



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías

Carrera de Ingeniería Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN EN MODALIDAD DE ARTÍCULO ACADÉMICO

Título:

“Evaluación visual del arbolado urbano del parque La Rotonda”

Tutor:

Blg. Castillo Ruperti Ricardo Javier

Autor:

Estupiñán Centeno Julio Mateo

Carrera:

Ingeniería Ambiental

Manta – Manabí – Ecuador

2025 (2)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Estupiñán Centeno Julio Mateo**, con C.I 0804498046 declaro bajo juramento que el trabajo descrito en este documento es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y así mismo he consultado las referencias bibliográficas presentadas en esta investigación académica.

A handwritten signature in blue ink that reads "Mateo Estupiñán". The signature is written in a cursive style and is centered within a light gray rectangular box.

Att: Estupiñán Centeno Julio Mateo

APROBACIÓN DEL TUTOR

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Estupiñán Centeno Julio Mateo, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Ambiental, período académico 2025 (2), cumpliendo el total de 196 horas, cuyo tema del proyecto es “Evaluación visual del arbolado urbano del parque La Rotonda”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 2 de febrero de 2026.

Lo certifico.



Blgo. Ricardo Castillo Ruperti MSc.
Docente Tutor(a)
Área: Ingeniería Ambiental

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi refugio y mi guía, por darme la energía para enfrentar lo que parecía imposible. En cada instante de debilidad, sentí su mano sosteniéndome y recordándome que no estaba solo.

A mis padres, quienes con su amor, sacrificio y oraciones incansables me acompañaron a la distancia, enseñándome que la perseverancia abre puertas y que los sueños se alcanzan con esfuerzo.

A mis abuelos, que con su sabiduría y ternura han sido un faro de inspiración en mi vida, brindándome palabras de aliento cuando pensaba tirar la toalla en momentos difíciles, plasmando siempre en mí el valor de la humildad y la gratitud.

A mi hermana y tíos, por su apoyo constante, por estar presentes y pendientes a ayudarme a resolver cualquier necesidad en cada etapa de este recorrido.

A mis docentes y tutor, por compartir sus conocimientos y guiarme con paciencia y dedicación.

A mis amigos, por acompañarme en los momentos de cansancio y celebrar conmigo cada pequeño logro.

Y todos quienes, de una u otra manera, fueron parte de este proceso, les expreso mi más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, que ha sido mi motor y mi razón de seguir adelante en la lucha por mis sueños y anhelos. Por nunca dejarme solo, por siempre acompañarme, por abrazarme en los momentos frustrantes, y por emocionarse conmigo en los momentos felices.

A mis abuelos que partieron y me harán falta siempre, estoy muy seguro que estarían muy felices y orgullosos de lo que estoy logrando; les mando un beso al cielo.

A las personas que llegaron a mi vida cuando menos lo esperaba, y me dieron ese empujón que me hacía falta para poder terminar este proceso tan difícil y hermoso a la vez.

Este logro es un homenaje a ustedes, porque sin su apoyo nada de esto habría sido posible.

RESUMEN

El arbolado urbano en parques brinda servicios ambientales y seguridad a los usuarios, por lo que inspeccionarlo periódicamente sirve de guía para el mantenimiento. Aquí se analiza el estado de conservación del arbolado urbano en el parque “La Rotonda” en las zonas verdes más utilizadas. Se evaluó visualmente calificando de 0 a 5 parámetros en copa, tronco y base; se tomaron variables dasométricas (H, Hb y CAP/DAP) y se estimó el riesgo de caída con tres componentes: riesgo mayor por condición general (0–5 en copa, tronco y base), riesgo por red eléctrica (1–3–5) y riesgo secundario por concurrencia (1–5), sumando un índice total de 3 a 15. Se censaron 265 árboles de 12 especies, estando concentrado el 66,80% en las cuatro especies más frecuentes. En la dispersión de notas por partes, la copa tiende más a nota 0 (53,54%); el tronco, a nota 1 (41,95%); la base, a nota 0 (64,91%), pero también a notas altas 5 (13,44%) y 3 (6,51%). Para 214 árboles con datos completos, el riesgo predominante es daño 5 (96,26%); el riesgo por red eléctrica está disperso entre 1 (35,05%), 3 (27,10%) y 5 (37,85%); la concurrencia se concentra entre 1 (54,67%) y 5 (45,33%). El índice general califica 1,87% en riesgo bajo (4 árboles), 70,56% en riesgo medio (151) y 27,57% en riesgo alto (59). En total, el parque tiene una proporción considerable de ejemplares en riesgo medio y alto, lo que dirige la prioridad de actuación a ejemplares con índice 12–15 y, posteriormente, al tramo 7–11 en zonas de mayor tránsito.

Palabras clave: arbolado urbano, evaluación visual, riesgos, vegetación

ABSTRACT

Urban trees in parks provide environmental services and safety for users, so inspecting them periodically serves as a guide for maintenance. Here we analyse the state of conservation of urban trees in the most used green areas of La Rotonda Park. A visual assessment was carried out, rating parameters in the crown, trunk and base on a scale of 0 to 5. dasometric variables (H, Hb and CAP/DAP) were taken, and the risk of falling was estimated using three components: major risk due to general condition (0–5 for crown, trunk and base), risk due to power lines (1–3–5) and secondary risk due to concurrence (1–5), adding up to a total index of 3 to 15. A total of 265 trees of 12 species were surveyed, with 66.80% concentrated in the four most common species. In the distribution of scores by part, the crown tends more towards a score of 0 (53.54%); the trunk towards a score of 1 (41.95%); and the base towards a score of 0 (64.91%), but also towards high scores of 5 (13.44%) and 3 (6.51%). For 214 trees with complete data, the predominant risk is damage 5 (96.26%); the risk from the power grid is dispersed between 1 (35.05%), 3 (27.10%) and 5 (37.85%); the concurrence is concentrated between 1 (54.67%) and 5 (45.33%). The overall index rates 1.87% as low risk (4 trees), 70.56% as medium risk (151) and 27.57% as high risk (59). Overall, the park has a considerable proportion of specimens at medium and high risk, which means that priority action should be given to specimens with an index of 12–15 and, subsequently, to those with an index of 7–11 in areas of greater risk.

Keywords: urban trees, visual assessment, risks, vegetation

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
2.	MATERIALES Y METODO.....	13
2.1.	Ubicación.....	13
2.2.	Metodología.....	14
2.2.2.1.	<i>Localización</i>	15
2.2.2.2.	<i>Identificación</i>	15
2.2.2.3.	<i>Talla</i>	15
2.2.3.1.	<i>Calificación de tasa</i>	16
2.2.3.2.	<i>Evaluación del tronco</i>	19
2.2.3.3.	<i>Evaluación de la base del tronco</i>	22
3.	RESULTADOS	26
3.1.	Valoración general de riesgos visuales por componentes del árbol.....	27
4.	DISCUSIÓN.....	31
4.1.	Condición general del arbolado y composición	31
4.2.	Riesgos generales por componente (copa, tronco y base)	32
4.3.	Riesgo de caída y riesgos asociados	33
4.4.	Implicaciones para gestión local y proyección del parque	33
5.	CONCLUSIONES.....	35
6.	RECOMENDACIONES.....	35
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación y detalles geográficos del Parque "La Rotonda"	14
Figura 2: Distribución de valoraciones en las partes de los árboles evaluadas.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodología para evaluar riesgos en parámetros en las copas de árboles adultos.....	16
Tabla 2. Metodología para la evaluación de riesgos en parámetros en los troncos de árboles adultos	19
Tabla 3. Metodología para evaluar riesgos en parámetros en la base de los troncos de árboles adultos	22
Tabla 4. Composición y métricas estructurales del arbolado del parque “La Rotonda”	26
Tabla 5. Riesgos registrados en la copa	28
Tabla 6. Riesgos registrados en el tronco.....	28
Tabla 7. Riesgos registrados en la base del tronco.....	29
Tabla 8. Valoración del riesgo de caída	30
Tabla 9. Ponderación del riesgo	31

EVALUACIÓN VISUAL DEL ARBOLADO URBANO DEL PARQUE “LA ROTONDA”

VISUAL EVALUATION OF THE URBAN TREES OF “LA ROTONDA” PARK

Julio Mateo Estupiñán Centeno¹

¹*Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta-Manabí-Ecuador*

1. INTRODUCCIÓN

El término "arbolado urbano" hace referencia a la vegetación leñosa que se encuentra en las ciudades, que normalmente tiene una altura superior a los 5 metros y está situada en parques, avenidas y plazas (Garrido Aguilar et al., 2023) (Garrido Aguilar et al., 2023). Su presencia genera ventajas sociales y ambientales: mejora la calidad del aire, regula térmicamente mediante sombra y transpiración, controla la erosión, mitiga el ruido y contribuye al bienestar de la población (Locosselli & Buckeridge, 2023) (Locosselli & Buckeridge, 2023). Un estudio realizado en La Merced y Pedro Moncayo indica que el 58% de los árboles tiene algún nivel de riesgo fitosanitario, el 40.3% muestra daños causados por factores bioclimáticos y antrópicos, el 33.6% sufre problemas debido a enfermedades y plagas, y el riesgo por "efecto diana" es moderado o elevado en un 42.9% (Garrido Aguilar et al., 2023) (Garrido Aguilar et al., 2023). Ese el mismo trabajo reconoce las limitaciones comunes de la evaluación visual: se omite a los individuos jóvenes cuando se trabaja con umbrales de DAP superiores a 10 cm y es difícil identificar problemas en raíces o defectos internos; así, los resultados describen una condición en un momento específico. Por otro lado, en términos de biodiversidad urbana, el arbolado sirve como refugio para la fauna silvestre y urbana, además de ayudar a mantener funciones ecológicas en las matrices construidas. Quiroz (2020) Quiroz (2020) indica que existe riesgo de volcamiento en algunos individuos y que la intervención es necesaria de manera urgente en el 5,5% de los casos y enfatiza que el riesgo no solo se determina por la edad o el tamaño, sino también por las condiciones estructurales. En el mismo orden de ideas, Macías-Muro et al. (2022) Macías-Muro et al. (2022) sugiere que los árboles son elementos fundamentales de los ecosistemas urbanos debido a sus servicios ecosistémicos y a su vínculo directo con la calidad de vida. Se concluye en su trabajo en la Zona Metropolitana de Guadalajara que, a través de imágenes satelitales multiespectrales, el 24% de las jacarandas y los frescos se encuentran en condiciones saludables o regulares. Una interpretación adicional que ofrece el debate sobre el estrés urbano es que las condiciones para crecer en una ciudad

tienden a ser más limitadas que en ambientes naturales, lo cual repercute en la salud y el rendimiento con el paso del tiempo (Guerra-Hernández et al., 2021; Krtalić et al., 2021) (Guerra-Hernández et al., 2021; Krtalić et al., 2021).

Para evaluar el riesgo en los árboles urbanos, es necesario identificar las fallas comunes y su manifestación visible. Saavedra-Romero et al. (2019) Saavedra-Romero et al. (2019) registran, entre otros problemas, la presencia de brotes epicórmicos, grietas, tumores, pudrición avanzada y ramas muertas en una investigación sobre identificación de peligros y defectos en el arbolado urbano de Ciudad de México.

En Ecuador, la urbanización aumenta la presión sobre los servicios medioambientales y requiere que las zonas verdes sean gestionadas para disminuir tanto la contaminación como la pérdida de biodiversidad. Las funciones de los árboles en lo que respecta a la calidad del aire y la moderación térmica vinculada a islas de calor son descritas por Jalkanen et al. (2020) Jalkanen et al. (2020). En el ámbito legal, el Código Orgánico Del Ambiente (2017) impone a los gobiernos locales deberes y mecanismos de participación ciudadana para proteger el patrimonio natural urbano, engranándose con el Plan Nacional (2019-2030) para conservar y restaurar bajo una planificación y seguimiento (Ministerio del Ambiente, 2019). Este marco se alinea con el Reglamento, el cual otorga a los GAD la competencia para autorizar y controlar la poda, tala y mantenimiento del arbolado urbano en el espacio público. Asimismo, la norma técnica nacional basada en el acuerdo Ministerial 059 para arbolado urbano establece especificaciones para manejo, conservación y promoción que definen criterios mínimos de intervención (Ministerio de Ambiente, 2018). En Portoviejo, ese marco se aterriza en acciones como inventarios, control de áreas verdes y regularización del sistema de parques, ya que la forma y el arbolado se relacionan con la calidad de uso del espacio público y con la gestión local del verde urbano (Cabrera Verdesoto et al., 2022).

El parque "La Rotonda" de Portoviejo es un lugar icónico de esparcimiento que contiene una gran cantidad de vegetación y que es empleado diariamente por los visitantes. El estudio de la absorción de carbono en 847 individuos y 33 especies, que incluye la identificación de especies con afinidad a sistemas secos y húmedos, es una referencia local relacionada con el parque. Se informa sobre una absorción total de 247.748,14 kg de CO₂, donde predominan los individuos con afinidad al bosque húmedo; además, se establece que la captación está vinculada al tipo de especie presente (Castillo et al., 2022). Esta información puede concretar la normativa en acciones prácticas para Portoviejo: llevar un registro actualizado por especie, priorizar el manejo según su rendimiento y estado, mantener el

monitoreo para conservar los servicios ecosistémicos y disminuir los riesgos en un parque de uso diario.

A pesar de que se tiene ese antecedente, no hay un registro integral y renovado del estado de los árboles del parque, lo cual restringe las decisiones sobre mantenimiento; las intervenciones y podas se realizan sin un plan de recolección de datos completo ni una normalización técnica para evaluar riesgos (Hernández Tovar et al., 2021) (Hernández Tovar et al., 2021).

La justificación de este trabajo se fundamenta en tres contribuciones directas: (1) elaborar una lista de verificación y un análisis visual con criterios comparables para establecer prioridades del mantenimiento, (2) detectar los peligros por cada parte del árbol (tronco, copa y base) para dirigir acciones concretas, y (3) calcular el riesgo de caída combinando la condición del árbol con factores externos como redes y concurrencia, aumentando así la seguridad en áreas públicas. Además, la investigación establece un camino para mejorar la metodología mediante la supervisión periódica y el uso de técnicas instrumentales o remotas en casos específicos, como ultrasonido, resistografía o imágenes aéreas, con el fin de complementar la observación directa.

El objetivo general de la investigación fue evaluar el estado de conservación del arbolado urbano en las zonas verdes más utilizadas dentro del parque La Rotonda. Los objetivos específicos son: examinar el estado general del arbolado urbano en el parque "La Rotonda"; reconocer los peligros que presentan los componentes del arbolado urbano de dicho parque (copa, tronco y base del tronco); y establecer cuál es la amenaza de caída de los árboles urbanos en ese mismo parque.

2. MATERIALES Y METODO

2.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en el parque “La Rotonda” situada en la ciudad de Portoviejo provincia de Manabí; viene siendo uno de los parques más grandes de la provincia con un área aproximada de 15,24 hectáreas con coordenadas geográficas:

Coordenadas 1°2'42" S, 80°27'34" W En decimal -1.045°, -80.459444°



Figura 1: Ubicación y detalles geográficos del Parque "La Rotonda"

2.2. Metodología

La investigación fue cuantitativa, descriptiva, no experimental. Fue un estudio de campo y transversal, porque documentó en una sola campaña el estado de conservación del arbolado urbano del parque "La Rotonda" a través de una evaluación visual estandarizada. La unidad de análisis fue cada árbol muestreado y los datos se analizaron con estadística descriptiva (frecuencias y porcentajes) para describir la condición general, los riesgos por partes (copa, tronco y base) y el riesgo ponderado de caída.

2.2.1. Diseño del estudio

Se evaluó mediante la metodología de Furlaneto et al. (2010) el cual tiene como finalidad determinar el riesgo de caída de los árboles del área de estudio.

Dentro del índice de riesgo, se tomó en consideración diversos aspectos tales como tamaño de los árboles, copa, base del fuste y fuste, los cuales serán detallados en la secuencia. Se consideraron a árboles de riesgos, a aquellos individuos que presenten daños en su estructura que lo hacen proclive a accidentes, los cuales pueden ser provocados por diversas fuentes como lluvias prolongadas, podas mal ejecutas, colisión de vehículos, fuertes vientos, etc.

Furlaneto et al. (2010), el primer paso en la metodología fue la observación de cada árbol, sin el uso de instrumentos sofisticados o técnicas invasivas, se observó aspectos subjetivos antes mencionados, sin embargo, se consideró que existirá una probabilidad de error

humano en la evaluación, pero a través, de capacitaciones específicas, se estandarizará las observaciones.

Además, el método de puntuación de variables se basó en el análisis de elementos como ubicación, tamaño y condición general del árbol, siendo de la última, problemas fitosanitarios.

2.2.2. Sistemas de evaluación

2.2.2.1. Localización

Se contó con un mapa de la zona de estudio que contendrá el área total del arbolado, definiendo en ella los límites de cada uno de los lotes.

Número de árbol (NA): Cada árbol evaluado recibió un código identificador del cual se determinó de acuerdo con el área, zona y lugar que se ubique, siendo así B01Z01L01A01 (bloque 1, zona 1, lote 1 y árbol 1), siendo el primer árbol frente al referido edificio:

- Patio (camino): Nombre de la calle y avenida
- Número de propiedad (NI): Número de propiedad frente al edificio registrado.

2.2.2.2. Identificación

Tipo de registro (estado): Los tipos de registro se separaron en las siguientes categorías:

- Árbol adulto: Considerados a aquellos árboles que miden más de 3 m de altura
- Árbol joven (plántula): Aquellos menores de 3 m de altura
- Tocón: Parte restante de la base del tronco que ha sido removido
- Muerto: Árbol seco, con ausencia de vida
- Área libre: Área de aceras sin impermeabilización, donde hubo un árbol, pero el tocón no está

Clase: Las especies de árboles fueron identificadas con sus nombres científicos y popular.

Espaciado: Medida entre árboles o tipo de troncos.

2.2.2.3. Talla

Altura total (H): Se estimó por comparación con estructuras urbanas como postes, automóviles o edificios.

Altura de la primera bifurcación (Hb): Altura medida con una cinta métrica desde el suelo hasta la primera bifurcación o rama.

Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP): Se determinó mediante la medición a la altura del pecho (1,3 m de altura) y se tomó datos del diámetro a la altura del pecho, en el caso de troncos múltiples o bifurcados menores a 1,3 m, se realizó la medición de todos los troncos.

2.2.3. Evaluación de condiciones generales por árbol

Para evaluar las condiciones generales por árbol se tomó en consideración la metodología de

Seitz (2006) citada en Furlaneto *et al.* (2010) del que se seleccionaron varios parámetros los mismos que recibieron puntajes según el grado de riesgo, estos mismos serán registrados en fichas divididas por árboles evaluados.

Los puntajes se basarán mediante la aplicación de la Escala de Likert donde su valoración será entre 0-5, siendo 0 ningún riesgo aparente, 1 riesgo pequeño, 2 y 3 riesgo considerados intermediados, 4 y 5 para riesgos altos.

2.2.3.1. Calificación de tasa

Las evaluaciones se realizaron mediante evaluación visual de los parámetros (Tabla 1).

Tabla 1. Metodología para evaluar riesgos en parámetros en las copas de árboles adultos

Parámetros	Definición y justificación del análisis	Metodología del análisis
Leña menuda interfiriendo con la red eléctrica	Las ramas al tocar la red eléctrica pueden provocar descargas, dañando árboles y la distribuyendo de la electricidad	Riesgo 0 – cuando no existen ramas en contacto con la red eléctrica Riesgo 1 – cuando las ramas están en contacto con la red eléctrica Riesgo 5 – cuando las ramas están en contacto directo con red eléctrica de alto voltaje.
Ramas secas	La presencia de estas ramas indica materia en descomposición y problemas fitosanitarios. La caída de estas ramas puede causar accidentes	Riesgo 0 – cuando no existen ramas secas Riesgo 1 – presencia de ramas delgadas secas Riesgo 2 – presencia de ramas secas con diámetro entre 5 a 10 cm Riesgo 0 – cuando no existen ramas secas Riesgo 1 – presencia de ramas delgadas secas Riesgo 2 – presencia de ramas secas con diámetro entre 5 a 10 cm Riesgo 3 – presencia de ramas secas con diámetros alrededor de 10 a 15 cm

		Riesgo 4 – presencia de ramas secas con un diámetro entre 15 a 20 cm Riesgo 5 – presencia de ramas secas con un diámetro mayor a 20 cm
Ramas de ángulo	Ramas que presenta una angulación pronunciada, principalmente en dirección vertical. Tienen el potencial de romper longitudinalmente, que puede causar accidentes	Riesgo 0 – cuando no existen ramas en ángulo Riesgo 1 – presencia de ramas delgadas angulado <5 cm de diámetro Riesgo 2 – presencia de ramas en ángulo con 5 y 10 cm de diámetro Riesgo 3 – ramas en ángulo con diámetro de 10 a 15 cm Riesgo 4 – ramas en ángulo entre 15 y 20 cm Riesgo 5 – presencia de ramas inclinadas de diámetro superior a 20 cm
Ramas delgadas	Aquellas que solo tienen follaje en el borde. Pueden romperse y causar accidentes	Riesgo 0 – cuando no existen ramas delgadas Riesgo 1 – presencia de ramas delgadas de <1 m de longitud Riesgo 2 – ramas delgadas con una longitud de 2 m Riesgo 3 - ramas delgadas con una longitud de 3 m Riesgo 4 - ramas delgadas con una longitud de 4 m Riesgo 5 - ramas delgadas con una longitud de más de 4 m
Lesiones en la corteza de las ramas	Causadas por descamación y quema, indican fragilidad.	Riesgo 0 – cuando no existen lesiones en la rama Riesgo 1 – presencia de ramas con diámetro <10 cm y con lesiones < ¼ del perímetro de ramas Riesgo 2 – presencia de ramas con diámetro <10 cm y con lesiones >1/4 del perímetro de ramas

		Riesgo 3 – presencia de ramas con un diámetro alrededor de 15 cm y con lesiones < de $\frac{1}{4}$ de perímetro en ramas Riesgo 4 – presencia de ramas con un diámetro alrededor de 15 cm y con lesiones > $\frac{1}{4}$ del perímetro de ramas Riesgo 5 – presencia de ramas con perímetro >15 cm y con lesiones > $\frac{1}{4}$ del perímetro en ramas
Hongos	Indica descomposición de la materia orgánica (podredumbre de la madera)	Riesgo 0 – cuando no existen hongos en las ramas Riesgo 5 – cuando hay hongos en las ramas
Insectos perforadores	Los agujeros de los insectos en las ramas indican la presencia de posibles plagas que se pudren en la madera	Riesgo 0 – cuando no hay agujeros de insectos en las ramas Riesgo 1 – existencia de huecos que abarquen hasta el 10% de las ramas Riesgo 2 – existencia de agujeros que abarcan alrededor del 20% de las ramas Riesgo 3 – existencia de agujeros que abarcan alrededor del 30% de las ramas Riesgo 4 - existencia de agujeros que abarcan alrededor del 40% de las ramas Riesgo 5 - existencia de agujeros que abarcan alrededor del 50% o más de las ramas, o presente en ramas gruesas (diámetro mayor a 15 cm)
Follaje escaso	Es indicativo de problemas de enraizamiento de árboles y otras	Riesgo 0 – cuando no hay problemas en el follaje Riesgo 1 – existencia de problemas foliares que

		perturbaciones que afectan la fisiología del árbol	abarquen hasta el 10% de ramas del dosel Riesgo 2 - existencia de problemas foliares que abarquen hasta el 20% de ramas del dosel Riesgo 3 - existencia de problemas foliares que abarquen hasta el 30% de ramas del dosel Riesgo 4 - existencia de problemas foliares que abarquen hasta el 40% de ramas del dosel Riesgo 5 - existencia de problemas foliares que abarquen hasta el 50% o más de las ramas del dosel
Poda drástica	unilateral	y Influyen en las condiciones de enraizamiento, ya que la remoción de ramas establece un menor requerimiento nutricional y fisiológico, provocando la muerte de raíces que ya estén establecidos. Provocan un desequilibrio en el árbol provocando un mayor potencial de caída.	Riesgo 0 – cuando no hay poda unilateral Riesgo 4 – existencia de poda unilateral, eliminación de un solo sector de la poda, hasta el 50% de la eliminación de ramas del dosel Riesgo 5 – existencia de poda drástica, considerando más del 50% de ramas del dosel eliminadas

Fuente: Adaptado de Furlaneto *et al.* (2010)

2.2.3.2. Evaluación del tronco

Se realizó mediante análisis visual y algunas utilizando equipos simples (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Metodología para la evaluación de riesgos en parámetros en los troncos de árboles adultos

Parámetros	Definición y justificación del análisis	Metodología del análisis
Cavidades	Las cavidades en el tronco indican deterioro de la madera con daño a las funciones fisiológicas del árbol. El tamaño y la extensión de la cavidad	Riesgo 0 – cuando no existe cavidad del tronco Riesgo 1 – cavidad (hueca) que involucra menos del

	influyen en el riesgo para el árbol. Cuanto mayor sea la extensión y el tamaño, mayor será la riesgo de una caída futura. Solo se considerará el deterioro visible en el árbol	50% del área transversal del tronco Riesgo 3 – cavidad (hueca) que compromete entre el 50% y el 70% del área transversal del tronco Riesgo 5 – cavidad (hueca) que afecta más del 70% del área de la sección transversal del tronco 0lk
Lesiones y aspecto de la corteza	Las lesiones en la corteza de los árboles no son motivos directamente relacionados con la caída de árboles, sin embargo, dependiendo del perímetro del tronco afectado, puede conducir a una debilidad del sistema radicular, provocando una caída futura	Riesgo 0 – cuando no existen lesiones en la corteza Riesgo 1 – presencia de lesiones que abarcan menos del 25% del perímetro del tronco Riesgo 2 – presencia de lesiones que abarcan del 25% al 50% del perímetro del tronco Riesgo 3 – presencia de lesiones que van desde más del 50% hasta 75% del perímetro del tronco Riesgo 4 – presencia de lesiones mayores del 75% del perímetro del tronco Riesgo 5 – presencia de lesiones profundas y más del 75% del perímetro del tronco
Agujeros de insectos	La presencia de insectos indica malas condiciones para el árbol, aunque no siempre significa un alto riesgo de caída	Riesgo 0 – cuando no existen rastro de insectos Riesgo 1 – presencia de agujeros que abarcan menos del 10% del área del tronco Riesgo 2 – presencia de huecos que abarcan entre

		el 10% y 20% del área del tronco Riesgo 3 – presencia de agujeros que van desde más del 20% hasta el 30% del área del tronco Riesgo 4 – presencia de agujeros que abarcan entre más del 30% y 40% del área del tronco Riesgo 5 – presencia de agujeros que abarcan más del 50% del área del tronco
Hongos	La presencia de hongos indica descomposición de la materia orgánica	Riesgo 0 – cuando no hay hongos en el tronco Riesgo 5 – cuando hay hongos en el tronco
Cáncer	Se define como un síntoma asociado a la presencia de hongos, suele presentarse como una lesión bordeada de callosidades, con muerte cambium y parte de la circunferencia del tronco	Riesgo 1 – existencia de cáncer con área circundante de 200 cm² Riesgo 2 - cáncer con área mayor a 200 cm² hasta 1000 cm² Riesgo 3 – cáncer con un área mayor a 1000 cm² hasta 5000 cm² Riesgo 4 – cáncer con un área mayor a 5000 cm² hasta 10000 cm² Riesgo 5 – cáncer con un área mayor a 1000 cm² o con más del 50% del tronco afectado
Lesiones mecánicas	Ciertas lesiones causadas por vandalismo en los troncos de los árboles pueden dañar la salud de estos	Riesgo 0 – cuando no hay lesiones Riesgo 1 – existencia de dibujos y escritos en el tronco Riesgo 2 – existencia de muérdagos que abarcan

	alrededor del 20% de las ramas del dosel
	Riesgo 3 – existencia de muérdagos que abarcan alrededor del 30% de las ramas del dosel
	Riesgo 4 – existencia de muérdagos que abarcan alrededor del 40% de las ramas del dosel
	Riesgo 5 – existencia de muérdagos que abarcan alrededor del 50% o más de las ramas del dosel

Fuente: Adaptado de Furlaneto *et al.* (2010)

2.2.3.3. Evaluación de la base del tronco

Evaluar el estado de las raíces es difícil, por lo que se utilizó indicadores evaluando principalmente la base del tronco (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Metodología para evaluar riesgos en parámetros en la base de los troncos de árboles adultos

Parámetros	Definición y justificación del análisis	Metodología del análisis
En ciernes epicórmicos	Pequeños brotes de raíces situados en el fondo del tronco. Indican deficiencia en la circulación de la savia, que acaba perjudicando la alimentación de las finas raíces, pero no ofrece riesgo inminente	Riesgo 0 – cuando no existe brotación epicórmica Riesgo 1 – cuando hay brotación epicórmica.
Lesiones básicas del tronco	Las lesiones de los árboles no son razones directamente relacionadas con la caída de los árboles, sin embargo, dependen del perímetro del tronco afectado, puede llevar a una debilidad del sistema de la raíz provocando una caída futura	Riesgo 0 – cuando no existe lesiones Riesgo 1 – presencia de lesiones que abarcan menos del 25% del perímetro de la base del tronco Riesgo 2 – presencia de lesiones que abarcan del

		25% al 50% del perímetro de la base del tronco Riesgo 3 – presencia de lesiones que abarcan entre más del 50% hasta el 75% del perímetro de la base del tronco Riesgo 4 – presencia de lesiones mayores que el 75% del perímetro de la base del tronco Riesgo 5 – presencia de lesiones profundas y más del 75% del perímetro de la base del tronco
Cavidades en la base del tronco	Las cavidades en el tronco indican deterioro de la madera con daño a las funciones fisiológicas del árbol. El tamaño y la extensión de la cavidad influyen en el riesgo para el árbol. Cuanto mayor sea la extensión y el tamaño, mayor será la riesgo de una caída futura. Solo se considerará el deterioro visible en el árbol	Riesgo 0 – cuando no existe cavidad del tronco Riesgo 1 – cavidad (hueca) que involucra menos del 50% del área transversal de la base del tronco Riesgo 3 – cavidad (hueca) que compromete entre el 50% y el 70% del área transversal de la base del tronco Riesgo 5 – cavidad (hueca) que afecta más del 70% del área de la sección transversal de la base del tronco
Hongos	La presencia de hongos indica descomposición de la materia orgánica	Riesgo 0 – cuando no hay hongos en la base del tronco Riesgo 5 – cuando hay hongos en la base del tronco
Raíces adventicias	Aquellas que nacen en los tallos u hojas de cualquier vegetal, ocurre en los árboles, son indicativos de problemas en las raíces	Riesgo 0 – cuando no existen raíces adventicias Riesgo 1 – existencia de pocas raíces concentradas en una sola región desde la base del tronco

		Riesgo 2 – existencia de pocas raíces esparcidas por todo el perímetro de la base del tronco Riesgo 3 – existencia de muchas raíces concentradas en una sola región desde la base del tronco Riesgo 4 – existencia de muchas raíces repartidas en hasta el 50% del perímetro de la base del tronco Riesgo 5 – existencia de muchas raíces dispersas por todo el perímetro de la base del tronco
Lesiones mecánicas	Ciertas lesiones causadas por vandalismo en los troncos de los árboles pueden causar daños a la salud de los árboles	Riesgo 0 – cuando no hay lesiones Riesgo 1 – existencia de dibujos y escritos en el tronco Riesgo 2 – existencia de muérdagos que abarcan alrededor del 20% de las ramas del dosel Riesgo 3 – existencia de muérdagos que abarcan alrededor del 30% de las ramas del dosel Riesgo 4 – existencia de muérdagos que abarcan alrededor del 40% de las ramas del dosel Riesgo 5 – existencia de muérdagos que abarcan alrededor del 50% o más de las ramas del dosel
Espacio permeable (área libre)	Los árboles en la vía pública se instalan en áreas permeables en medio de las aceras, el tamaño de estas áreas suele ser pequeño, no	Riesgo 1 – espacio permeable mayor que 1,5 m ²

	siendo viable para el ciclo de nutrientes e infiltración de agua. Los espacios reducidos pueden aumentar el riesgo de caída debido a que no permiten una adecuada expansión de las raíces	Riesgo 3 – espacio permeable entre 1 hasta 1,5 m ² Riesgo 5 – sin espacio, tronco rodeado de zona impermeable
Ausencia de Neiloide	La base de la gran mayoría de los árboles tiene una forma geométrica llamada neiolide. Cuando no se identifica esta forma, es una indicación de puesta a tierra de las plántulas en la siembra dificulta el intercambio de gases y deja raíces en regiones de suelo compactado	Riesgo 0 – cuando hay neiolide Riesgo 5 – ausencia de neiolide
Raíces cortadas	Controlar el crecimiento de raíces mediante la poda es una actividad riesgosa para el equilibrio de árboles urbanos. Aquellos árboles que presentan raíces podadas presentan un riesgo, ya que su estabilidad se ve comprometida	Riesgo 0 – cuando no hay evidencia de raíces cortadas Riesgo 1 – evidencia de al menos 2 raíces cortadas Riesgo 3 – evidencia de más de 2 raíces cortadas en una región de la base del tronco Riesgo 5 – evidencia de más de 2 raíces cortadas alrededor del perímetro desde la base del tronco

Fuente: Adaptado de Furlaneto *et al.* (2010)

2.2.4. Evaluación del índice de riesgo de caída

El riesgo de caída de los árboles se encontró relacionado con el posible daño causado por la caída del mismo, debido a esto, Furlaneto *et al.* (2010) estableció un índice de riesgo para aquellos árboles situados cercanos a redes eléctricas y los efectos secundarios que causaría por su caída.

Puntuación del índice de riesgo a la red eléctrica: Se considera como riesgo 1 a aquellos árboles que se encuentran en lugares sin red eléctrica, riesgo 3 para árboles ubicados en red de baja tensión y riesgo 5 para red de media tensión.

Puntuación del índice de riesgo de efectos secundarios: Se toma en consideración los riesgos causados por la caída de los árboles hacia las personas dependiendo de la concurrencia de donde se ubica el árbol, por lo que tuvo la siguiente determinación: sector transitado – riesgo 5 y sector no transitado – riesgo 1.

2.2.5. Evaluación para la clasificación de riesgo de caídas

Mediante los resultados que se obtuvieron en la evaluación de las condiciones generales de cada árbol y los riesgos, se determinó un índice para priorizar los riesgos de caída.

Este índice se determinó mediante la suma de los valores de riesgo de la evaluación de las condiciones generales de los árboles, red eléctrica y efectos secundarios. El índice de cada árbol varió desde 3 (bajo riesgo) hasta 15 (alto riesgo), estableciéndose de la siguiente manera:

Índice de 3 a 6 – Riesgo menor

Índice de 7 a 11 – Riesgo de media importancia

Índice de 12 a 15 – Riesgo de alta importancia

3. RESULTADOS

En el parque La Rotonda se censaron 265 individuos de 12 especies. Las cuatro especies más abundantes (Tabaca, Mango, Tamarindo y Neem) agruparon el 66,80% de los individuos muestreados. La mayor parte fue Tabaca (19,25%) Mango (18,49%); juntos representaron el 37,74% del total (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Composición y métricas estructurales del arbolado del parque “La Rotonda”

Especie (nombre común)	Nombre científico	N (árboles)	Proporción (%)	Altura total media, H (m)	Altura de bifurcación media, HB (m)	DAP medio (cm)
Tabaca	<i>Albizia guachapele</i>	51	19,25	7,87	3,05	117,22
Mango	<i>Mangifera indica</i>	49	18,49	8,51	3,39	335,12
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	39	14,72	8,78	2,94	88,59

Especie (nombre común)	Nombre científico	N (árboles)	Proporción (%)	Altura total media, H (m)	Altura de bifurcación media, HB (m)	DAP medio (cm)
Neem	<i>Azadirachta indica</i>	38	14,34	17,66	5,32	215,21
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	23	8,68	8,89	2,76	112,83
Palmera	<i>Cocos nucifera</i>	20	7,55	20,75	13,50	200,20
Guayabo	<i>Psidium guajava</i>	11	4,15	6,59	3,75	286,45
Pechiche	<i>Vitex gigantea</i>	10	3,77	8,94	2,41	91,70
Ceibo	<i>Ceiba pentandra</i>	9	3,40	6,06	2,82	159,44
Lluvia de oro	<i>Cassia fistula</i>	7	2,64	5,14	2,96	76,14
Obo	<i>Spondias mombin</i>	5	1,89	5,20	0,88	504,20
Fruta china	<i>Averrhoa carambola</i>	3	1,13	4,17	1,30	187,33
TOTAL		265	100,00			

La estructura presentó dos grupos dominantes: especies de copa amplia (Tabaca, Mango, Tamarindo, Neem) y especies altas de fuste limpio (Palmera). Los mayores promedios de altura total se encontraron en Palmera (20,75 m) y Neem (17,66 m), en tanto que Palmera tuvo la mayor altura de bifurcación (13,50 m), lo que indicó fustes más limpios en zonas de tránsito. En diámetro, Obo presentó el DAP promedio más alto (504,20 cm), por lo que mereció ser analizado en la evaluación de riesgo, por su tamaño y potencial carga estructural.

3.1. Valoración general de riesgos visuales por componentes del árbol

Se calificó en una escala 0-5 a 265 árboles del parque “La Rotonda” en condiciones de copa, tronco y base del tronco. En general, la mayor frecuencia de registros se localizó en categorías bajas (0-1) para distintas variables sanitarias (lesiones, insectos, caries). Al mismo tiempo, surgieron altas concentraciones de categorías 4-5 en puntos específicos que exigen control operativo (principalmente ramas anguladas, hongos copa y hongos de base).

3.1.1. Riesgos observados en la copa

En copa predominaron los valores 0 en daños a ramas (242) e insectos (203), con pocas categorías altas en esas variables. Se observó alta carga en ramas anguladas, 100 árboles en

nivel 5 y 77 en nivel 3, y gran cantidad de ramas delgadas localizadas en nivel 2 (91). En hongos se identificó un clúster altamente afectado (83 en nivel 5). En poda severa se llegó a acumular en grado 4 (90), lo que indicó antiguas podas severas. En la Tabla 5 se muestran los riesgos registrados en la copa.

Tabla 5. Riesgos registrados en la copa

Daño	L.M./R.E.	R. secas	R. ángulo	R. delgadas	Les. ramas	Hongos	Insectos	Foll. escaso	Poda drást.
0	129	149	25	87	242	182	203	97	163
1	136	42	0	43	13	0	62	79	0
2	0	28	38	91	10	0	0	33	0
3	0	34	77	36	0	0	0	37	0
4	0	0	25	0	0	0	0	14	90
5	0	12	100	8	0	83	0	5	12
Total	265	265	265	265	265	265	265	265	265

Nota: L.M./R.E.=Leña menuda o ramas interfiriendo con red eléctrica; R.=Ramas; Les.=Lesiones; Foll.=Follaje; Poda drást.=Poda drástica.

La mayor alerta se localiza en ramas anguladas (nivel 5: 100; nivel 3: 77) en relación con nudos débiles y riesgo de desgaje. Hongos: hay un número elevado en nivel 5 (83), por lo que es recomendable una inspección localizada y poda sanitaria selectiva. La poda severa se localizó en grado 4 (90), desequilibrando la copa y estimulando brotes.

3.1.2. Riesgos observados en el tronco

En tronco, la categoría 0 es predominante en cavidades (161) y agujeros/insectos (177). En heridas de corteza, la categoría 1 grupo 154 fichas, superior al nivel 0 (106), lo que indicó marcas superficiales comunes. En traumatismos mecánicos se distribuyeron en 0 y 1 (119 en cada nivel), siendo escasos en los niveles 3 (18) y 4 (9). En los hongos se codificaron 86 árboles en nivel 5, por lo que esta variable fue prioritaria para inspección complementaria y control. En la Tabla 6 se visualizan los resultados de la observación en el tronco (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Riesgos registrados en el tronco

Daño	Cavidades	Les. corteza	Aguj. /insectos	Hongos	Cáncer	Les. mec.
0	161	106	177	179	0	119
1	92	154	77	0	225	119
2	0	5	11	0	40	0
3	12	0	0	0	0	18
4	0	0	0	0	0	9

Daño	Cavidades	Les. corteza	Aguj. /insectos	Hongos	Cáncer	Les. mec.
5	0	0	0	86	0	0
Total	265	265	265	265	265	265

Nota: Les.=Lesiones; Aguj.=Agujeros; Les. mec.=Lesiones mecánicas.

Las lesiones corticales se observan habitualmente en grado 1 (154), en relación con cambios menores. El punto sensible son hongos con 86 árboles en nivel 5 compatible con pérdida de resistencia interna; priorizar la revisión en zonas de mayor tránsito peatonal. Las lesiones mecánicas se distribuyeron en grado 0-1 (119 y 119), con pocos casos en grado 3-4 (18 y 9).

3.1.3. Riesgos observados en la base del tronco

En la parte basal del tronco se registraron altos valores 0 en rebrotes epicórmicos (229), oquedades en la base (222) y raíces cortadas (265). En hongos en base se censaron 103 árboles en nivel 5, siendo una de las condiciones más alarmantes del componente basal. En suelo permeable se agruparon registros en niveles 1 (75), 3 (73) y 5 (117), lo que indicó disponibilidad variable de área libre alrededor del árbol. En ausencia de neiloide prevaleció el nivel 0 (230), 35 de nivel 5 (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Riesgos registrados en la base del tronco

Daño	Brotes epic.	Les. base	Cav. base	Hongos base	Raíces adv.	Esp. perm.	Aus. neiloide	Raíces cort.
0	229	122	222	162	146	0	230	265
1	36	43	28	0	61	75	0	0
2	0	60	0	0	16	0	0	0
3	0	40	15	0	10	73	0	0
4	0	0	0	0	2	0	0	0
5	0	0	0	103	30	117	35	0
Total	265	265	265	265	265	265	265	265

Nota: Brotes epic.=Brotes epicórmicos; Les.=Lesiones; Cav.=Cavidades; Raíces adv.=Raíces adventicias; Esp. perm.=Espacio permeable; Aus. neiloide=Ausencia de neiloide; Raíces cort.=Raíces cortadas.

La primera condición es hongos en base con 103 en nivel 5, asociado a pérdida de estabilidad. El espacio permeable fue altamente variable (nivel 5: 117), lo que indicó áreas con suelo restringido. (30) ameritaron revisar el cuello y el suelo circundante.

La comparación de las calificaciones de riesgo (0-5) por parte aérea (copa, tronco y base) evidenció diferencias en la distribución del estado fitosanitario (Figura 1). La copa y la base obtuvieron mayor frecuencia en nota 0; sin embargo, el tronco se arrojó mayor frecuencia en nota 1, relacionado con observaciones leves repetitivas en las variables.

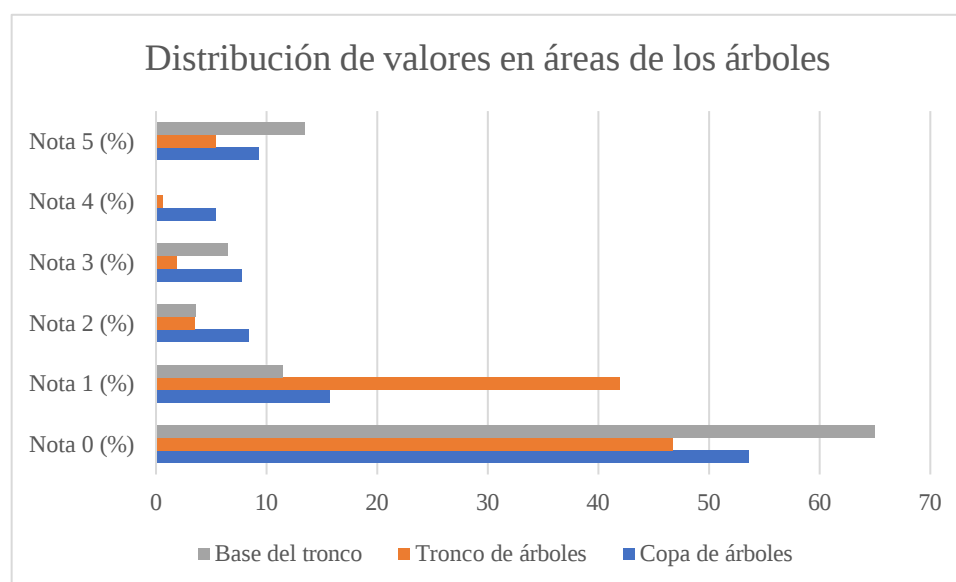


Figura 2: Distribución de valoraciones en las partes de los árboles evaluadas.

En la copa prevaleció la nota 0 (53,54%), seguida de la nota 5 (9,22%), lo que indica que los eventos severos se presentaron en una minoría de las observaciones. En el tronco sobresalió la nota 1 (41,95%), por encima de las notas altas, lo que se relacionó con alteraciones leves frecuentes. La base del tronco acaparó la mayor frecuencia en nota 0 (64,91%), pero aun así tiene mayor frecuencia en nota 5 (13,44%) y nota 3 (6,51%), por lo que es recomendable realizar revisiones específicas en ejemplares con signos compatibles con degradación basal.

3.1.4. Valoración de riesgos de caída

En la Tabla 8 se resume tres factores: (1) riesgo principal por estado general (máximo valor 0-5 en copa, tronco y base), (2) riesgo por red eléctrica (escala 1-3-5 en ficha), y (3) riesgo secundario por concurrencia (escala 1-5 en ficha).

Tabla 8. Valoración del riesgo de caída

Daño	Riesgo mayor (Condición general)	F (%)	Riesgo de red eléctrica	F (%)	Riesgo secundario (Concurrencia)	F (%)
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1	0	0,00%	75	35,05%	117	54,67%
2	1	0,47%	0	0,00%	0	0,00%

Daño	Riesgo mayor (Condición general)	F (%)	Riesgo de red eléctrica	F (%)	Riesgo secundario (Concurrencia)	F (%)
3	1	0,47%	58	27,10%	0	0,00%
4	6	2,80%	0	0,00%	0	0,00%
5	206	96,26%	81	37,85%	97	45,33%
Total	214	100,00%	214	100,00%	214	100,00%

El riesgo predominante fue 5 (96,26%), lo que categorizó a la mayoría de ejemplares con al menos un atributo calificado en estado severo dentro de copa, tronco o base. El riesgo por red eléctrica se distribuye en riesgo 1 (35,05%), 3 (27,10%) y 5 (37,85%), por lo que hay conflictos en un gran número de árboles. El riesgo por concurrencia se reparte entre 1 (54,67%) y 5 (45,33%), aumentando la exposición cuando el árbol se localiza sobre zonas de tránsito o permanencia.

3.1.5. Ponderación del riesgo

El Índice total se obtuvo sumando: riesgo mayor + riesgo red eléctrica + riesgo por coincidencia (3–15). En la Tabla 9 se muestra la clasificación por rangos, teniendo en consideración como número de elementos analizables un total de 214.

Tabla 9. Ponderación del riesgo

Índice final	Número de árboles	F (%)
Índice de 3 a 6 - Riesgo de menor importancia	4	1,87
Índice de 7 a 11 - Riesgo de importancia media	151	70,56
Índice de 12 a 15 - Riesgo de importancia alta	59	27,57
Total	214	100,00

En la ponderación del índice final (n=214), prevalece el riesgo medio (índice 7–11) con 151 árboles (70,56%). El riesgo alto (índice 12-15) agrupa 59 árboles (27,57%), siendo un grupo prioritario para intervenir. El riesgo menor (índice 3-6) lo presentan 4 árboles (1,87%), siendo un porcentaje bajo. La planificación de manejo puede comenzar por el índice de 12-15, continuar por índice de 7-11 en sectores más transitados y terminar en el índice 3-6 por medio de control rutinario y monitoreo.

4. DISCUSIÓN

4.1. Condición general del arbolado y composición

En “La Rotonda” (265 árboles; 12 especies) la dominancia de pocas especies (66,80% en las cuatro más frecuentes) apunta a un arbolado manipulado en reposición práctica, según

disponibilidad y facilidad de mantenimiento, de menor diversidad funcional (Garrido Aguilar et al., 2023). Esto es similar a lo que se encuentra en bosques urbanos, donde la susceptibilidad ante factores bióticos y climáticos se ve favorecida por la escasa diversidad, por lo que la diversificación intencionada es un criterio de gestión más allá de sustituciones puntuales (Rogers et al., 2023).

La presencia simultánea de adultos y jóvenes indica un parque en proceso activo de renovación; sin embargo, el tamaño y la madurez aumentan las posibilidades de accidentes si el mantenimiento es discontinuo, tal como se ha informado en Urcuquí (Quiroz, 2020). Estos datos confirman que el inventario se utiliza como herramienta de priorización, con actualización regular y soporte digital para seguimiento trazabilidad (González et al., 2023; Macías-Muro et al., 2022). Por tanto, para la elección de especies, la vulnerabilidad por especie ante escenarios climáticos proporciona criterios para conservar, sustituir o introducir especies más tolerantes, principalmente en ciudades susceptibles a eventos extremos como lo describe Cunha et al. (2025).

4.2. Riesgos generales por componente (copa, tronco y base)

La dispersión de notas (0-5) indica estabilidad general en copa y base por prevalencia de nota 0, en tanto que el tronco agrupa mayoritariamente nota 1, evidenciando alteraciones leves más frecuentes en el eje estructural. Este patrón se corresponde con valoraciones visuales en las que la mayoría de las variables se sitúan en rangos bajos y surge un grupo con alteraciones que precisan seguimiento (Garrido Aguilar et al., 2023). Los fallos detectados en “La Rotonda” coinciden con lo que se describe en inventarios urbanos, como rebrotes epicórmicos, oquedades, basidiocarpos y otros signos de deterioro de acuerdo al estudio elaborado por Saavedra-Romero et al. (2019).

Cuando se presentan notas altas asociadas a hongos, la interpretación sigue siendo cautelosa: la inspección visual detecta signos externos sin confirmar la extensión interna del daño, una limitación reconocida al evaluar la estabilidad real (Garrido Aguilar et al., 2023). En árboles con cavidades o fructificaciones, el riesgo mecánico difiere según la especie, el tamaño, la localización del defecto y el estado del tejido, por lo que deben priorizarse para su inspección y gestión (Suchocka et al., 2023).

Además, la condición de la madera, el estrangulamiento del cuello de la raíz y las podas inadecuadas son señalizadores relacionados con fallos en arbolado urbano, siendo un criterio para priorizar inspecciones correctivas según Cavalari et al. (2024). El daño severo en parte del

arbolado es consistente con estrés urbano crónico, pues el arbolado en ciudades se desarrolla bajo estrés mayor al natural (Guerra-Hernández et al., 2021; Krtalić et al., 2021). Al mismo tiempo, instrumentos remotos y análisis complementarios afinan la lectura sanitaria espacial, con todo y sus limitaciones metodológicas, como se debate en Guadalajara (Macías-Muro et al., 2022).

La inspección visual es una buena herramienta para identificar señales superficiales, pero está limitada en pudriciones internas, cavidades ocultas o pérdida de sección resistente no visible externamente. En ejemplares con altas notas por hongos, cavidades, basidiocarpos o fallas de eje, la confirmación con métodos no destructivos disminuye esa incertidumbre y mejora la toma de decisiones. Esto va de la mano con lo descrito por Coelho-Duarte et al. (2023), el cual menciona que la tomografía sónica es capaz de estimar discontinuidades internas del tronco; la resistografía entrega un perfil de resistencia de la madera en puntos críticos, lo que permite priorizar la intervención en caso de duda sobre la integridad estructural.

4.3. Riesgo de caída y riesgos asociados

La estimación del riesgo (n=214) muestra predominio de riesgo medio (70,56%) y un grupo en alto riesgo (27,57%). Esta dispersión respalda la hipótesis de riesgo bajo a medio para la mayor parte del arbolado, pero el alto necesita priorización para disminuir incidentes. Este criterio concuerda con el reporte de Quiroz (2020) de volcamiento y conflictos con vialidad y tendido eléctrico en una porción de árboles urbanos, en el cual la intervención se enfoca en casos puntuales. De la misma forma, estos datos indican que la prioridad no la marca únicamente el estado del árbol, sino la exposición: proximidad a redes, viales y usuarios.

Asimismo, el riesgo se define como probabilidad condicionada por fallas y por el "objetivo" (personas, tráfico, infraestructura), por lo que la cercanía a zonas pobladas y vías altera la prioridad incluso con síntomas leves (Walker y Dahle, 2022). Modelos como el de Caggiu et al. (2023) que consideran la exposición urbana incluye proximidad a vías peatonales/ciclistas, calles y edificaciones, en línea con la evidencia de que el contexto aumenta la amenaza incluso cuando el deterioro no es severo. En términos de gestión pública, esta priorización se relaciona con la disminución de costos por daños y la preservación de los beneficios urbanos del arbolado (Aragundi et al., 2020; Jalkanen et al., 2020; Pincetl et al., 2013).

4.4. Implicaciones para gestión local y proyección del parque

En "La Rotonda" de Portoviejo, la captura de carbono que realizan los árboles es un servicio ecosistémico cuantificable: se estima que 33 especies (847 individuos) absorbieron

247.748,14 kg de CO₂, con variación en función del tipo de especie y su afinidad ecológica (Castillo et al., 2022). En “La Rotonda”, los resultados indican que ese beneficio ambiental coexiste con un perfil de riesgo no uniforme: prevalece el riesgo medio (70,56%) y existe un grupo en riesgo alto (27,57%), lo que exige gestionar el parque con doble criterio, de conservación del servicio ambiental y de seguridad para usuarios e infraestructura. La priorización operativa se guía por exposición (vías, gente, redes) y por fallas potenciales mecánicas, para que la gestión no sólo conserve la cobertura arbórea, sino que disminuya la probabilidad de falla en puntos críticos (Cavalari et al., 2024b).

En ejemplares priorizados por exposición y por señales externas que indican un deterioro interno, la inspección visual se complementa con tomografía sónica y resistografía (Suchocka et al., 2023). Este procedimiento posibilita disminuir el margen de error y respaldar decisiones tales como la poda estructural, la reducción de copa, el tratamiento, el monitoreo o la eliminación planificada del árbol, dependiendo de la magnitud de pérdida interna y del lugar donde se encuentra el árbol en el parque, tal como proponen Macías-Muro et al. (2022). Las condiciones comunes del árbol urbano (suelo confinado, superficies impermeables, daños por construcciones, malas prácticas) disminuyen su vigor y aumentan los defectos estructurales con el tiempo, por lo que el inventario se enriquece al incluir variables del sitio junto con las del individuo (Egerer et al., 2024).

Además, datos de caídas en condiciones meteorológicas indican que el riesgo se incrementa con vientos fuertes (>15 m/s), justificando medidas preventivas antes de las temporadas de vientos y tormentas, tal como lo analizaron Buson y Bortolini (2020). Para estandarizar criterios de inspección y resolución, Martinez y Coelho-Duarte (2023) sugieren protocolos y fichas para catalogar defectos, síntomas y medidas de control, las cuales pueden servir para programas municipales de vigilancia. El cuidado del arbolado también se asocia con la regulación microclimática local, por la interacción entre cobertura vegetal, temperatura y humedad en zonas urbanas (Duval et al., 2020).

Para que el beneficio ecológico del parque continúe, es necesario que el manejo de los árboles de alto riesgo se realice sin pérdidas innecesarias de cobertura y que se emplee verificación instrumental cuando existan indicios de hongos, cavidades o dudas sobre la integridad interna. Esto se conjuga con lo mencionado por Vieira-dos-Santos-Ataide et al. (2023) que describe que hay líneas abiertas como: la monitorización a largo plazo para cuantificar la evolución de los defectos, el registro sistemático de las variables del lugar (daños causados por obras, compactación, superficie permeable) y el análisis espacial de exposición para adecuar la programación anual del mantenimiento.

5. CONCLUSIONES

El arbolado del parque “La Rotonda” está conformado por 12 especies (n=265) con predominancia de individuos concentrados en pocas especies, patrón característico de las ciudades con estructura urbana dominada por especies dominantes y coexistencia de individuos de diferente desarrollo.

En la evaluación visual por partes, predominan las calificaciones bajas (0-1) en distintas variables sanitarias y estructurales, pero se detectan severos problemas localizados, principalmente hongos y problemas arquitectónicos de copa (ramas anguladas), así como signos críticos en la base del tronco, relacionados con la estabilidad.

El riesgo de caída combinado clasifica la mayor parte de los árboles en riesgo medio (70,56%) y un grupo en riesgo alto (27,57%); la priorización operativa debe partir por los individuos con alto índice, sobre todo en áreas de alta concurrencia y conflicto con redes eléctricas, para disminuir la exposición a accidentes.

6. RECOMENDACIONES

Se intervendrán primero los individuos catalogados con alto riesgo, sobre todo los localizados en áreas de alta frecuencia y proximidad a infraestructura. La labor comprende la revisión exhaustiva por ejemplar, poda correctiva selectiva, saneamiento fitosanitario y, en caso necesario, retiro controlado. Se guarda cada acción para seguimiento y trazabilidad.

Se aplica un programa de control dirigido a los principales factores de riesgo detectados: hongos (copa, tronco y base) y ramas anguladas. La actividad incluye el monitoreo, identificación del tipo de daño, poda sanitaria, reducción de carga en copa y revisión de cuello en árboles basales, con criterios homogéneos de evaluación para el personal operativo.

Se lleva un inventario actualizado del arbolado (altas, bajas, estado y ubicación) y se aplica un plan de reposición que aumenta la diversidad de especies, disminuyendo la concentración en pocas especies. La actividad se amarra a un calendario anual y a unos criterios de elegibilidad localizados (espacio, usura, proyección de crecimiento).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragundi, S., Cubillo, P., & Aguilera, K. (2020). *Un Diagnóstico de la Diversidad y Funcionalidad del Arbolado de Quito* (F. (Eds.) Moreira, P., Corral, Ed.). Plan Árbol. Fases 2 & 3. Centro de Información Urbana de Quito. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26060.74885>
- Buson, M., & Bortolini, L. (2025). Analysis of Tree Falls Caused by Weather Events in Urban Areas: The Case Study of the City of Venice. *Land*, 14(6), 1131. <https://doi.org/10.3390/land14061131>
- Cabrera Verdesoto, C. A., Macías Cedeño, L. E., Mieles Segura, K. A., Jiménez-González, A., & Manrique Tóala, T. O. (2022). Áreas verdes y arbolado en la zona urbana del cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. *Siembra*, 9(1), e3380. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3380>
- Caggiu, L., Fiorani, F., Corradini, E., Felice, E., & Minelli, A. (2023). Spatial Analysis of Risk Exposure of Urban Trees: A Case Study from Bologna (Italy). *Urban Science*, 7(4), 123. <https://doi.org/10.3390/urbansci7040123>
- Castillo Ruperti, R. J., Rodríguez Guerrero, B., & Bravo Meza, K. (2022). Fijación de carbono (CO₂) del arbolado de los parques La Rotonda y La Madre, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 6(10), 8–21. <https://doi.org/10.46296/yc.v6i10.0141>
- Cavalari, A. A., Del Nero Velasco, G., da Silva-Luz, C. L., Rosa, A. S., De Abreu Neder Waetge, A., De Souza Barbosa, E., Biazzo, F. C. M., Kavamura, H. E., da Silva Filho, C. A., de Freitas Back Silva, E. B., & Locosselli, G. M. (2024). Predicting tree failure to define roles and guidelines in risk management, a case study in São Paulo / Brazil. *Urban Forestry & Urban Greening*, 91, 128181. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128181>
- Código Orgánico Del Ambiente. (2017). Asamblea Nacional del Ecuador - Código Orgánico Del Ambiente. *Registro Oficial Suplemento 983*, 1–92. http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/Archivos/Transparencia/2017/07julio/A2/ANEXOS/PROCU_CODIGO_ORGANICO_ADMINISTRATIVO.pdf
- Cunha, A. R., Soares, A. L., Catarino, S., Duarte, M. C., & Romeiras, M. M. (2025). Assessing the vulnerability of urban tree species to climate change: The case

- study of Lisbon gardens. *Urban Forestry & Urban Greening*, 104, 128664. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128664>
- Duval, V. S., Benedetti, G. M., & Baudis, K. (2020). The impact of street trees on the urban microclimate. Bahía Blanca, Argentina. *Investigaciones Geograficas*, 2020(73), 171–188. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.DBB>
- Egerer, M., Schmack, J. M., Vega, K., Barona, C. O., & Raum, S. (2024). The challenges of urban street trees and how to overcome them. *Frontiers in Sustainable Cities*, 6. <https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1394056>
- Furlaneto, A., Galvão Duarte, F., Cafofo Silva, E., Domingos De Angelis, B., & Blum, C. (2010). Avaliação de árvores de risco na arborização de vias públicas de Nova Olímpia, Paraná. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(2), 82. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v5i2.66278>
- Garrido Aguilar, L. F., Carvajal Benavides, J. G., Valencia Valenzuela, X. G., Varela Molina, Ing. E. M., & Cuarán Guerrero, M. J. (2023). Diagnóstico del arbolado Urbano en la Ciudad de Ibarra, como base para una gestión de arbolado más humano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 5613–5632. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5743
- González, J. F., Chamba-Zaragocin, W., & Cumbicus-Pineda, O. M. (2023). Aplicación web para la gestión del arbolado urbano de la ciudad de Loja. *Cedamaz*, 13(1), 38–43. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i1.1933>
- Guerra-Hernández, J., Díaz-Varela, R. A., Álvarez-González, J. G., & Rodríguez-González, P. M. (2021). Assessing a novel modelling approach with high resolution UAV imagery for monitoring health status in priority riparian forests. *Forest Ecosystems*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00342-8>
- Hernández Tovar, M. A., Hernández-Álvarez, E., Gallegos Rodríguez, A., Guzmán Paredes, C. M., & Bertolin, V. (2021). Modelo de inventario para el manejo del arbolado urbano empleando un sistema de información geográfica. *e-CUCBA*, 9(17), 211–221. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.228>
- Jalkanen, J., Vierikko, K., & Moilanen, A. (2020). Spatial prioritization for urban Biodiversity Quality using biotope maps and expert opinion. *Urban Forestry*

and Urban Greening, 49(January), 126586.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126586>

Krtalić, A., Linardić, D., & Pernar, R. (2021). Framework for spatial and temporal monitoring of urban forest and vegetation conditions: Case study Zagreb, Croatia. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11).
<https://doi.org/10.3390/su13116055>

Locosselli, G. M., & Buckeridge, M. S. (2023). The science of urban trees to promote well-being. *Trees*, 37(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02389-2>

Macías-Muro, A., Martínez-Trinidad, T., Valdez-Lazalde, J. R., Romero-Sánchez, M. E., & Vaquera-Huerta, H. (2022a). Evaluación de la salud del arbolado urbano a través de imágenes satelitales en Guadalajara, México. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 10(24), 1–12.
<https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81200>

Martinez, C., & Coelho-Duarte, A. (2023). *Hazard indicators in Mendoza's Urban Trees Rev. FCA UNCuyo*. 55(2), 152–165.

Pincetl, S., Gillespie, T., Pataki, D. E., Saatchi, S., & Saphores, J. D. (2013). Urban tree planting programs, function or fashion? Los Angeles and urban tree planting campaigns. *GeoJournal*, 78(3), 475–493.
<https://doi.org/10.1007/s10708-012-9446-x>

Plan Nacional de Restauración Forestal 2019-2030, Legislation Acuerdo No. 065, 065 MAATE 1 (2019). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/11/PLAN-NACIONAL-DE-RESTAURACION-FORESTAL-2019-2030.pdf>

- Quiroz, J. D. (2020b). *Gestión del arbolado urbano en el Cantón Urcuquí, provincia de Imbabura* [Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10571/2/03> FOR 312 TRABAJO GRADO.pdf
- Rogers, E. C., Ries, P. D., & Buckler, D. C. (2023). Examining Species Diversity and Urban Forest Resilience in the Milwaukee, Wisconsin (USA) Metropolitan Area. *Arboriculture & Urban Forestry*, 49(5), 230–246. <https://doi.org/10.48044/jauf.2023.017>
- Saavedra-Romero, L. de L., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T., & Hernández-de la Rosa, P. (2019). Identification of defects and risks in trees of San Juan de Aragon Forest, Mexico City. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(1), 31–47. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.049>
- Suchocka, M., Jelonek, T., Błaszczuk, M., Wińska-Krysiak, M., Kubus, M., Ziemiański, M., & Kalaji, H. M. (2023). Risk assessment of hollow-bearing trees in urban forests. *Scientific Reports*, 13(1), 22214. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49419-0>
- Walker, M., & Dahle, G. (2022). Likelihood of Failure of Trees Along Electrical Utility Rights-of-Way: A Literature Review. *Arboriculture & Urban Forestry*, 48(4), 242–257. <https://doi.org/10.48044/jauf.2022.018>