. 2006. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning* 68:129-138
- Ma, B.; Zhou, T.; Lei, S.; Wen, Y. & Htun, T.T. 2018. Effects of urban green spaces on residents' wellbeing. *Environ Dev Sustain.* 1-17 pp.
- Morales Cerdas, V.; Piedra Castro, L.; Romero Vargas, M. & Bermúdez Rojas, T. 2018. Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. *Rev. Biol.Trop.* 66 (4):1421-1435.



Indicador

Nombre del indicador

Porcentaje de la población que visita parques o áreas verdes diariamente y su tiempo de visita

Relevancia del indicador

Muchos estudios muestran que la presencia de la naturaleza (parques, áreas verdes, jardines) dentro del contexto urbano, tiene efectos positivos en la salud física y mental de los ciudadanos y contribuye a la calidad de vida en diferentes aspectos. Además de brindar importantes servicios ecosistémicos como la purificación del aire y del agua, reducción del sonido y la estabilización de microclimas, las áreas naturales dentro de las ciudades aportan servicios sociales y psicológicos que mejoran la salud y el bienestar del ser humano. Una experiencia en el parque puede reducir el estrés, mejorar la admiración por la naturaleza y proporcionar una sensación de paz y tranquilidad.

Objetivo

Analizar cambios en el porcentaje de la población que visita los parques o áreas verdes y su tiempo de visita.

Variables

- Población
- Tiempo de visita

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución especial

No aplica

Unidades en las que se expresa

- Porcentaje
- Minutos u horas

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

Colección de información a través de la visita a los parques municipales y las áreas verdes del cantón, en donde se le preguntará a los visitantes cada cuánto visitan las áreas y el tiempo que permanecen en el lugar. La encuesta corta se realizará a todas las personas presentes y a distintas horas del día para coleccionar la mayor cantidad de información.

Fórmula:

$$Pvis (\%) = (\text{habitantes que visitan áreas verdes y parques} / \text{población total}) * 100$$

Formas de presentación más efectivas

- Gráficos de tendencias del porcentaje de la población del cantón de Curridabat que visita los parques urbanos o las áreas verdes a lo largo del tiempo.
- Gráficos de tendencias del tiempo promedio en que las personas permanecen en los parques urbanos o áreas verdes.

Límites de la utilidad y precisión

Existe mucha evidencia que la naturaleza juega un papel positivo sobre la salud mental y física de las personas, sin embargo, pocos estudios han integrado los múltiples elementos del bienestar humano en evaluaciones de servicios ecosistémicos.

Periodicidad

Cuatro años

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de áreas naturales (jardines, parques municipales) en la ciudad
- Área de espacio públicos verdes (ha)/habitante
- Número y área de sitios de importancia
- Proporción de cobertura de vegetación/riberaña
- Riqueza y abundancia de especies de flora y fauna
- Cambio en la cobertura del uso del suelo

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia del Bienestar Mental

Objetivo 4) Incrementar actividades que promuevan la interacción de la población del cantón en sus espacios de convivencia a partir de demanda. **Meta 4.2)** Actualizar bianualmente el perfil de las características de los usuarios de los actuales espacios

de convivencia del cantón a partir del año 2019.

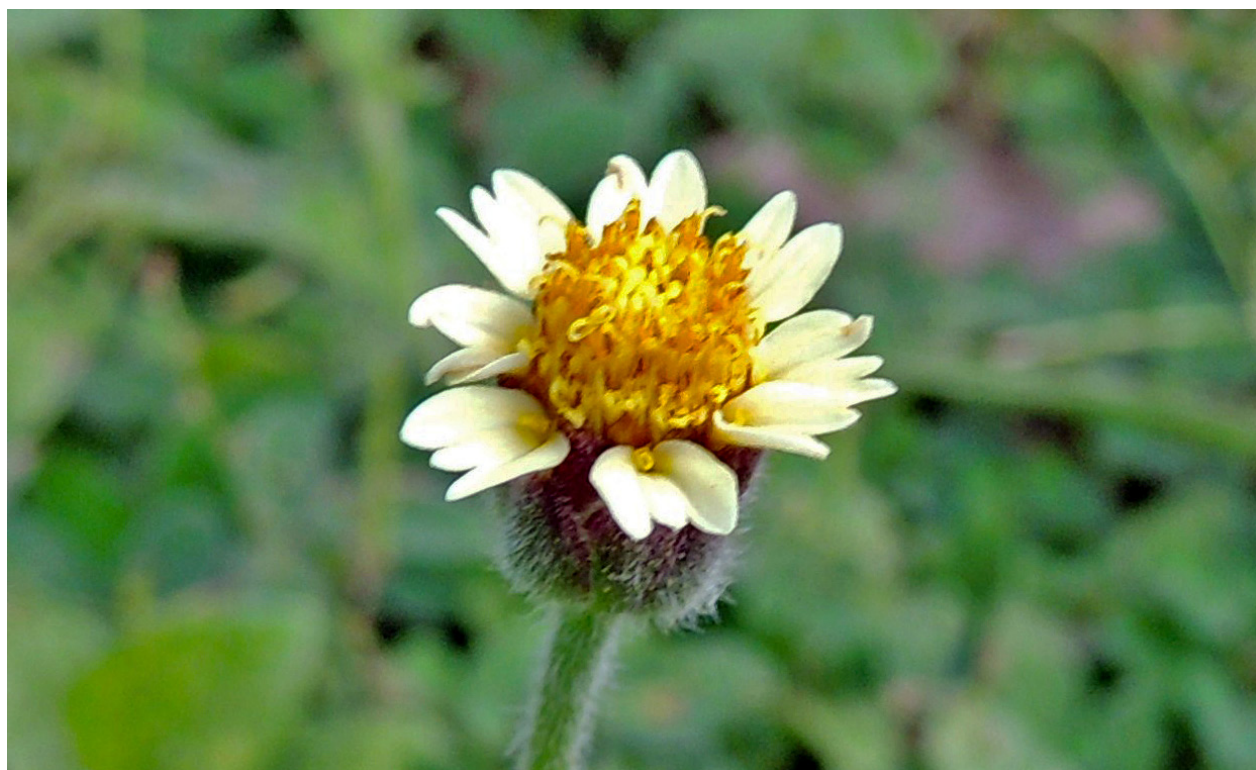
Meta 4.3) Crear un registro anual de actividades realizadas y personas alcanzadas en los espacios de convivencia a partir del 2019.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Bryce, R.; Irvine, K.N.; Church, A.; Fish, R.; Ranger, S. & Kenter, J.O. 2016. Ecosystem Services 21: 258-269
- Chiesura, A. 2006. The role of urban parks for the sustainable city. Landscape and Urban Planning 68:129-138
- Gómez Goncalves, A. 2012. La utilización de los espacios verdes. Estudio de caso en tres ciudades españolas. Cuadernos de Geografía nº 30/31 – 2011/12. Coimbra, FLUC. 193-202 pp.
- Rivera M.L.M. 2014. Los parques urbanos como indicadores de calidad de vida, símbolos de bienestar y espacios de uso recreativo: una investigación en Bucaramanga (Colombia). Universidad & Empresa 16(27): 207-229



Indicadores de Servicios de Soporte

Cuadro 5. Identificación de indicadores del servicio ecosistémico de soporte de las acciones Municipales para promover la conservación de infraestructura verde en el cantón de Curridabat

Servicio ecosistema	Indicador
Hábitat para la Biodiversidad	Cambio en la riqueza de especies de peces
	Proporción de áreas naturales o semi-naturales en la ciudad
	Proporción del área cubierta por vegetación ribereña
	Proporción de áreas verdes en las escuelas y colegios
	Cambio en la densidad arbórea
	Cambio en la cobertura del uso del suelo
	Cambio en la abundancia y riqueza de aves
	Cambio en el número de especies nativas

Indicador

Nombre del indicador

Cambio en la riqueza de especies de peces

Relevancia del indicador

La protección de los recursos acuáticos de los impactos del ser humano va depender cada vez más del conocimiento existente entre la relación del uso del suelo urbano y los sistemas fluviales. Se sabe que niveles relativamente bajos de urbanización en las cuencas (entre 10 a 20%) pueden ocasionar cambios significativos en la hidrología de los ríos, la geomorfología, en la calidad del agua y en la biodiversidad. El uso de suelo urbano u otras variables asociadas como la capa superficial impermeable, está vinculada a la disminución en la riqueza, densidad y biomasa de peces, así como también, en los cambios estructurales de las poblaciones. Los procesos de urbanización también generan una

disminución en la integridad biótica de los cuerpos de agua, donde se observan aumentos de especies muy tolerantes y exóticas y una disminución o extinción de especies muy sensibles.

Objetivo

Caracterizar la diversidad de la comunidad íctica de los ríos y quebradas del cantón con el fin de comparar los cambios a lo largo del tiempo.

VARIABLES

Riqueza y abundancia de especies de peces

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

- Número de especies
- Número de individuos por especie

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

La metodología descrita a continuación está basada en el método propuesto por Barbour et al. (1999) y en el estudio de línea base de ictiofauna para los ríos del cantón de Curridabat.

Una vez seleccionados los sitios de estudio, el muestreo se realiza en varias secciones del cauce del río con la finalidad de obtener una mayor representatividad de la ictiofauna presente. Para determinar la riqueza de especies, se deben realizar dos muestreos en cada sitio en distintas épocas del año. Se establecen transectos de 100 m de longitud donde se hacen observaciones visuales y a través de la captura. Por el alto grado de contaminación de muchos de los ríos presentes en el cantón, se realizan observaciones visuales desde afuera del agua, combinado con varios métodos de captura, principalmente con la red de mano y en algunas ocasiones con la atarraya.

El método de la atarraya se emplea en los cauces más anchos y profundos como en los ríos Tiribí y María Aguilar, y la red de mano generalmente es utilizada en cauces de menores tamaños y menos profundos.

Con la finalidad de reducir el sesgo de muestreo y estudiar la mayor cantidad de microhábitats en el área de estudio, se recomienda utilizar ambos métodos (red de captura y atarraya) en el mismo curso de agua. Los transectos medidos deben cumplir en la medida de lo posible con las coberturas de corriente “run, rifle y pool”. Las técnicas de muestreo descritas, abarcan una gran cantidad de hábitos de comportamiento en los ríos y permiten hacer un inventario de peces representativo de los cauces de agua de Curridabat.

Formas de presentación más efectivas

- Gráficos de barras con las familias más dominantes
- Box plots de riqueza de especies bajo distintos periodos de muestreo
- Gráficos de barras de las familias de peces según su distribución altitudinal a lo largo de varios periodos

Límites de la utilidad y precisión

La abundancia de especies resulta en unas de las variables más sensibles para medir.

Periodicidad

Anual y estacional

Indicadores estrechamente vinculados

- Índice de calidad del agua
- Índice biológico de la calidad el agua
- Proporción del área cubierta por vegetación/ ribereña
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Cambio en la densidad arbórea ribereña

Propiedad de los datos:

Municipalidad de Curridabat

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Barbour, M. T.; Gerritsen, J.; Snyder, B. D.; & Stribling, J. B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Francis, R.A. 2012. Positioning urban rivers within urban ecology. *Urban Ecosyst* 15: 285-291.
- Walters, D.M.; Freeman, M.C.; Leigh, D.S.; Freeman, B.J. & Pringle, C.M. 2005. Urbanization effects on fishes and habitat quality in a southern piedmont river basin. *American Fisheries Society Symposium*. 1-17 p.
- Wang, L.; Lyons, J. & Kanehl, P. 2001. Impacts of Urbanization on Stream Habitat and Fish Across Multiple Spatial Scales. *Environmental Management* 28(2): 255-266.

Indicador

Nombre del Indicador

Proporción de áreas naturales o semi-naturales en la ciudad

Relevancia del indicador

Los ecosistemas naturales o semi-naturales albergan una mayor diversidad de especies que en sitios perturbados o en paisajes artificiales. Por lo tanto, entre mayor es el porcentaje de áreas naturales/semi-naturales con relación al área total del cantón, se espera que exista una mayor biodiversidad en el área.

Según el Índice de Diversidad Biológica Urbana, las áreas naturales están compuestas principalmente por especies nativas y ecosistemas naturales, los cuales presentan muy poca o ninguna influencia antrópica, exceptuando aquellas acciones orientadas hacia la conservación o al aumento de la biodiversidad nativa.

Objetivo

Identificar los cambios en la proporción de áreas naturales o semi-naturales en el mediano y largo plazo en el cantón de Curridabat.

Variables

Superficie total de áreas naturales o semi-naturales
Área total del cantón

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución especial

Escala 1:1000

Unidades en las que se expresa

Porcentaje de cambio o hectáreas de las áreas naturales/semi-naturales

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

Los cambios en la proporción de áreas naturales/semi-naturales pueden monitorearse a través de imágenes satelitales y ortofotos; y el área se calcula con la siguiente fórmula.

Fórmula:

$$\left(\frac{\text{Área total de áreas naturales}}{\text{Área total del cantón}} \right) \times 100$$

Formas de presentación más efectivas

- Mapas de las áreas naturales y semi-naturales
- Gráfico de barras mostrando los cambios en el porcentaje de áreas naturales a lo largo del tiempo

Límites de la utilidad y precisión

Las áreas naturales y semi-naturales se definen como aquellas áreas que no son altamente perturbadas o paisajes creados por el ser humano. Algunos ejemplos incluyen las áreas de bosque, manglares, cuerpos de agua naturales, sabanas, entre otros. Es posible que en el cantón de Curridabat no existan o haya muy pocas áreas que sean propiamente naturales o semi-naturales y para que surjan estas áreas será necesario dedicar áreas del cantón a la regeneración natural.

Periodicidad

Anual

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de cobertura de vegetación (riberaña)
- Espacio verde por habitante
- Número y área de sitios de importancia
- Cambio en la densidad arbórea
- Cambio en la cobertura del uso del suelo

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

No aplica

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Convention on Biological Diversity. 2010. Second Expert Workshop on the Development of the City Biodiversity Index. User's Manual for the City Biodiversity Index. Consultado 20 feb. 2019. Disponible en <https://www.cbd.int/authorities/doc/User%27s%20Manual-for-the-City-Biodiversity-Index27Sept2010.pdf>
- García-Polo, J.; Castillo-Cabrera, F. & Vega, J.J. 2016. Índice de diversidad biológica urbana de la ciudad de La Antigua Guatemala. Ciencia, Tecnología y Salud 3(1): 65-79.
- Kohsaka R. et al. 2013. Indicators for Management of Urban Biodiversity and Ecosystem Services: City Biodiversity Index. In: Elmqvist T. et al. (eds) Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Springer, Dordrecht.
- Reyhanián, A. & Porshokouh, A.B. 2016. Using a method of measuring the state of biodiversity in cities, using the index (CBI) in Tehran: A strategy for urban management. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège 85: 1730 – 1739.



Indicador

Nombre del Indicador

Proporción del área cubierta por vegetación ribereña

Relevancia del indicador

Los corredores ribereños son ecosistemas de gran importancia ya que sostienen la vida de muchos organismos. En estos ecosistemas, las plantas proveen de nutrientes y hábitat a organismos terrestres y acuáticos. Estos ambientes cuentan además con un importante valor ecológico ya que proporcionan una amplia gama de funciones físicas, hidrológicas, biológicas y químicas.

La protección de los corredores ribereños ofrece múltiples beneficios: 1) reducción de inundación y erosión, 2) filtración de escorrentía de aguas pluviales, 3) sombreado bioclimático de la corriente, 4) reduce los procesos de contaminación y 5) brinda conectividad de hábitat para la fauna.

El movimiento que realizan los organismos ocurre a varias escalas temporales y espaciales. El éxito de estos movimientos, influye en la sobrevivencia de los individuos y en consecuencia en la transferencia de genes, lo que llega a afectar la dinámica de la población, la distribución de especies y el funcionamiento del ecosistema. Promover la conectividad del paisaje se ha convertido en una prioridad de conservación global para mitigar los cambios antropogénicos generados en el paisaje y su impacto en la biodiversidad.

Objetivo

Identificar los cambios en la proporción de suelo cubierto por vegetación ribereña en el mediano y largo plazo en el cantón de Curridabat.

Variables

Superficie (ha) anual cubierta por vegetación ribereña

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución especial

Escala 1:1000

Unidades en las que se expresa

Porcentaje de cambio o hectáreas

Descripción de los datos de origen

No cuenta con línea base

Método y esfuerzo

Para evaluar la extensión de cobertura de la vegetación, se recomienda hacer un análisis multitemporal de las imágenes satelitales disponibles para el cantón a lo largo de distintas fechas de interés.

Se presentan los distintos pasos a seguir para obtener la cobertura de vegetación:

5. Realizar el preprocesamiento (ortocorrección) de las imágenes. Se recomiendan distintos softwares especializados como ERDAS IMAGINE, QGIS, R, entre otros.
6. Clasificar las imágenes (con los softwares mencionados anteriormente) a través de la Metodología de Teledetección Supervisada y No Supervisada.

Supervisada: donde el usuario selecciona muestras representativas para cada una de las clases que desea identificar en la imagen con el algoritmo de máxima probabilidad.

No Supervisada: donde cada píxel de la imagen es asociado a una clase espectral sin que el usuario tenga un conocimiento previo del número o identificación de las diferentes clases presentes en la imagen, a través de algoritmos de agrupamiento.

7. Validar la clasificación de las imágenes (ráster de vegetación) por medio de trabajo de campo.
8. Finalmente, se debe realizar una matriz de contingencia con el objetivo de determinar qué porcentaje de los píxeles definidos en una firma espectral se clasificaron correctamente.

Otra metodología que se puede implementar, es el Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI), el cual consiste en combinar los valores de las bandas 3 (roja) y 5 (infrarrojo cercano, NIR) de la imagen satelital para determinar la existencia de vegetación.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR band} - \text{Red band}}{\text{NIR band} + \text{Red band}}$$

Los valores del NDVI oscilan entre -1 a 1, no obstante, la ausencia de vegetación verde generalmente produce valores cercanos a cero. Por lo tanto, cero indica sitios sin vegetación y +1 muestra alta densidad de vegetación verde.

Formas de presentación más efectivas

- Mapas de cobertura de la vegetación ribereña, indicando los cambios anuales por píxel.
- Gráfico de barras mostrando los cambios en el porcentaje/área de suelo cubierto por vegetación ribereña a lo largo del tiempo

Límites de la utilidad y precisión

La cifra que brinda el indicador por sí sola no da información de la calidad, del tipo de vegetación ni de la biodiversidad presente. El indicador, por ejemplo, no proporciona información sobre la degradación de la vegetación presente en el cantón.

Periodicidad

Anual

Indicadores estrechamente vinculados

- Riqueza y abundancia de especies de flora y fauna
- Índice de calidad del aire
- Almacenamiento y secuestro de carbono
- Cambio en la densidad arbórea
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Diversidad y composición de especies

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

No aplica

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- De Chazal, J. & Rounsevell, M.D.A. 2009. Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: a review. *Global Environmental Change* 19: 306–315.
- Grande Ayala, C.E. 2014. Análisis de la cobertura vegetal del Área Metropolitana de San Salvador y determinación de Índices de cobertura vegetal del municipio de Antiguo Cuscatlán. Conference Paper. Consultado 2 feb. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/317552540_Analisis_de_la_cobertura_vegetal_del_Area_Metropolitana_de_San_Salvador_y_determinacion_de_Indices_de_cobertura_vegetal_del_municipio_de_Antiguo_Cuscatlan
- Kantartzis, A.; Varras, G.; Kakouri, P.; Koutsikou, M.; Papadopoulou, A. & Gogolou, C. 2006. Greenway Planning and Management of Urban Riparian Corridors: the alternative basis for an Integrated System of Urban Green Spaces. Case study: riparian corridors in the city of Igoumenitsa, Greece. *Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development, Venice, Italy.* 168–173 P.
- La Point, S.; Balkenhol, N.; Hale, J.; Sadler, J. & van der Ree, R. 2015. Ecological connectivity research in urban areas. *Functional Ecology* 29: 868-878.

Indicador

Nombre del Indicador

Proporción de áreas verdes en las escuelas, colegios y otros

Relevancia del indicador

Los espacios verdes urbanos brindan una serie de beneficios, entre ellos, salud, longevidad, salud física y mental, desarrollo infantil, todos factores importantes para el desarrollo sostenible económico y social. El acceso a los espacios verdes juega un papel muy importante en aquellas ciudades amigables con los niños, permitiendo una mejoría en su desarrollo físico y emocional. En áreas altamente urbanizadas, existe una mayor probabilidad de combatir el sobrepeso entre los niños que se encuentran más próximos a áreas verdes, ya que tienen una mayor accesibilidad a juegos infantiles y vegetación, aumentando su actividad física.

Objetivo

Evaluar los cambios en la proporción de áreas verdes en escuelas y colegios del cantón de Curridabat a lo largo del tiempo.

Variables

- Área total de zonas verdes de escuelas y colegios
- Área total de las áreas verdes del cantón

Agencia responsable

Ministerio de Educación Pública y Municipalidad de Curridabat

Resolución especial

Escala 1:1000

Unidades en las que se expresa

- Porcentaje de cambio
- Hectáreas

Descripción de los datos de origen

No cuenta con línea base

Método y esfuerzo

Los cambios en la proporción de áreas verdes de escuelas y colegios con relación al área total de zonas verdes del cantón, pueden monitorearse a través de imágenes satelitales y/u ortofotos.

Fórmula:

$$\left(\frac{\text{Área total de áreas verdes en escuelas y colegios}}{\text{Área total de áreas verdes del cantón}} \right) \times 100$$

Formas de presentación más efectivas

- Mapa de las áreas verdes de las escuelas y colegios
- Gráfico de barras mostrando los cambios en el porcentaje de áreas verdes en escuelas y colegios a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

Debido a la alta urbanización en el cantón de Curridabat, es posible que no exista más espacio para que las escuelas o colegios públicos y privados aumenten o conviertan una porción de su área en zonas verdes para el disfrute de los niños y adolescentes; por lo que se espera que el valor del indicador no cambie mucho a lo largo del tiempo.

Periodicidad

Anual

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de áreas naturales (jardines, parques municipales) en la ciudad
- Área de espacio públicos verdes (ha)/habitante
- Proporción de cobertura de vegetación/riberaña
- Cambio en la cobertura del uso del suelo

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

No aplica

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Castillo Echeverría, C. 2018. El acceso a espacios verdes en escuelas públicas y privadas en Curridabat, Costa Rica. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales 23:157-177. DOI: <http://dx.doi.org/10.17141/letrasverdes.23.2018.2893>.
- Hand, K.L.; Freeman, C.; Seddon, F.J.; Recio, M.R.; Stein, A. & van Heezik, Y. 2017. The importance of urban green gardens in supporting children's biophilia. PNAS 114 (2):274-279.
- lojã. C.I.; Grădinaru, S.R.; Onose, D.A.; Vânău, G.O. & Tudor, A.C. The potential of school green areas to improve urban green connectivity and multifunctionality. Urban Forestry & Urban Greening 13:704-713.
- Jansson, M. 2014. Green space in compact cities: the benefits and values of urban ecosystem services in planning. Nordic Journal of Architectural Research 2:139-160.
- Kabisch, N.; Korn, H.; Stadler, J. & Bonn, A. 2017. Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Linkages between Science, Policy and Practice. Springer Nature, Cham, Switzerland. 342 p.
- Rivera M.L.M. 2014. Los parques urbanos como indicadores de calidad de vida, símbolos de bienestar y espacios de uso recreativo: una investigación en Bucaramanga (Colombia). Universidad & Empresa 16(27): 207-229



Indicador

Nombre del Indicador

Cambio en la densidad arbórea

Relevancia del indicador

Los árboles son buenos indicadores de la salud de un ecosistema urbano. Cuando los árboles son saludables y de gran tamaño, los sistemas ecológicos (suelo, aire y agua) que los sustentan también suelen ser saludables. Las áreas verdes y árboles urbanos pueden mejorar la calidad de vida de los residentes, brindando espacios de recreación y mejorando el bienestar psicológico y físico de los individuos. Así mismo, los árboles urbanos proveen servicios ecosistémicos que ayudan a mantener la integridad ecológica de ciudades que se encuentran en constante crecimiento, a través del secuestro de carbono, manejo de cuencas, modificación de la temperatura y conservación de la biodiversidad. Los árboles juegan un papel muy importante en el aumento de la biodiversidad urbana, brindando hábitat y recursos para la flora y fauna.

Objetivo

Identificar los cambios en la densidad de árboles en los parques municipales y áreas verdes en el mediano y largo plazo en el cantón de Curridabat.

Variables

- Número de árboles/hectárea
- Densidad: número de individuos de una especie por unidad de área.
- Densidad relativa: densidad de una especie referida a la densidad de todas las especies del área.
- Frecuencia: número de muestras en las que se encuentra una especie.
- Frecuencia relativa: la frecuencia de una especie con referencia a la frecuencia total de todas las especies.
- Dominancia: la cobertura de todos los individuos de una especie, medida en unidades de superficie.

- Dominancia relativa: la dominancia de una especie, referida a la dominancia de todas las especies.

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución especial

No aplica

Unidades en las que se expresa

Número de individuos/hectárea

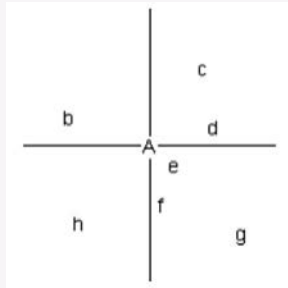
Descripción de los datos de origen

No hay línea base

Método y esfuerzo

Una vez seleccionado el sitio de muestreo, se identifican puntos al azar. En algunas ocasiones, se recomienda escoger puntos a lo largo de un transecto que crucen el área de estudio. Para ello, se establecen puntos equidistantes a lo largo del transecto con la ayuda de una cinta métrica, y cada punto localizado se señala con una estaca. Dentro del área cercana a cada punto seleccionado, se divide en 4 cuadrantes imaginarios como se indica a continuación.

Dentro de cada cuadrante, el árbol más cercano se incluye dentro de la muestra de campo. Al haber cuatro cuadrantes, se medirá un total de cuatro árboles por cada punto de muestreo. En el siguiente diagrama, el punto A representa el punto aleatorio seleccionado (punto de muestreo) y las letras b a h representan árboles. Las letras b, d, e y h serían incluidos como los cuatro árboles más cercanos dentro de cada cuadrante que están más cercanos a la letra A.



Se recomienda además calcular la distancia del punto de muestreo a cada árbol, así como el diámetro a la altura del pecho (DAP). Estas mediciones se pueden utilizar para calcular el área basal mediante la conversión de diámetro a y la suma de las mediciones para todos los árboles dentro de un área determinada.

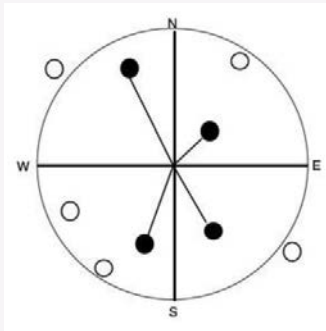


Diagrama del método del punto-cuadrante. Los círculos negros indican los árboles muestreados y los puntos blancos los no muestreados.

La densidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = N/A$$

Donde,

D: densidad

N: número de individuos

A: área determinada

Formas de presentación más efectivas

Gráfico de barras mostrando los cambios en la densidad de árboles (por parque municipal/zonas verdes) a lo largo del tiempo.

Límites de la utilidad y precisión

Los valores derivados por el método punto-cuadrante tienen una varianza mayor en situaciones donde los árboles están agrupados y la distribución no es al azar.

Periodicidad

Cada cinco años

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de cobertura de vegetación
- Riqueza y abundancia de especies de flora y fauna
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Proporción de áreas naturales en la ciudad

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de Acceso a Destinos Deseados

Objetivo 2) Introducir un nuevo paradigma de movilidad con un orden jerárquico en el uso del derecho de vía en Curridabat, poniendo como elemento central a las personas en su condición humana y su accesibilidad. **Meta 2.5)** Sembrar plantas y/o árboles en al menos 2000 metros lineales de corredores peatonales anualmente, según criterios de Ciudad Dulce.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Abelleira Martínez, O.J. & Colón González, D. 2006. Comparación de método de muestreo en bosques secundarios aluviales: parcela vs. Punto-cuadrante. *Acta Científica* 20 (1): 63-66.
- Akay, A. & Önder, S. 2016. Ecological benefits of urban trees. 2nd International Conference on Science, Ecology and Technology. *Proceeding Book. ICONSETE, Barcelona, España.* 194 P.
- Dwivedi, P., Rathore, C. S., & Dubey, Y. (2009). Ecological benefits of urban forestry: the case of Kerwa Forest Area (KFA), Bhopal, India. *Applied Geography*, 29(2), 194-200.
- Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). 2000. Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S. 2000. *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal.* Santa Cruz, Bolivia.

Indicador

Nombre del Indicador

Cambio en la cobertura del uso del suelo

Relevancia del indicador

Los ecosistemas se ven directamente afectados por cambios en la cobertura y en el uso del suelo. Sin embargo, debido al alto crecimiento de la población y la urbanización acelerada; la velocidad, el grado y la intensidad del cambio del uso del suelo, son cada vez más rápidos los cambios con relación al pasado y una gran cantidad de ecosistemas en el mundo están siendo modificados aceleradamente.

Los cambios en el uso del suelo afectan importantes procesos ecológicos, entre ellos el intercambio de energía, la erosión del suelo, el reciclaje de nutrientes, el ciclo del agua y el ciclo biogeoquímico. Dichos cambios pueden afectar el suministro de múltiples servicios ecosistémicos, incluido el suministro de agua, la producción de madera, la provisión de hábitat para especies forestales y fauna, la regulación del clima, el secuestro de carbono, entre otros.

Los cambios en la cobertura del uso del suelo influyen en los servicios ecosistémicos, ya que incrementan la disponibilidad de ciertos servicios al mismo tiempo que reducen la disponibilidad de otros. Estos cambios afectan la capacidad del ecosistema de suplir las necesidades humanas, repercutiendo en la degradación ecológica. Por tal motivo, la gestión del uso del suelo y la restauración de la tierra pueden actuar para mejorar o alterar la capacidad de generar servicios ecosistémicos.

Objetivo

Identificar los cambios en la cobertura del uso del suelo en el mediano y largo plazo en el cantón de Curridabat.

Variables

- Superficie anual cubierta con vegetación o áreas verdes
- Porcentaje o superficie de cambio en el uso del suelo

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución especial

Escala 1:1000

Unidades en las que se expresa

Porcentaje de cambio o hectáreas de determinado uso del suelo

Descripción de los datos de origen

No cuenta con línea base

Método y esfuerzo

El mapa de cobertura de vegetación se obtuvo a través de ortofotos, con una resolución de 1:1000. Sin embargo, para futuros monitoreos de la cobertura del cantón, se recomienda el análisis a través de la clasificación de imágenes satelitales, ya que no siempre se dispondrá de ortofotos.

Para evaluar los cambios en el uso del suelo, se recomienda hacer un análisis multitemporal de las imágenes satelitales disponibles para el cantón a lo largo de distintas fechas de interés.

Se presentan los distintos pasos a seguir para obtener la cobertura de vegetación:

1. Realizar el preprocesamiento (ortocorrección) de las imágenes. Se recomiendan distintos softwares especializados como ERDAS IMAGINE, QGIS, R, entre otros.
2. Clasificar las imágenes (con los softwares mencionados anteriormente) a través de la Metodología de Teledetección Supervisada y No Supervisada.

Supervisada: donde el usuario selecciona muestras representativas para cada una de las clases que desea identificar en la imagen con el algoritmo de máxima probabilidad.

No Supervisada: donde cada píxel de la imagen es asociado a una clase espectral sin que el usuario tenga un conocimiento previo del número o identificación de las diferentes clases presentes en la imagen, a través de algoritmos de agrupamiento.

3. Validar la clasificación de las imágenes (ráster de vegetación) por medio de trabajo de campo.
4. Finalmente, se debe realizar una matriz de contingencia con el objetivo de determinar qué porcentaje de los píxeles definidos en una firma espectral se clasificaron correctamente.

Formas de presentación más efectivas

- Mapas del uso del suelo, indicando los cambios anuales por píxel.
- Gráfico de barras mostrando los cambios en el porcentaje/tipos de uso del suelo a lo largo del tiempo

Límites de la utilidad y precisión

El análisis de sensores remotos puede llevarse a cabo con relativa facilidad para todo el país. Sin embargo, dada la multitud de factores que interactúan e influyen sobre los índices mencionados anteriormente, se requieren datos auxiliares que ayuden con la interpretación de los resultados.

Periodicidad

Anual

Indicadores estrechamente vinculados

- Proporción de cobertura de vegetación (ribereña)
- Porcentaje de área urbana dedicada a huertos urbanos
- Espacio verde por habitante
- Número y área de sitios de importancia
- Cambio en la densidad arbórea
- Proporción de áreas naturales en la ciudad

Propiedad de los datos:

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de Acceso a Destinos Deseados

Objetivo 2) Introducir un nuevo paradigma de movilidad con un orden jerárquico en el uso del derecho de vía en Curridabat, poniendo como elemento central a las personas en su condición humana y su accesibilidad. **Meta 2.5)** Sembrar plantas y/o árboles en al menos 2000 metros lineales de corredores peatonales anualmente, según criterios de Ciudad Dulce.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Fu, Z.; Zhang, L.; Xu, Z.; Zhao, Y.; Wie, Y. & Skinner, D. 2015. Ecosystem services in changing land use. *J Soils Sediments* 15:833-843.
- Lambin, E.F.; Meyfroidt, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108: 3465–3472.
- Lin, X.; Xu, M.; Cao, C.; Singh, R.P.; Chen, W.; Ju, H. 2018. Land-Use/Land-Cover Changes and Their Influence on the Ecosystem in Chengdu City, China during the Period of 1992–2018. *Sustainability* 10, 3580; doi:10.3390/su10103580.

Indicador

Nombre del Indicador

Cambio en la abundancia y riqueza de aves

Relevancia del indicador

Actualmente las áreas urbanas se encuentran en constante crecimiento y están siendo reconocidas como un importante desafío para la conservación de la biodiversidad en el contexto de los cambios globales. Se sabe que la expansión de las áreas urbanas puede tener impactos significativos en la evolución y ecología de las poblaciones e incluso en los ecosistemas. Recientemente un estudio a nivel global demostró que la urbanización disminuyó la riqueza de especies de aves, sin embargo, no afectó tanto a las poblaciones de especies nativas. Dichos resultados fueron confirmados en estudios locales, encontrando que la riqueza y abundancia de aves en áreas urbanas pueden utilizarse como indicadores de pérdida de biodiversidad con relación a contextos rurales. Los espacios verdes urbanos contribuyen a sitios de refugios para las aves y generalmente albergan un alto número de especies.

Objetivo

Identificar los futuros cambios en la abundancia y riqueza de especies de aves presentes en el cantón de Curridabat.

Variables

- Abundancia relativa de las diferentes especies de aves
- Riqueza de especies

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

Número de especies

Número de individuos por especie

Descripción de los datos de origen

No cuenta con datos de línea base

Método y esfuerzo

En cada área verde (parques municipales y jardines) se coleccionarán datos referentes a la abundancia y riqueza de aves a través del método de conteo por puntos.

En los censos por puntos, el observador permanece en un punto fijo y toma nota de todas las aves vistas y oídas en un área limitada o ilimitada durante un periodo de tiempo determinado. El tiempo necesario para censar una ruta de puntos no suele superar las cuatro horas matinales, aunque dependerá de la distancia entre los puntos y la forma de desplazamiento. Éste método permite, además, recopilar una amplia gama de datos ecológicos de las especies con muy poco esfuerzo de muestreo.

Formas de presentación más efectivas

- Mapas de distribución de especies
- Gráficos de tendencias de cambio relativo por especie
- Diagramas de ordenación para mostrar los cambios en la composición de la comunidad
- Gráficos o tablas temporales con el cambio porcentual entre la especie especialista y generalista

Límites de la utilidad y precisión

La metodología descrita no es recomendada para aves acuáticas. Las especies de aves terrestres que son particularmente silenciosas, muy locales, nocturnas o que se desplazan en bandadas, también presentan problemas. Si alguna de estas especies es de particular interés para el estudio, el método puede ser modificado para incluirlas.

Periodicidad

Anual y durante la época reproductiva

Indicadores estrechamente vinculados

- Cambio en la riqueza de especies de flora
- Proporción del área cubierta por vegetación
- Cambio en la densidad arbórea
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Cambio de especies nativas

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la Gota de Agua

Objetivo 5) Mejorar la calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón y la diversidad de especies asociadas al recurso hídrico. **Meta 5.5)** Disponer de 6 índices adicionales sobre biodiversidad y riqueza de especies en el cantón (aves, mariposas, abejas, murciélagos, anfibios, escarabajos) para el año 2019.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Aouissi, H.A.; Gasparini, J.; Belabed, A.I. & Bouslama, Z. 2017. Impact of greenspaces in city on avian species richness and abundance in Northern Africa. *C. R. Biologies* 340: 394–400.
- Goulart Rodrigues, A.; Borges Martins, M. & Zilio, F. 2018. Bird diversity in an urban ecosystem: the role of local habitats in understanding the effects of urbanization. *Iheringia, Série Zoologia* 108: 1-11.
- Ralph, C. John; Geupel, Geoffrey R.; Pyle, Peter; Martin, Thomas E.; DeSante, David F; Milá, Borja. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.
- Sanesi, G.; Padoa-Schioppa, E.; Lorusso, L.; Bottoni, L. & Laforteza, R. 2009. Avian Ecological Diversity as an Indicator of Urban Forest Functionality. Results from Two Case Studies in Northern and Southern Italy. *Arboriculture & Urban Forestry* 35(2): 80–86.

Indicador

Nombre del Indicador

Cambio en el número de especies nativas

Relevancia del indicador

La sobrevivencia humana depende en gran medida de la biodiversidad, debido a que ésta afecta los procesos y funciones de los ecosistemas, y, por lo tanto, a su vez los servicios ecosistémicos. Si bien las ciudades solo representan un 3% de la superficie de la Tierra, generalmente se encuentran ubicadas en áreas donde existían ecosistemas de gran importancia o en sitios de alta riqueza de especies, siendo uno de los factores que determinan el alto impacto de las ciudades sobre la biodiversidad y la razón por la cual es posible encontrar altas tasas de riqueza de especies en sitios urbanizados. Las áreas urbanas, con sus paisajes altamente transformados y los rápidos cambios causados por el ser humano a los ecosistemas locales, son reconocidos como un importante impulsor del cambio en la biodiversidad.

Objetivo

Identificar los futuros cambios en el número de especies nativas

Variables

Riqueza de especies de flora (vegetación dulce), de polinizadores y de aves

Agencia responsable

Municipalidad de Curridabat

Resolución espacial

No aplica

Unidades en las que se expresa

Número de especies

Descripción de los datos de origen

No cuenta con línea base

Método y esfuerzo

Se recomienda realizar el análisis del cambio de número de especies de flora, polinizadores y aves por ser tres grupos taxonómicos con facilidad para coleccionar datos y por presentar una línea base para poder hacer comparaciones entre número de especies.

Fórmula:

Incremento total en el número de especies (como resultado de la reintroducción, descubrimiento, avistamiento o colecta de nuevas especies) – Número de especies que han desaparecido

Formas de presentación más efectivas

- Gráficos de barras mostrando los cambios en el número de especies por grupos taxonómicos a lo largo del tiempo
- Diagramas de ordenación para mostrar los cambios en la composición de la comunidad
- Gráficos o tablas temporales con el cambio porcentual entre la especie especialista y generalista

Límites de la utilidad y precisión

No aplica

Periodicidad

Anual

Indicadores estrechamente vinculados

- Cambio en la riqueza de especies de flora
- Cambio en la riqueza de polinizadores
- Proporción del área cubierta por vegetación
- Diversidad y composición de especies
- Cambio en la densidad arbórea
- Cambio en la cobertura del uso del suelo
- Cambio de especies nativas

Propiedad de los datos

Municipalidad de Curridabat

Relación con el PEM 2018-2022

Experiencia de la Gota de Agua

Objetivo 5) Mejorar la calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón y la diversidad de especies asociadas al recurso hídrico. **Meta 5.4)** Mejorar en un 5% el índice de biodiversidad y riqueza de especies para la flora del cantón para el año 2022. **Meta 5.5)** Disponer de 6 índices adicionales sobre biodiversidad y riqueza de especies en el cantón (aves, mariposas, abejas, murciélagos, anfibios, escarabajos) para el año 2019.

Fecha de elaboración del protocolo

Febrero, 2019

Bibliografía

- Lepczyk, C.; Aronson, M.; Evans, K.; Goddard, M.; Lerman, S. & Macivor J.S. 2017. *BioScience* 67 (9): 799-807.
- Nielsen A, van den Bosch M, Maruthaveeran S, et al. 2014. Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence. *Urban Ecosystems* 17(1):305-327.
- Pedersen Zari, M. 2018. The importance of urban biodiversity – an ecosystem services approach. *Biodiversity International Journal* 2 (4): 357-360.
- Ruth M, Coelho D. 2007. Understanding and managing the complexity of urban systems under climate change. *Climate Policy*. 7(4):317-336.





Requisitos y Gobernanza

Requisitos

Existen una gran variedad de herramientas tecnológicas para la colección de datos, las mediciones, los análisis y el almacenamiento de los datos; las cuales se encuentran en constante actualización.

No existe una única solución en términos de hardware y software, por lo que en el presente reporte se provee una breve descripción de requisitos a considerar a la hora de seleccionar las herramientas necesarias para la implementación los indicadores.

En el siguiente cuadro, se lista para cada uno de los indicadores seleccionados, el tipo de datos colectado y el tipo de software necesario (que está relacionado con el tipo de análisis). Se distinguen tres grupos principales (1) sistema de información geográfica (GIS), (2) software de teledetección (ST), y (3) software estadístico.

Cuadro 6.

Tipo de análisis y requisitos de software para la toma y procesamiento del conjunto de indicadores

Indicador	Servicio	Origen de los datos	Tipo dato	GIS (1)	ST (2)	Estadístico (3)
PROVISIÓN						
Cambio en el área y volumen de producción de huertos urbanos	Suministro de alimentos	Municipio	Encuestas			X
Caudal del agua de los ríos y quebradas del cantón	Suministro de Agua	Municipio	Datos sitio muestreo, estaciones fijas			X
Índice biológico de la calidad del agua		Municipio	Datos sitio muestreo, estaciones fijas			X
REGULACIÓN						
Consumo de energía eléctrica por habitante	Regulación de la temperatura urbana	Centro Nacional de Control de Energía	Reporte consumo anual			X
Cambio del ruido ambiental	Reducción de ruido	Municipio	Datos sitios muestreo			X
Índice Costarricense de Calidad del Aire (ICCA)	Purificación de aire	Red de Monitoreo del Índice Costarricense de Calidad del Aire	Datos sitio muestreo, estaciones fijas			X
Proporción de cobertura de vegetación	Moderación de los extremos del clima	Municipio	Imágenes satélite	X	X	
Índice biótico del suelo (IBS)	Mitigación de la escorrentía superficial	Municipio	Imágenes satélite	X	X	
Índice de calidad del agua de los ríos y quebradas del cantón	Tratamiento de residuos líquidos	Municipio	Datos sitio muestreo, estaciones fijas			X
Cambio en la abundancia y riqueza de angiospermas (flora dulce)	Polinización, regulación de plagas y dispersión de semillas	Municipio	Datos sitios muestreo			X
Cambio en la abundancia y riqueza de polinizadores (abejas, mariposas, colibríes)		Municipio	Datos sitios muestreo			X
Almacenamiento y secuestro de carbono	Regulación del clima global	Municipio	Datos sitios muestreo			X
CULTURALES						
Número y área de sitios de importancia (espacios de yoga, bibliotecas móviles, espacios de ejercicio, parques de perros) para los habitantes	Recreación	Municipio	Encuestas			X
Superficie verde por habitante (SvHab)	Beneficios estéticos	Municipio	Imágenes satélite	X	X	

Indicador	Servicio	Origen de los datos	Tipo dato	GIS (1)	ST (2)	Estadístico (3)
Porcentaje de la población que visita parques o áreas verdes diariamente y su tiempo de visita	Desarrollo cognitivo, Valores de lugar y cohesión social	Municipio	Encuesta			X
SOPORTE						
Cambio en la riqueza de especies de peces	Hábitat para la Biodiversidad	Municipio	Datos sitios muestreo			X
Proporción de áreas naturales o semi-naturales en la ciudad		Municipio	Imágenes satélite	X	X	
Proporción del área cubierta por vegetación ribereña		Municipio	Imágenes satélite	X	X	
Proporción de áreas verdes en las escuelas y colegios		Ministerio de Educación Pública y Municipio	Imágenes satélite	X	X	
Cambio en la densidad arbórea		Municipio	Datos sitios muestreo			X
Cambio en la cobertura del uso del suelo		Municipio	Imágenes satélite	X	X	
Cambio en la abundancia y riqueza de aves		Municipio	Datos sitios muestreo			X
Cambio en el número de especies nativas		Municipio	Datos sitios muestreo			X

Nota: (1) sistema de información geográfica (GIS), (2) software de teledetección (ST), y (3) software estadísticos

Socios potenciales

Durante el proceso de diseño del sistema de monitoreo se logró identificar algunos indicadores que están tomando otras instituciones públicas, y que constituyen ya redes de monitoreo a nivel nacional tales como la Red de Monitoreo del Índice Costarricense de Calidad del Aire o el consumo per capita de energía que realiza el Centro Nacional de Control de Energía, así mismo, el involucramiento del Ministerio de Educación Pública en el tema de los Centros Educativos es muy importante, razón por la cual el Municipio tendrá que trabajar con convenios o acuerdos firmados entre instituciones para que el traspaso de datos sea más eficiente y menos burocrático, preferiblemente con acuerdos a largo plazo con el fin de seguir un proceso continuo de intercambio de información

Gobernanza

Se recomienda la firma de convenios institucionales para el intercambio de información con las instituciones mencionadas anteriormente u otras que en el transcurso del tiempo sea necesario incorporar.

En segundo termino para una mejor gestión y consolidación del sistema de monitoreo se recomienda la conformación de un comité coordinador que a su vez cuente con un comité científico responsable de velar por la calidad de los datos y brinde asesoría de alta calidad a la Municipalidad.

Con la finalidad de que exista intercambio entre la política pública y la ciencia, se recomienda que el Municipio participe activamente en actividades de intercambio académico para lograr retroalimentación y entre otras cosas lograr apoyo para el mejroamiento o definición de metodologías de los indicadores.

Es importante considerar que en la implementación del sistema de monitoreo se debe procurar incluir no solo a otras instituciones del gobierno o instituciones académicas, sino, además, a los habitantes del cantón.





Referencias generales

- Akbari, H. 2002. Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environ Pollut* 116: S119-S126.
- Andersson, E., Barthel, S., & Ahrné, K. 2007. Measuring social-ecological dynamics behind the generation of ecosystem services. *Ecological Applications*, 17 (5), 1267-1278.
- Aylor, D., Garner, J. H., & Johnson, D. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29 (2-3), 213-239.
- Beatley, T. 2011. *Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning*. Washington: Island Press.
- Beatley, T. 2017. *Biophilic Cities and Healthy Societies*. *Urban Planning* 2 (4): 1-4.
- Benayas, J.M., Newton, A.C., Diaz, A., Bullock, J.M. 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science* 325:1121-1124.
- Bird, W 2007. *Natural Thinking: Investigating the Links between the Natural Environment, Biodiversity and Mental Health*. Royal Society for the Protection of Birds.
- Bolund, P. & Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29: 293-301.
- Booth, D. B. 2005. Challenges and prospects for restoring urban streams: A perspective from the Pacific Northwest of +North America. *Journal of the North American Benthological Society*, 24 (3), 724-737.
- Brander, L.M., Koetse, M.J. 2011. The value of urban open space: meta-analyses of contingent valuation and hedonic pricing results. *J Environ Manag* 92: 2763-2773.
- Convention on Biological Diversity. 2011. Ways and means to support ecosystem restoration (UNEP/ CBD/ SBSTTA/15/4).
- Cook, E. 2016. *Biophilic Urbanism: Making Cities Sustainable through Ecological Design*. International Conference on Civil, Architecture and Sustainable Development (CASD-2016). London, UK.

- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387 (15): 253–260.
- Depietri, Y., Renaud, F. G., & Kallis, G. 2012. Heat waves and floods in urban areas: A policy-oriented review of ecosystem services. *Sustainability Science* 7: 95–107.
- Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S.N., S van der Ploeg, Aronson, J., Blignaut, J.N., Gómez-Baggethun, E., Nowak, D.J. Kronenberg, J., Groot, R. 2015. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Environmental Sustainability* 14:101–108.
- Ernstson, H. 2013. The social production of ecosystem services: a framework for studying environmental justice and ecological complexity in urbanized landscapes. *Landsc Urban Plan* 109:7-17.
- Escobedo, F.J., Nowak, D.J. 2009. Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landsc Urban Plan* 90:102-110.
- Escobedo, F.J., Kroeger, T., Wagner, J.E. 2011. Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices. *Environ Pollut* 159: 2078-2087.
- Escobedo, F. J., Wagner, J. E., Nowak, D. J., et al. 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.
- Fang, C.-F., & Ling, D.L. 2003. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning* 63 (4):187–195.
- Fuller, R.A., Irvine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H., Gaston, K.J. 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biol Lett* 3:390-394.
- Gómez-Baggethun, E., Barton, D.N. 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecol Econ* 86: 235-245.
- Gómez Baggethin, E. et al. 2013. Urban ecosystem services. In *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities*. Springer Netherlands, p. 175-251.
- Gómez, E., Gren, A., Barton, D., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'Farrell, P., Andersson, E., Hamstead, Z., Kremer, P. 2013. Chapter 11. Urban Ecosystem Services. In *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Springer-New York.
- Gotham, K., & Brumley, K. 2002. Using space: Agency and identity in a public-housing development. *City and Community* 1: 267–289.
- Kaplan, R. 1983. The analysis of perception via preference: A strategy for studying how the environment is experienced. *Landscape and Urban Planning* 12: 161–176.
- Kates, R.W., Wilbanks, T.J. 2003. Making the global local responding to climate change concerns from the ground. *Environ Sci Policy Sustain Dev* 45:12-23.
- Kázmierczak, A. 2013. The contribution of local parks to neighbourhood social ties. *Landscape and Urban Planning*, 109: 31–44.
- Konijnendijk, C. C., Annerstedt, M., Busse Nielsen, A., & Maruthaveeran, S. 2013. Benefits of urban parks a systematic review. Copenhagen/Alnarp: International Federation of Parks and Recreation Administration (IFPRA).
- Lee, J., Park, B.J., Tsunetsugu, Y., Kagawa, T., Miyazaki, Y. 2009. Restorative effects of viewing real forest landscapes, based on a comparison with urban landscapes. *Scand J Forest Res* 24:227-234.
- Maas, J., Verheij, R.A., Groenewegen, P.P., de Vries S., Spreeuwenberg, P. 2006. Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *J Epidemiol Community Health* 60:587-592.
- McKinney, M.L. 2008. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban Ecosyst* 11:161-176.
- McPhearson, T. 2011. Toward a sustainable New York City: Greening through urban forest restoration. In E. Slavin (Ed.) *Sustainability in America's Cities: Creating the Green Metropolis*. Island Press, Washington, DC. 151-204 pp.
- Millennium ecosystem assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Mitchell, R., Popham, F. 2008. Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *Lancet* 372:1655-1660.
- Moreno-Garcia, M. C. 1994. Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *International Journal of Climatology* 14 (6): 705–710.
- Müller, N., Werner, P., Kelcey, J.G. 2010. *Urban Biodiversity and Design*. Blackwell Publishing Ltd. DOI:10.1002/9781444318654

- Municipalidad Curridabat. 2018. Curridabat: Ciudad Dulce. Una visión de desarrollo urbano basada en los polinizadores. Curridabat-San José.
- Nicholson-Lord, D. 2003. Green Cities: And why We Need Them. New Economics Foundation. London. 60 p.
- Nowak, D. J. 1994. Air pollution removal by Chicago's urban forest. In E. G. McPherson, D. J., Nowak, & Rowntree, R.A. (Eds.) Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. Radnor: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 63–81 pp.
- Pataki, D.E., Carreiro, M.M., Cherrier, J., Grulke, N.E., Jennings, V., Pincetl, S., Pouyat, R.V., Whitlow, T.H., Zipperer, W.C. 2011. Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Front Ecol Environ* 9 (1):27-36.
- Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L., Grove, J.M., Groffman, P.M., Band, L.E., Boone, C.G., Burch, W.R., Grimmond, C.S.B., Hom, J., Jenkins, J.C. et al. 2008. Beyond urban legends: an emerging framework of urban ecology, as illustrated by the Baltimore Ecosystem Study. *BioScience* 58:139.
- Programa Nacional de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2019. Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html>
- Rall, E. L., & Haase, D. 2011. Creative intervention in a dynamic city: A sustainability assessment of an interim use strategy for brownfields in Leipzig, Germany. *Landscape and Urban Planning* 100: 189–201.
- Setälä, H., Viippola, V., Rantalainen, A.L., Pennanen, A., Yli-Pelkonen, V. 2013. Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions? *Environ Pollut* 183:104-112.
- Solecki, W., Marcotullio, P.J. 2013. Climate change and urban biodiversity vulnerability. In *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Edited by Elmquist, et al. Springer 485-504.
- The economics of ecosystems and biodiversity. 2010. Ecological and Economic Foundations. Earthscan London and Washington.
- Tidball, K. G., & Krasny, M. E. 2010. Urban environmental education from a conceptual framework for civic ecology education. *Environment* 3 (1):1–20.
- Tyrväinen, L., & Miettinen, A. 2000. Property prices and urban forest amenities. *Journal of Environmental Economics and Management* 39 (2): 205–223.
- United Nations Environment Program. 2011. *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication — A Synthesis for Policy Makers*.
- Van den Berg, A. E., Maas, J., Verheij, R. A., et al. 2010. Green space as a buffer between stressful life events and health. *Social Science & Medicine* 70 (8): 1203–1210.
- Van den Berg, A. E., van Winsum-Westra, M., de Vries, S., & van Dillen, S. M. E. 2010. Allotment gardening and health: A comparative survey among allotment gardeners and their neighbors without an allotment. *Environmental Health* 9: 74. doi: 10.1186/1476-069X-9-74.
- Villarreal, E. L., & Bengtsson, L. 2005. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering* 25: 1–7.
- 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.

