

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

HERRAMIENTAS PARA EL MANEJO E INTERPRETACIÓN
AMBIENTAL DEL COMPLEJO EDUCATIVO AMBIENTAL
NACIENTE ARRIAZ (CEANA), QUIRCOT, CARTAGO, COSTA
RICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

LEONARDO ENRIQUE CASTRO BARRANTES

CARTAGO, COSTA RICA, 2019



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

HERRAMIENTAS PARA EL MANEJO E INTERPRETACIÓN
AMBIENTAL DEL COMPLEJO EDUCATIVO AMBIENTAL
NACIENTE ARRIAZ (CEANA), QUIRCOT, CARTAGO, COSTA
RICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

LEONARDO ENRIQUE CASTRO BARRANTES

CARTAGO, COSTA RICA, 2019

HERRAMIENTAS PARA EL MANEJO E INTERPRETACIÓN AMBIENTAL DEL COMPLEJO EDUCATIVO AMBIENTAL NACIENTE ARRIAZ (CEANA), QUIRCOT, CARTAGO, COSTA RICA

Leonardo Castro-Barrantes¹

RESUMEN

La Municipalidad de Cartago inició en el 2019 la creación del Complejo Educativo Ambiental Naciente Arriaz (CEANA). Este proyecto tiene el objetivo de establecer un nuevo programa de educación ambiental para la comunidad y ser un modelo de prácticas sostenibles que se pueden efectuar para contribuir con la conservación de la naturaleza y el recurso hídrico. El CEANA se encuentra ubicado en un ecosistema ambientalmente frágil donde se capta agua para la población aledaña, por lo que surge la necesidad de generar información e instrumentos orientados a su conservación a largo plazo y acorde con sus fines educativos. El objetivo de esta investigación consistió en desarrollar herramientas clave para el manejo e interpretación ambiental del CEANA. Se recolectó información de los recursos biofísicos del sitio para realizar una zonificación ambiental del sitio y calcular la capacidad de carga de sus senderos; además se inventariaron los atractivos del sitio y se crearon rótulos ilustrativos para elaborar e implementar un plan de interpretación ambiental. La propuesta de zonificación del CEANA consiste en cinco zonas para el manejo: zona de baja intervención, zona de mediana intervención, zona de alta intervención, zona de regeneración natural y zona de amortiguamiento. Se determinó que el límite máximo de visitantes diarios para los senderos Puente de Arco, Naciente Arriaz y Bosque en Regeneración es de 28, 25 y 54 personas/día, respectivamente. El plan de interpretación ambiental diseñado consiste en caminatas guiadas en los senderos en compañía de un educador ambiental, quien expondrá diversos temas distribuidos en 16 estaciones de interpretación relacionadas con la conservación del recurso hídrico y el papel del bosque en el ciclo del agua.

Palabras clave: Zonificación ambiental, capacidad de carga, interpretación ambiental.

ABSTRACT

The Municipality of Cartago has created in 2019 the Complejo Educativo Ambiental Naciente Arriaz (CEANA). This project has the main objective of establish a new environmental education program for the community and it will be a model of sustainable practices that can be carried out to contribute to the conservation of the nature and water. CEANA is located at a fragile ecosystem where water is collected for the surrounding population, so there exists the need of generate information and create instruments aimed at its long-term conservation as well as according to its educational purposes. The objective of this research is to develop key instruments for environmental management and interpretation of CEANA. It was collected data and information of the biophysical resources to perform an environmental zoning of the site and calculate the carrying capacity of its trails. Furthermore, the attractions of the site were inventoried and illustrative signs were created to develop and implement an environmental interpretation plan. The CEANA zoning proposal consists of five zones of management: low intervention zone, medium intervention zone, high intervention zone, natural regeneration zone and buffer zone. The maximum daily visitor limit for the Puente de Arco, Naciente Arriaz and Bosque en Regeneración trails is 28, 25 and 54 people/day, respectively. The environmental interpretation plan designed consists of guided walks on the trails in company of an environmental educator, who will discuss several topics distributed in 16 interpretation stations which are strongly related with the importance of conserving the water resource and the role of the forest in the water cycle.

Key Words: Environmental zoning, carrying capacity, environmental interpretation.



Esta obra está bajo una Licencia de Creative Commons Reconocimiento No Comercial 4.0 Internacional.

¹Castro-Barrantes, L. (2019). Herramientas para el manejo e interpretación ambiental del Complejo Educativo Ambiental Naciente Arriaz (CEANA), Quircot, Cartago, Costa Rica. (Tesis de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 100 p.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

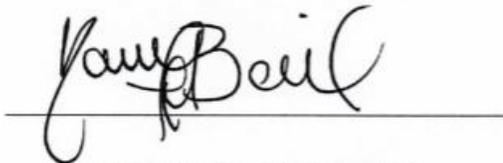
Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por M.Sc. Dorian Carvajal Vanegas, Ph.D. Nancy Gamboa Badilla y Lic. Arianne Gómez Gómez como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Dorian Carvajal Vanegas, M.Sc.
Escuela de Ingeniería Forestal TEC
Director de tesis y Coordinador de Trabajos
Finales de Graduación



Arianne Gómez Gómez, Lic.
Área Técnica de Acueductos,
Municipalidad de Cartago
Lectora



Nancy Gamboa Badilla, Ph.D.
Escuela de Ingeniería Forestal TEC
Lectora



Leonardo Castro Barrantes
Estudiante

DEDICATORIA

A la estrella más brillante en el cielo; quién me enseñó que el éxito consiste en ser feliz y saber dejar esa impactante y positiva huella en el mundo. Dedicado a mi amado hermano mayor Ras Manu Castro Barrantes.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia. Gracias papá y mamá por haberme permitido el enorme privilegio de la educación.

A mi hermano Gabriel; por ayudarme y encargarse del diseño de los rótulos del CEANA.

A mi tutor Dorian Carvajal; por su confianza, orientaciones y gran disposición de ayuda durante todo el proceso.

A Arianne Gómez, Gustavo Rojas y Julio Urbina del Área Técnica de Acueductos. Gracias por su confianza, ayuda y por permitirme desarrollar este trabajo en conjunto con la Municipalidad de Cartago.

Al Dr. Raúl Póstigo Vidal, coordinador de la Escuela Universitaria de Turismo de Zaragoza; gracias por abrirme las puertas de la ETUZ con gran disposición de ayuda y por brindarme valiosas observaciones y apoyo técnico.

Al CONARE y al Programa de Pasantías para la Movilidad Estudiantil Internacional; por haber financiado la oportunidad de realizar una pasantía en la Escuela Universitaria de Turismo de Zaragoza, España.

A la profesora Nancy Gamboa; por su ayuda en el análisis de resultados.

Al profesor Mario Guevara; por su amabilidad, gran disposición y ayuda en el vuelo del dron.

A mis colegas y amigos, Leonardo Álvarez y Berny Sojo; por su ayuda en la recolección de datos de campo.

A mis mejores amigos, con quienes he compartido innumerables aventuras por el mundo y son parte fundamental de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN	iii
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Zonas de protección para la conservación del recurso hídrico	4
4.2. Planificación y manejo de espacios naturales protegidos	4
4.2.1. El uso público en espacios naturales protegidos.....	5
4.3. La Zonificación Ambiental.....	6
4.3.1. Microzonificación	6
4.3.2. Métodos para la zonificación de áreas naturales protegidas	7
4.4. Educación ambiental	8
4.4.1. Centros de Educación Ambiental	9
4.4.2. Interpretación ambiental	10
4.4.3. Los Senderos de Interpretación Ambiental	12
4.5. Capacidad de carga	12
4.5.1. Concepto.....	12
4.5.2. Capacidad de carga turística	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16

5.1.	Área de estudio	16
5.2.	Descripción biofísica del sitio	17
5.3.	Zonificación ambiental.....	18
5.3.1.	Insumos para la zonificación	19
5.3.2.	Criterio de zonificación	19
5.3.3.	Definición de zonas y propuesta de zonificación	19
5.4.	Cálculo de capacidad de carga de los senderos	20
5.4.2.	Capacidad de Carga Física (CCF)	20
5.4.3.	Capacidad de Carga Real (CCR)	21
5.4.5.	Capacidad de Carga Efectiva (CCE).....	27
5.5.	Interpretación ambiental de los senderos	28
5.5.1.	Diagnóstico de los senderos	29
5.5.2.	Diseño e interpretación de los senderos	30
5.5.3.	Validación de la interpretación ambiental de los senderos	31
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1.	Diagnóstico biofísico del CEANA.....	33
6.1.1.	Componente físico	33
6.1.2.	Componente biológico	33
6.2.	Zonificación ambiental.....	36
6.2.1.	Zona de baja intervención	36
6.2.2.	Zona de mediana intervención.....	38
6.2.3.	Zona de alta intervención.....	39
6.2.4.	Zona de regeneración natural.....	41
6.2.5.	Zona de amortiguamiento.....	42
6.3.	Capacidad de carga de los senderos	46
6.3.1.	Capacidad de Carga Física (CCF)	46
6.3.2.	Capacidad de Carga Real (CCR)	47
6.3.3.	Capacidad de Manejo (CM)	54
6.3.4.	Capacidad de Carga Efectiva (CCE) y límite máximo de visitantes	54
6.4.	Interpretación ambiental de los senderos	55
6.4.1.	Diagnóstico de los senderos	56

6.4.2. Plan de interpretación.....	56
7. CONCLUSIONES	83
8. RECOMENDACIONES	84
9. REFERENCIAS.....	85
10. ANEXOS	98

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Definiciones y supuestos básicos de los tres niveles de Capacidad de Carga.....	14
Cuadro 2. Niveles de vulnerabilidad hídrica de los senderos.....	22
Cuadro 3. Niveles de erodabilidad de los senderos.	23
Cuadro 4. Categorías de dificultad de acceso a los senderos.	24
Cuadro 5. Escala para calificar criterios de evaluación de Capacidad de Manejo.	26
Cuadro 6. Principales especies arbóreas según índice de valor de importancia (IVI) en cinco parcelas de 0,1 ha ubicadas en el bosque del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.	34
Cuadro 7. Capacidad de carga física (CCF) de los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.....	46
Cuadro 8. Factor de vulnerabilidad hídrica (FCvh) para los senderos Puente de Arco y Naciente Arriaz de CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.....	47
Cuadro 9. Factor de erodabilidad (FCero) para los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.....	49
Cuadro 10. Factor de accesibilidad (FCacc) para los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.....	50
Cuadro 11. Factor de precipitación (FCpre) para los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.....	51
Cuadro 12. Factor de cierres temporales (FCtem) para los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.....	51
Cuadro 13. Factor de anegamiento (FCane) para el Sendero Naciente Arriaz, CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.....	52
Cuadro 14. Factores de corrección y capacidad de carga real (CCR) de los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.	53
Cuadro 15. Capacidad de manejo (CM) de los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.....	54
Cuadro 16. Capacidad de Carga Efectiva y límite máximos de visitantes por día, mes y año en el CEANA, Quircot, Cartago.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo interpretativo.	11
Figura 2. Ubicación geográfica del Complejo Educativo Ambiental Naciente Arriaz.	16
Figura 3. Ubicación geográfica de las parcelas de muestreo.	18
Figura 4. Metodología empleada para la interpretación ambiental de los senderos.	29
Figura 5. Validación del plan de interpretación ambiental de los senderos.	32
Figura 6. Hidrografía y estratos de bosque del CEANA.	35
Figura 7. Propuesta de zonificación ambiental del CEANA.	45
Figura 8. Estaciones de interpretación ambiental del CEANA.	56
Figura 9. Rótulo estación Los Robles.	58
Figura 10. Rótulo estación Muro de Piedra.	60
Figura 11. Rótulo estación Puente de Arco.	62
Figura 12. Rótulo estación Casa en Ruinas.	64
Figura 13. Rótulo estación Eucaliptos.	65
Figura 14. Rótulo estación Bambú.	66
Figura 15. Rótulo estación Los Cedros.	68
Figura 16. Rótulo estación Popenjoche.	70
Figura 17. Rótulo estación Tanques.	71
Figura 18. Rótulo estación Antiguo Acueducto.	73
Figura 19. Rótulo estación Caudal Ecológico.	74
Figura 20. Rótulo estación Aves de Arriaz.	76
Figura 21. Rótulo estación Naciente Arriaz.	77
Figura 22. Rótulo estación Bosque Secundario.	79
Figura 23. Rótulo estación Zompopero.	81
Figura 24. Rótulo estación Abejas.	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz y hoja de campo para la selección de rasgos interpretativos.....	98
Anexo 2. Hoja para valoración de variables infraestructura, equipamientos y personal.	99
Anexo 3. Listado de especies arbóreas del CEANA (individuos ≥ 10 cm de diámetro).	100

1. INTRODUCCIÓN

El informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo (UNESCO, 2015), prevé que para el año 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua. A pesar de que Costa Rica es considerado un país rico en este recurso (31.300 m³ /persona por año), se estima que el 75% de las fuentes de abastecimiento están calificadas como altamente vulnerables (Valverde, 2013); además este recurso no se encuentra bien distribuido geográficamente ni estacionalmente en el país, y entonces falta de ordenamiento territorial, los cambios de uso del suelo, el deterioro de las cuencas hidrográficas y la contaminación de las fuentes de agua amenazan su potencial (Hidalgo, 2013).

La gestión integrada de los recursos hídricos se ha convertido en el paradigma actual de la gestión del agua a nivel mundial (Martínez y Villalejo, 2018). Esta busca administrar los recursos hídricos en forma sostenible y equilibrada, considerando intereses sociales, económicos y ambientales, bajo el imprescindible actuar de gobiernos e instituciones para una adecuada gobernabilidad del recurso hídrico (GWP, 2009).

La gestión integral del recurso implica también comprender la relación entre las necesidades humanas y del ecosistema dentro de una cuenca hidrográfica (Vargas y Marín, 2016), y precisamente es la necesidad de proporcionar agua limpia con un presupuesto limitado, la que obliga a muchos municipios a estudiar enfoques innovadores a fin de mantener suministros de agua potable a los asentamientos urbanos (Hamilton, 2009).

La Municipalidad de Cartago consideró básico proteger sus cuatro principales fuentes de abastecimiento de agua: las nacientes Río Loro, Paso Ancho, Lankaster y Arriaz, debido a que las zonas de recarga acuífera poseen una alta vulnerabilidad al estar expuestas a regiones de desarrollo urbano y campos dedicados a cultivos (Guzmán y Díaz, 2007; Chin, Aguilar, Vega y Pérez, 2017). A través de diversas estrategias, la Municipalidad ha propuesto programas y mecanismos que contribuyen a conservar el recurso hídrico y garantizar la calidad de agua como su convenio con el FONAFIFO a través del Pago por Servicios Ambientales Hídrico (PSAH), los programas de uso eficiente del agua, los planes de reforestación en zonas de protección de

nacientes y zonas aledañas, educación ambiental comunitaria, capacitaciones en temas hídricos y de manejo de desechos, asistencia técnica hacia agricultores, entre otros (Municipalidad de Cartago, 2009; Municipalidad de Cartago, 2017; Municipalidad de Cartago, 2018).

Para el año 2019, la Municipalidad de Cartago inició con la creación del Complejo Educativo Ambiental Naciente Arriaz (CEANA), este se encuentra en la zona de protección de la naciente Arriaz (Quircot, Cartago), la cual abastece de agua potable a los poblados de Taras, La Lima y parte de La Fátima (Chin et. al., 2017). Este Complejo Educativo será destinado específicamente al establecimiento de un nuevo programa de educación ambiental para la comunidad y será un modelo de prácticas sostenibles que se pueden efectuar para contribuir a la conservación de la naturaleza, principalmente enfocado en la conservación del recurso hídrico; tendrá un aula para talleres y charlas de educación ambiental, pequeñas áreas demostrativas sobre buenas prácticas agrícolas, como agricultura orgánica y producción de compost, y además contará con tres senderos de interpretación ambiental dentro del bosque que serán utilizados para la visitación de grupos identificados. El CEANA, con una extensión territorial de 4,31 hectáreas, se ubica en la zona protección de la naciente Arriaz y también en una zona de protección absoluta del área de recarga acuífera, según lo señalan estudios técnicos realizados para la Municipalidad de Cartago (Ramos y Vargas, 2001), siendo así que su protección está regulada por la legislación costarricense (Ley Forestal N°7575, 1996; Decreto N° 25721, 1997). Al tratarse de una zona protegida tan ambientalmente frágil, surge la necesidad de generar información e instrumentos orientados a su conservación a largo plazo y acorde a los objetivos educativos del Complejo; esta investigación pretende desarrollar herramientas que puedan ser utilizadas como insumos para el manejo e interpretación ambiental en el CEANA.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Elaborar instrumentos clave para el manejo e interpretación ambiental en el Complejo Educativo Naciente Arriaz (CEANA), Quircot, Cartago.

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1. Desarrollar una propuesta de zonificación ambiental que permita gestionar el uso del espacio, el manejo y el ordenamiento de las actividades dentro del CEANA.
- 2.2.2. Determinar la capacidad de carga turística de los tres senderos del CEANA.
- 2.2.3. Crear un plan de interpretación ambiental para los tres senderos del CEANA.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Zonas de protección para la conservación del recurso hídrico

Las zonas de protección arboladas en las riberas de ríos, lagos y nacientes son de extrema importancia para la conservación del recurso hídrico, siendo así que la mayoría de agua dulce mundial es suministrada a través de cuencas arboladas (Blanco, 2017). Este tipo de vegetación protege y mejora la calidad del agua al interceptar contaminantes en los flujos de agua y regular el intercambio y dispersión de compuestos químicos entre sistemas terrestres y acuáticos (Cepeda y Navarro, 2010). Las zonas de protección además de garantizar la calidad del agua cumplen muchas otras funciones en los ecosistemas y la sociedad, pues están relacionados con la presencia de fauna silvestre, la conservación de la biodiversidad, los valores estéticos y también la recreación, esparcimiento y educación ambiental de los ciudadanos (Hamilton, 2009).

Muchos países cuentan con directrices y leyes que delimitan las zonas de protección y se regula el uso de las tierras y bosques en estas zonas (Hamilton, 2009). En Costa Rica, la Ley Forestal 7575 en su artículo 33 declara las áreas de protección para las nacientes, ríos y lagos, y las regula en su artículo 34 en cuánto a la corta o eliminación de árboles (Ley Forestal N°7575, 1996).

4.2. Planificación y manejo de espacios naturales protegidos

Los espacios y parques naturales protegidos son considerados parte importante e integrante de las relaciones económicas, sociales y ecológicas del territorio donde estén ubicados; es papel de los gestores y planificadores ambientales asumir la necesidad de hacer compatibles los objetivos y exigencias de conservación del patrimonio natural con el uso sostenible del territorio (García, 2003). Anton, Blay y Salvat (2008), señalan que existen tres funciones fundamentales en los espacios naturales: la conservación del patrimonio natural y cultural asociado, el desarrollo socioeconómico y mejora de la calidad de vida de las comunidades locales y el uso público y social de los mismos con objetivos de recreación y educación ambiental.

El manejo y gestión de espacios naturales es un proceso político, social, técnico y administrativo que se inicia con la creación y diseño del área protegida, continua con la planificación del manejo

por medio de una propuesta a largo plazo, se concreta con la gestión operativa e implementación de acciones de manejo y finaliza el ciclo de gestión con la evaluación de efectividad del manejo (Columba, 2013). Los Planes Generales de Manejo de las áreas protegidas son el instrumento técnico clave de planificación que permite orientar la gestión del área hacia el cumplimiento de sus objetivos a largo plazo (SINAC, 2013). Según Columba (2013), los principales elementos de planificación que deben ser incluidos en planes de manejo son: el diagnóstico y evaluación del estado del área protegida, la zonificación del área, las directrices de manejo para los recursos naturales y culturales del área protegida, y los objetivos, estrategias y actividades del plan de manejo.

4.2.1. El uso público en espacios naturales protegidos

Según EUROPARC (2005) el uso público en espacios naturales protegidos está conformado por los programas, servicio, actividades y equipamientos que deben ser provistos por los gestores del espacio protegido, esto con el objetivo de que los visitantes pueden acercarse a los valores naturales y patrimoniales del sitio de una manera ordenada y segura; además se busca la conservación y comprensión de esos valores por medio de la información, educación e interpretación ambiental.

El uso público puede ser planificado y destinado para el público en general o estar orientado a grupos con demandas y características particulares, siempre teniendo en consideración que al realizarse en espacios naturales debe tener presentes criterios de conservación (Pascual, 2010); así, es siempre necesario dentro de los procesos de gestión y manejo establecer un plan de uso público, donde se propone el modelo orientado a un objetivo en concreto, por ejemplo, si fuera la educación ambiental, el uso público del espacio natural será enfocada exclusivamente a la educación e interpretación ambiental del medio para el desarrollo sostenible (EUROPARC, 2005).

4.2.1.1. *Los equipamientos de uso público*

Dentro de los espacios naturales protegidos, el equipamiento e instalaciones sirve de soporte físico a las actividades y programas de uso público; estos poseen diversas finalidades, por

ejemplo: los senderos de interpretación, las aulas de naturales, los centros de interpretación ambiental y las áreas de investigación o demostración de parcelas son destinadas a actividades propiamente educativas e incluyen materiales de diverso tipo que ayudan a interpretar el espacio natural y/o permiten comunicar su valores y rasgos (Pascual, 2010).

4.3. La Zonificación Ambiental

La zonificación ambiental es una herramienta metodológica de ordenamiento territorial que permite la diferenciación espacial de áreas geográficas (Rodríguez, Lozano y Sierra, 2012); esta delimita zonas homogéneas llamadas unidades de manejo ambiental o zonas de manejo, basándose en aspectos biofísicos (geomorfología, cobertura vegetal y clima) y antropogénicos (uso del suelo, actividades socioeconómicas) (Mora y Ramírez, 2013). Además, se considera un instrumento geográfico que facilita el análisis del medio y simplifica la toma de decisiones relacionadas con planificación, manejo y conservación de ecosistemas al proporcionar información sobre el potencial y la fragilidad del medio (Valenzuela, Silva y Hernández, 2009).

Según Ontivero, Martínez, Gonzáles y Echeverría (2008), para conseguir el equilibrio entre la conservación y el desarrollo, es fundamental esa división territorial de los espacios protegidos en áreas con valores ambientales similares, pues no todo el territorio de un área protegida tiene el mismo valor de cara a su planificación. La zonificación es base fundamental para guiar ese proceso de planificación y el trabajo operativo de los encargados del manejo del área protegida, además es un instrumento normativo para los diferentes actores que interactúan con el área protegida y un elemento crítico para incrementar la efectividad y cumplir los objetivos de las áreas protegidas (Ruíz-Labourdette et. al., 2010; Columba, 2013).

4.3.1. Microzonificación

La microzonificación es un nivel de zonificación que se realiza en áreas pequeñas identificadas y busca crear bases para la planificación de proyectos y planes de manejo a nivel local (Pinedo, 2006). Couto (1994), recomienda que para realizar la microzonificación es necesario basarse en parámetros y variables de los componentes físico, biológico y socioeconómico, los cuales pueden ser tomados a escala macro como el clima, la geología y geomorfología; sin embargo, es

importante también definir estas variables al nivel micro o específicamente del área que se trabaja, como la descripción de la vegetación natural, fauna silvestre y uso del suelo.

4.3.2. Métodos para la zonificación de áreas naturales protegidas

La zonificación de las áreas protegidas está en función de la capacidad del territorio para mantener diversos usos, actividades y condiciones deseadas, pero fundamentalmente en función de alcanzar los objetivos de conservación del área protegida y de aquellos que se espera cumplir con la zonificación propuesta (SINAC, 2013).

López, Sierra-Correa, Rodríguez y Freyre-Palau (2003) y Rodríguez et. al., (2012), mencionan que la base para iniciar la zonificación es por medio de la definición de áreas homogéneas denominadas Unidades Ecológicas del Paisaje (UEP). Dichas unidades son delimitadas con base a elementos como geomorfología del sitio, cobertura y uso del suelo; de ahí la zonificación ambiental enfocada al manejo toma como base las UEP para crear las categorías de manejo propuestas en la zonificación.

Según Columba (2013), existen diversos métodos para zonificar áreas protegidas y estos van a depender de cada país y sus parámetros de zonificación, sin embargo, el método más comúnmente utilizado para zonificar áreas protegidas es la “Zonificación por Aptitud de Uso de Recursos Naturales y Culturales”, que consiste en dividir zonas geográficas asignando diversas categorías de uso o zonas de acuerdo al uso actual o potencial de sus recursos naturales y culturales; los nombres de las zonas más utilizadas son: Protección Absoluta, Uso Restringido, Uso Público: intensivo y extensivo, Uso Sostenible de Recursos, Asentamientos Humanos, Uso Especial y Amortiguamiento.

En Costa Rica, el SINAC, a través de su “Guía para el diseño y formulación del Plan General de Manejo de Áreas Silvestres” (2013), presenta un marco de referencia para establecer las zonas de manejo de conformidad con el grado de intervención a que serían sometidas y a los objetivos de cada una de ellas, clasificándolas de esta manera en: a) Zona de mínima o nula intervención, b) Zona de baja intervención, c) Zona de mediana intervención, y d) Zona de alta intervención; sin embargo, menciona que la zonificación queda abierta a la posibilidad del uso de las

herramientas metodológicas más adecuadas por los equipos planificadores. Según el SINAC, parte de las consideraciones para tener en cuenta en la zonificación es definir para cada zona de manejo:

- a. Objetivos de conservación y desarrollo.
- b. Una descripción de la zona.
- c. Las prácticas de manejo sugeridas.
- d. Actividades permitidas o recomendadas.
- e. Actividades no permitidas o no recomendadas.
- f. La frecuencia e intensidad aceptable de cada actividad.
- g. Los controles de gestión que se utilizarán.

4.4. Educación ambiental

La educación ambiental surge en los años setenta como una alternativa en las sociedades internacionales para promover el cuidado y conservación de la naturaleza, hasta formalizarse como una disciplina independiente que une los campos de la educación y la conservación (Hernández, 2012; Espejel y Flores, 2012). Es una herramienta fundamental y un proceso permanente en el cual los individuos y comunidades son sensibilizados, adquieren conciencia y conocimiento de su entorno, aprenden y son capaces de realizar cambios en sus valores, conductas y estilos de vida, para adquirir la determinación que los impulse a actuar individual y colectivamente en la prevención y mitigación de los problemas ambientales existentes y futuros (Espejel y Flores, 2012).

El concepto de educación ambiental evoluciona paralelamente al del medio ambiente y la percepción que se tiene de este (Martínez, 2010). Esta evolución y el desarrollo de nuevos enfoques de la disciplina, y particularmente la educación ambiental en espacios naturales protegidos, hacen ver la importancia y necesidad de propuestas de interpretación y

concientización ambiental, de manera que se logre una perspectiva más integral de las acciones de conservación a realizar en el área protegida (Tréllez, 2006; Hernández, 2012).

Actualmente la educación ambiental se ha consolidado en muchos ámbitos (sistema educativo, empresas, asociaciones ciudadanas, entre otros) y puede desarrollarse en programas académicos formales para complementar las formas tradicionales del aprendizaje, a través de los servicios interpretativos ofrecidos en parques naturales donde predomina un enfoque centrado en el medio o como un aspecto incluido dentro del ecoturismo (Martín, Matas y Estrada, 2012; Hutcheson, Hoagland y Jin, 2018).

4.4.1. Centros de Educación Ambiental

Un Centro o Complejo de Educación Ambiental está conformado por instalaciones fijas que son adaptadas un proyecto de educación ambiental y dan posibilidad de recibir visitantes; en su mayoría están ubicados en espacios naturales protegidos, donde sus recursos son el eje de desarrollo del programa educativo (Estrada, Herrero, Martín y Ferreras, 2000). Al estar ubicados en medios y espacios naturales fomentan un aumento en la participación, pues hay un mayor conocimiento del medio y conexión con este, traduciéndose en educación ambiental más efectiva (Otto y Pensini, 2017).

Los Centros de Educación e Interpretación Ambiental disponen de elementos interpretativos creados con la intención de desarrollar sensibilidades, construir conceptos, aplicar métodos de trabajo interdisciplinarios y crear actitudes positivas en relación con la protección del medio; todo esto dirigido a la comunidad educativa, donde cada vez es más frecuente la visita de grupos organizados como trabajadores de empresas, organismos públicos, asociaciones deportivas y culturales, sector turístico y grupos de personas mayores, entre otros (Martín, Matas, y Estrada, 2012).

Pitoska y Lazarides (2013) mencionan que los Centros de Educación Ambiental juegan un papel muy importante para el desarrollo de actividades de aprendizaje permanentes en las comunidades locales, pueden contribuir a la evolución de las mismas y crear una perspectiva para lograr un desarrollo sostenible en la comunidad. Todo esto dependerá de las funciones de interpretación y

de otras actividades que pueden mezclarse según cada proyecto en específico y las opciones de actividades y filosofías a tratar (Lima, Nobrega, Bahia y Piani, 2012).

4.4.2. Interpretación ambiental

La interpretación ambiental es la actividad de traducir el lenguaje de la naturaleza al lenguaje común de los visitantes, a través de técnicas especiales de comunicación, en las cuales se aprovecha en forma directa los ambientes naturales y culturales (Fernández y Bertonatti, 2000; Arellano, 2010). Se destaca por sus estrategias de comunicación atractiva y efectiva con las cuales se logra captar en forma rápida la atención, el interés y la participación de los usuarios hacia los que se dirige el mensaje educativo (Pellegrini, 2009). Este enfoque surge como una especialización de la Educación Ambiental en el área de la conservación de espacios naturales y especies (Benayas et. al., 2003; Rodríguez y Mayorga, 2012), y se considera un elemento clave dentro de esta, pues influye en la actitud del público en general frente a la naturaleza, al estar desarrollado en torno a los recursos biofísicos y culturales (Martínez, 2013; Barboza y Sáenz, 2019).

La interpretación ambiental es considerada una herramienta de gestión porque contribuye a la consecución de la conservación; esto es posible a través de la trasmisión de conocimiento a los visitantes por medio de significados e ideas, y que además estos expresen sus propios valores, siempre y cuando se generen actitudes de respeto y protección por el patrimonio natural que está siendo interpretado (Morales, Guerra y Serantes, 2009).

4.4.2.1. *Bases de la Interpretación Ambiental*

Tilden (1957) propone seis principios básicos en la Interpretación Ambiental, los cuales deben ser base para cualquier proyecto de interpretación y son ampliamente útiles en la actualidad (Morales, 2016):

- a. La interpretación debe relacionar los rasgos interpretativos con algo que se encuentre con las experiencias o personalidad de las personas a las que va dirigidas, de lo contrario será infructífero.

- b. La información como tal no es interpretación. La interpretación ambiental es una forma de comunicación y revelación que se basa en la información.
- c. La interpretación es un arte, el cual combina muchas otras artes, ya sea que los materiales presentados sean científicos, históricos o arquitectónicos.
- d. El objetivo principal de la interpretación ambiental no es la instrucción, sino la provocación.
- e. La interpretación ambiental debe apuntar a presentar un todo, en lugar de una parte aislada, y debe dirigirse al individuo como un todo y no sólo a una de sus fases.
- f. La interpretación ambiental debe ser dirigida a un público en específico.

Por su parte, Ham (1992), propone que la interpretación se basa en tres pilares fundamentales. Para poder proporcionar oportunidades interpretativas se requiere: 1) conocer el recurso; 2) conocer la audiencia; 3) contar con una técnica apropiada para poder transmitir el mensaje que se quiere comunicar. Morales, Guerra y Serantes (2009), describen estos pilares a través del modelo del triángulo interpretativo (Figura 1), donde todos los elementos del triángulo tienen que estar equilibrados para una efectiva interpretación.



Figura 1. Triángulo interpretativo (Morales, Guerra y Serantes, 2009).

4.4.3. Los Senderos de Interpretación Ambiental

Los senderos interpretativos son un itinerario o recorrido preestablecido por sitios con características particulares, donde se establece una secuencia ordenadas de paradas en las que se interpretan diversos recursos que conjuntamente presentan un mensaje relacionado con el conocimiento, valoración y conservación del espacio (Vidal y Moncada, 2006; Pellegrini, 2009). Zárate (2014), los define como una herramienta educativa cuya finalidad es comunicar el valor de conservar el patrimonio cultural y la biodiversidad, a través de visitas en diversas regiones que permiten el contacto directo de los visitantes con los valores sobre los que se quiere dar un mensaje.

Los senderos interpretativos pueden ser guiados, en los cuales la audiencia es llevada por un intérprete y se sigue normalmente una ruta definida; autoguiados, donde el visitante es autónomo y el recorrido lo hace sin ayuda de guía, siguiendo las señales interpretativas, señalamientos preventivos, restrictivos e informativos o algún material impreso como guías y folletos; y finalmente mixtos, donde el sendero está equipado con señales de información y además es guiado por intérpretes de la naturaleza (Rueda, 2004; Pellegrini, 2009).

Rueda (2004), establece que los senderos pueden ser de tres tipos según su recorrido:

- a. Senderos tipo circuito: los recorridos inician y terminan en la misma zona.
- b. Senderos multicircuito: del sendero principal, se desprenden otros senderos, lo que permite diversificar el área de uso público.
- c. Sendero lineal o abierto: el recorrido inicia en una zona y finaliza en otra diferente.

4.5. Capacidad de carga

4.5.1. Concepto

El concepto de capacidad de carga surge de un contexto ecológico; este se define como la capacidad de un sistema de soportar una población de determinado tamaño en relación a su nicho ecológico (Marozzi, Lima y Sarmiento, 2011), o el número máximo de población de una especie

que un determinado territorio puede mantener (Pascual, 2010). El concepto fue aplicado como elemento de gestión inicialmente en la ganadería, para describir el número máximo de animales que podían pastar en un área sin dañar el suelo o la producción de pasto, y posteriormente evolucionó hasta ser aplicado en la gestión de áreas naturales, cuando el Servicio Forestal de los Estados Unidos lo usó para calcular el número de personas que podían usar un área recreativa natural sin destruir sus características ecológicas (Álvarez, 2010).

En la actualidad, la capacidad de carga es un concepto fundamental que debe ser aplicado al manejo de los recursos naturales y el ambiente; este se define como el nivel máximo de uso que un área puede tolerar considerando los factores del medio (Takahashi y Cegana, 2005; Dawson y Hendee, 2009). Su principio básico establece que todos los ambientes naturales tienen un límite biofísico y que cuando se supera este límite, se amenaza la integridad del ambiente (Dias, Körössy y Selva, 2012).

4.5.2. Capacidad de carga turística

Cuando se aplica el concepto de capacidad de carga en las áreas protegidas, se constituye una herramienta que busca planear la visitación y actividades recreativas, y así obtener una aproximación de la intensidad de uso de las áreas destinadas al uso público, las cuales requieren decisiones de manejo (Cifuentes, 1992; Cifuentes et. al., 1999; Vasconcelos y Câmara, 2012).

Boo (1990), define que la capacidad de carga turística es el nivel máximo de visitantes (día/mes/año) que un área puede soportar antes que se modifique el medio físico y socio-cultural; por su parte Lima et. al., (2012), menciona que la capacidad de carga de turística está basada en la combinación de elementos físicos, espaciales, psicológicos, biológicos, culturales, estructurales y de gestión; y la idea que existe una limitación del medio ambiente en relación a la cantidad de visitantes que puede recibir un espacio.

4.5.2.1. Estimación de la capacidad de carga

Existen diversos métodos y técnicas para regular el manejo de visitantes en áreas protegidas, como el Límites de Cambio Aceptable (LCA), Espectro de Oportunidades Turísticas (EOT),

Capacidad de Carga Visual (CCV), Visitors Impact Management (VIM) y Capacidad de Carga Turística (CCT); siendo el último (CCT), uno de los más utilizados y efectivos por mostrar resultados positivos en gran cantidad de áreas protegidas de Latinoamérica (Álvarez, 2010).

El método CCT propuesto por Cifuentes en 1992, busca establecer el número máximo de visitas que puede recibir un área de la zona protegida con base en las condiciones físicas, biológicas y de manejo que se presentan en el área al momento del estudio, para ello considera tres niveles consecutivos: Capacidad de Carga Física (CCF), Capacidad de Carga Real (CCR) y Capacidad de Carga Efectiva (CCE) (Serrano y Alarte, 2009). Los tres niveles de capacidad de carga tienen una relación que se puede representar de la siguiente manera: $CCF \geq CCR \geq CCE$ (Cifuentes, 1999).

El Cuadro 1 describe cada uno de los niveles:

Cuadro 1. Definiciones y supuestos básicos de los tres niveles de Capacidad de Carga.

	Capacidad de Carga Física (CCF)	Capacidad de Carga Real (CCR)	Capacidad de Carga Efectiva (CCE)
Definición	Es el límite máximo de visitas permitidas en un espacio definido y tiempo determinado.	Es el límite máximo de visitas, determinado a partir de la CCF de un sitio, luego de someterlo a los factores de corrección definidos en función de las características particulares del sitio. Algunos factores de corrección a considerar son: factor social, erodabilidad, accesibilidad, precipitación, brillo solar, anegamiento, entre otros.	Es el límite máximo de visitas que se puede permitir, dada la capacidad del área protegida para ordenarlas y manejarlas. La CCE se obtiene comparando la CCR con la Capacidad de Carga de Manejo (CM) de la administración del área protegida.

Supuestos y criterios básicos	Una persona requiere normalmente 1m ² de espacio para moverse libremente.	Cada sitio evaluado estará afectado por un grupo de factores de corrección no necesariamente igual al de otros sitios.	La CM se refiere al conjunto de condiciones que la administración del área protegida necesita para el cumplimiento de sus funciones y objetivos.
	El factor de tiempo está dado en función del horario de visita y del tiempo real que se necesita para visitar el sitio.	Los factores de corrección están asociados estrechamente a las condiciones y características específicas de cada sitio.	
	La superficie disponible estará determinada por la condición del sitio evaluado; en el caso de los senderos las limitaciones de espacio están dadas también por el tamaño de los grupos y distancia prudencial que debe darse entre los grupos de visitantes.	Los factores de corrección son obtenidos a partir de variables físicas, ambientales, ecológicas, sociales y de manejo.	Para obtener una aproximación aceptable de la CM se puede tomar variables medibles indispensables como: personal, equipo, infraestructura, instalaciones y financiamiento.

Fuente: Cifuentes (1992) y Cifuentes (1999).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El Complejo Educativo Ambiental Naciente Arriaz (CEANA) posee una extensión de 4,31 hectáreas y se ubica a una altitud promedio de 1525 msnm en el poblado de Quircot, distrito de San Nicolás, cantón de Cartago, provincia de Cartago, Costa Rica (Coordenadas geográficas 9°53'21.86'' N; 83°56'5.32''O) (Figura 2). El CEANA se encuentra ubicado en una matriz de uso del suelo bastante fragmentada, donde abundan los asentamientos urbanos, cultivos agrícolas, industrias como RECOPE y carreteras sumamente transitadas como la Florencio del Castillo. Según la clasificación de Holdridge (1967), la zona de vida presente es Bosque Húmedo Premontano (bh-P) y según datos del INDER (2016), para la región se reporta una temperatura media anual entre los 18-20°C y una precipitación anual que oscila entre los 1400-2000 mm.

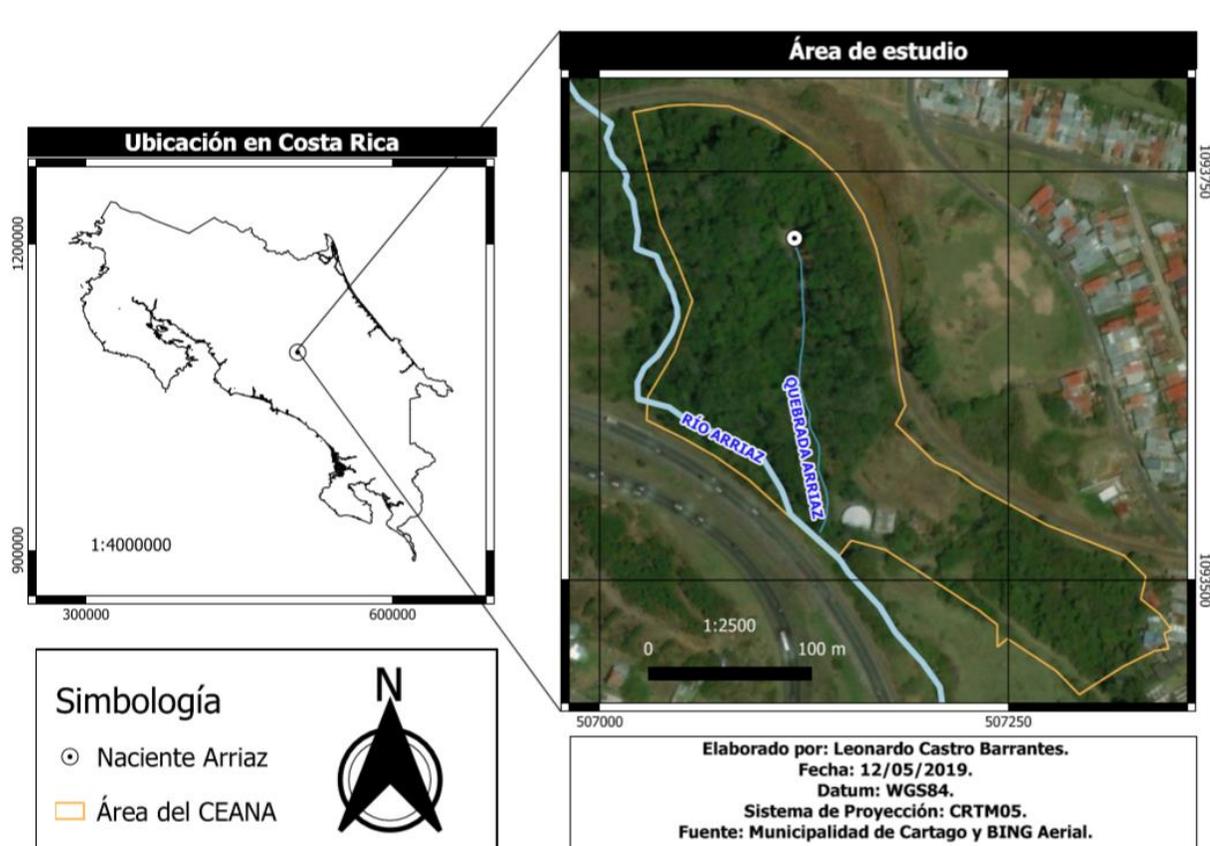


Figura 2. Ubicación geográfica del Complejo Educativo Ambiental Naciente Arriaz.

5.2. Descripción biofísica del sitio

Se realizó un diagnóstico biofísico del sitio para conocer el entorno y los recursos del CEANA, y así poder utilizar la información recopilada para la zonificación, cálculo de capacidad de carga turística y plan de interpretación.

5.2.1. Componente físico

Se recolectó información primaria a partir de diferentes estudios técnicos e investigaciones de la Municipalidad de Cartago realizados en el CEANA y en la microcuenca del río Arriaz; estos aportaron información relevante sobre hidrología, calidad del agua, geología y topografía del sitio.

5.2.2. Componente biológico

Para determinar la composición florística y estructura horizontal del bosque del CEANA, se realizó un inventario forestal con una intensidad de muestreo de 11,6%. Se levantaron cinco parcelas rectangulares de 20x50 metros (0,1 ha), las cuales fueron seleccionadas aleatoriamente por medio de herramientas del software QGIS versión 3.6 (Figura 3). En cada parcela se midió el diámetro a 1,30 m del suelo y se identificó la especie para todos los individuos mayores a 10 cm de diámetro. Aquellos individuos que no fuera posible identificar en campo, se tomó una fotografía de la especie y se recolectó una muestra para su posterior identificación. Seguidamente, se determinó el área basal (m^2/ha) para cada estrato de bosque identificado y el índice de valor de importancia (I.V.I) para cada especie del bosque (Curtis y McIntosh, 1950).

Adicionalmente, se realizó una breve caracterización de la avifauna y mastofauna presente en el sitio, esto a partir de información proporcionada por la Municipalidad de Cartago de datos obtenidos en inventarios y cámaras trampa.

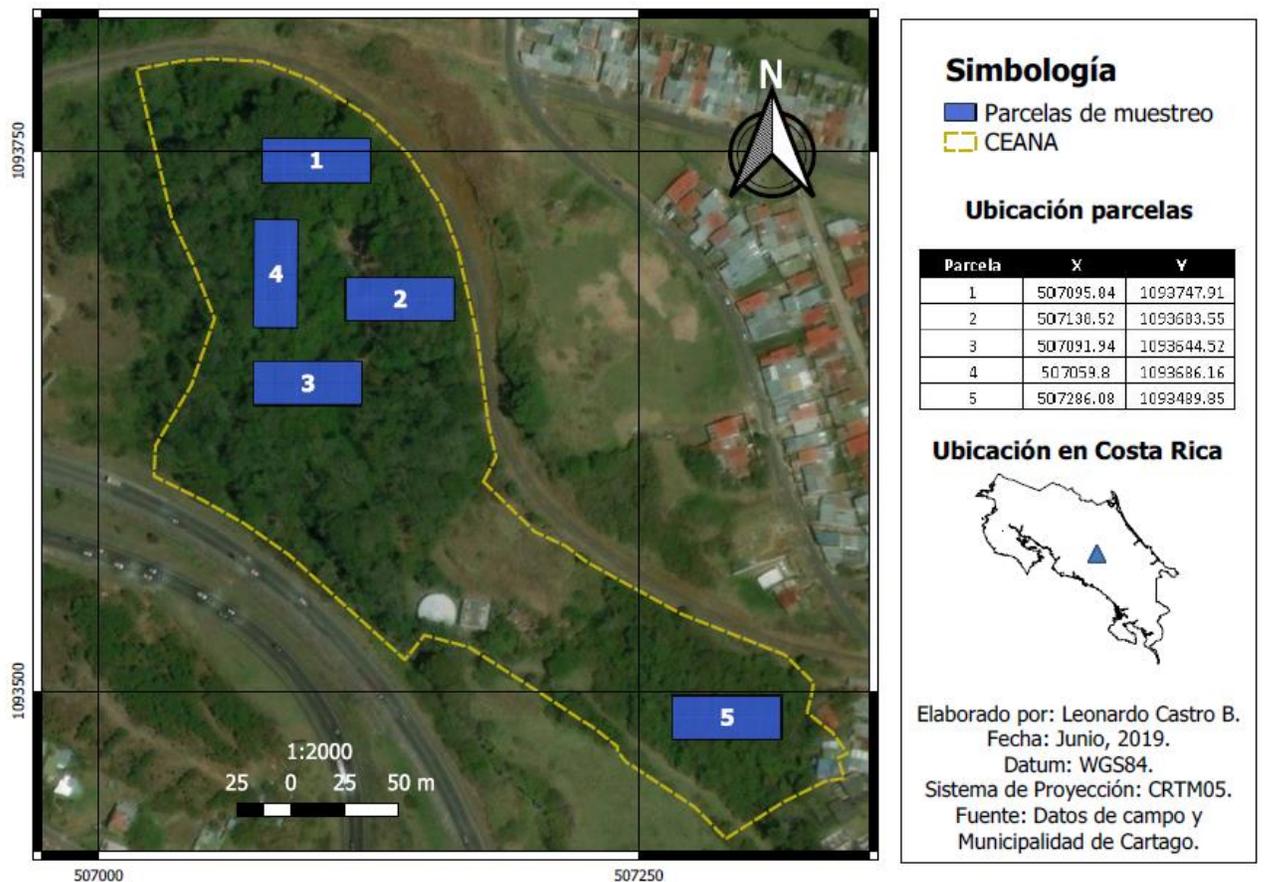


Figura 3. Ubicación geográfica de las parcelas de muestreo.

5.3. Zonificación ambiental

Se realizó una zonificación en el área del CEANA delimitando el espacio en Unidades Ecológicas del Paisaje (UEP) que pudieran ser agrupadas en zonas acordes con los objetivos de conservación y educación ambiental que plantea el Complejo.

El método utilizado se basó en las propuestas de zonificación realizadas por Pinedo (2006) y Rodríguez et. al., (2012), las cuales se adaptaron al nivel de microzona. Además, se consideraron las recomendaciones propuestas por el SINAC (2013) para la zonificación en áreas protegidas. Estos métodos se aplicaron utilizando herramientas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el diseño de cartografía, el análisis de la información y finalmente la propuesta de zonificación. El análisis se realizó por medio del software QGIS versión 3.6.

5.3.1. Insumos para la zonificación

5.3.1.1. Fotografías aéreas

Se utilizaron fotografías aéreas de alta resolución del área de estudio, capturadas con un vehículo aéreo no tripulado (Drone modelo DJI Phantom 4 Pro); dichas fotografías fueron tomadas bajo óptimas condiciones climatológicas utilizando el software Pix4Dcapture para la planificación del vuelo del dron. Posteriormente, se utilizó el software Agisoft PhotoScan para generar una ortofoto del área de estudio.

5.3.1.2. Capas temáticas

Se contó con la información previamente descrita en el diagnóstico del área de estudio, la cual se seleccionó y sistematizó para visualizarla por medio de capas temáticas que fueran útiles en el posterior análisis. Adicionalmente, fueron brindados archivos en formato *shape* (.shp) por la Municipalidad de Cartago con las delimitaciones de la zona de protección de la naciente Arriaz y la zona de protección absoluta del área de recarga acuífera, delimitada en estudios técnicos por Ramos y Vargas (2001).

5.3.2. Criterio de zonificación

El criterio geográfico utilizado para definir las UEP fue el tipo de cobertura, pues define muy bien el uso del suelo y del espacio geográfico del CEANA. Este criterio fue seleccionado considerando que el área del CEANA es relativamente pequeña (4,31 ha) y los objetivos del Complejo lo limitan solamente a un uso de suelo destinado a actividades de conservación y educación ambiental.

El tipo de cobertura fue determinado con el análisis de la ortofoto y la información de campo previamente levantada en el diagnóstico biofísico, la cual se sistematizó con herramientas SIG en la delimitación de las UEP.

5.3.3. Definición de zonas y propuesta de zonificación

Las zonas a considerar para el uso de las áreas del CEANA se seleccionaron y basaron según las características biofísicas del sitio y los objetivos del Complejo. Además, se consideró una zona de amortiguamiento entre el territorio propiedad del CEANA y los terrenos colindantes de propiedad privada. Para cada zona se establecieron los objetivos de conservación y desarrollo, una descripción de la zona, las prácticas de manejo sugeridas, las actividades permitidas o recomendadas, las actividades no permitidas o no recomendadas y los controles de gestión que se utilizarán. Finalmente, se realizó un mapa con la propuesta de zonificación y el área definida para cada zona de manejo.

5.4. Cálculo de capacidad de carga de los senderos

Para determinar la capacidad de carga de los senderos, se adaptó y modificó la metodología utilizada por Cifuentes (1992) y Cifuentes et. al., (1999), la cual consta de tres niveles: Capacidad de Carga Física (CCF), Capacidad de Carga Real (CCR) y Capacidad de Carga Efectiva (CCE).

Toda la sistematización de información, análisis y cálculo de factores se realizó con hojas electrónicas de Microsoft Excel©. El análisis geoespacial fue realizado a través del software QGIS versión 3.6.

5.4.1. Levantamiento topográfico y georreferenciación de los senderos

Cada uno de los senderos fue levantado topográficamente para obtener datos de longitud, azimut y pendiente. Además, se realizó un tracking con GPS de cada uno de los senderos y se cronometró el tiempo del recorrido del sendero. Posteriormente se sistematizó la información de campo y se ubicaron los senderos a través de SIG.

5.4.2. Capacidad de Carga Física (CCF)

Se calculó utilizando la fórmula (1):

$$CCF = \frac{S}{sp} * NV \quad (1)$$

Donde:

S= longitud disponible del sendero (m).

sp= longitud utilizada por persona (m).

Nv= Número de veces que el sitio puede ser visitado por la misma persona en un día (visitas/día/visitante). Se calcula a través de la ecuación (2):

$$NV = \frac{Hv}{tv} \quad (2)$$

Donde Hv es el horario de visita (h/día) y tv es tiempo necesario para visitar cada sendero (h/visita/visitante).

La información del horario de visitación fue brindada por la administración del CEANA y el tiempo necesario de visita por sendero fue calculado tomando en cuenta el tiempo de recorrido previamente cronometrado y el número de estaciones de interpretación (un promedio de 5 minutos por estación).

5.4.3. Capacidad de Carga Real (CCR)

Los factores de corrección considerados en este estudio fueron: erodabilidad, accesibilidad, precipitación, cierres temporales y anegamientos; además se diseñó un factor que considera la vulnerabilidad hídrica a la que está sujeta el CEANA. Estos factores fueron seleccionados porque poseen mayor influencia en los senderos del CEANA y por las características propias del sitio.

La capacidad de carga real se calculó a través de la ecuación (3):

$$CCR = CCF (FCvh * FCero * FCacc * FCpre * FCtemp * FCane) \quad (3)$$

Donde:

CCF= capacidad de carga física (visitas/día).

FCvh= factor vulnerabilidad hídrica.

FCero= factor de erodabilidad.

FCacc= factor de accesibilidad.

FCpre= factor de precipitación.

FCtem= factor cierres temporales.

FCane= factor anegamiento.

5.4.3.1. Factor vulnerabilidad hídrica (FCvh)

Se diseñó este factor considerando la vulnerabilidad hídrica que posee el CEANA al estar situado en un área con una naciente, una quebrada y un río. Este factor toma en cuenta la vulnerabilidad de zonas de importancia hídrica en tramos de sendero. Los niveles de vulnerabilidad se clasificaron tomando en cuenta la cercanía de los senderos a la naciente o la ribera del río, y se basan principalmente en las afectaciones que puede causar el tránsito de personas hacia la calidad del agua, hacia las zonas de recarga acuífera y erosión en las riberas. Las distancias fueron establecidas según una revisión bibliográfica del ancho de franja recomendado para el buen desempeño de las funciones ecológicas de los ecosistemas ribereños (Cepeda y Navarro, 2010). Los niveles de vulnerabilidad se clasifican en tres niveles como se muestra en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Niveles de vulnerabilidad hídrica de los senderos.

Tipo de cuerpo de agua	Distancia del centro del sendero hasta la naciente o ribera del río	Vulnerabilidad		
		Baja	Media	Alta
Río o quebrada	<10 metros			X
	10-25 metros		X	
	>25 metros	X		
Naciente	<25 metros			X
	25-50 metros		X	
	>50 metros	X		

Para obtener el factor de corrección de vulnerabilidad hídrica se sumó solamente las longitudes de los tramos de sendero que tuvieran mediana y alta vulnerabilidad; esto considerando un factor de ponderación de 1 y 1.5 respectivamente. La ecuación utilizada es la siguiente (4):

$$FCero = 1 - \frac{(mva * 1.5) + (mvm * 1)}{mt} \quad (4)$$

Donde:

mva= metros de sendero en zonas con vulnerabilidad hídrica alta (m).

mvm= metros de sendero en zonas con vulnerabilidad hídrica media (m).

mt= metros totales de sendero (m).

Para poder determinar si los senderos se ubicaban en sitios de baja, mediana o alta vulnerabilidad se realizó un análisis vectorial con buffers a través de herramientas SIG.

5.4.3.2. Erodabilidad (FCero)

Se considera la susceptibilidad o riesgo que puede tener el sendero de erosionarse; para esto se toman las variables pendiente y textura del suelo. Dichas variables se expresan en tres grados, y las combinaciones de esos grados determinan niveles de riesgo de erosión como se muestra en el Cuadro 3:

Cuadro 3. Niveles de erodabilidad de los senderos.

Suelos	Pendiente		
	<10%	10-20%	>20%
Grava o arena	bajo	medio	alto
Limo	bajo	Alto	alto
Arcilla	bajo	medio	alto

Fuente: Cifuentes (1992).

La textura del suelo fue determinada al tacto en diversos puntos de los senderos cada 150 metros, esto siguiendo el método de Tamés (Andrades, Moliner y Masaguer, 2015). Por el otro lado, los datos de pendiente se obtuvieron a partir del levantamiento topográfico previo de los senderos.

Para obtener el factor de corrección de susceptibilidad de la erosión se sumó solamente las longitudes de los senderos que poseen mediana y alta susceptibilidad de erosionarse (considerando un factor de ponderación de 1 y 1,5 respectivamente, pues un grado alto presenta mayor riesgo de erosión). La ecuación utilizada es la siguiente (5):

$$FCero = 1 - \frac{(mea * 1.5) + (mem * 1)}{mt} \quad (5)$$

Donde:

mea= metros de sendero con erodabilidad alta (m).

mem= metros de sendero con erodabilidad media (m).

mt= metros totales de sendero (m).

5.4.3.3. Accesibilidad (*FCacc*)

Este factor clasifica la dificultad de desplazamiento que podrían tener los visitantes para moverse libremente debido a la pendiente. Para su cálculo se tomaron los mismos grados de pendiente utilizados para el cálculo del FCero (<10%; 10-20%; >20%); estableciendo las siguientes categorías:

Cuadro 4. Categorías de dificultad de acceso a los senderos.

Dificultad	Pendiente
Baja o de ningún grado	<10%
Media	10-20%
Alta	>20%

Fuente: Cifuentes et. al., (1999).

La ecuación utilizada es la siguiente (6):

$$FCacc = 1 - \frac{(ma * 1.5) + (mm * 1)}{mt} \quad (6)$$

Donde:

mda= metros de sendero con dificultad alta (m).

mdm= metros de sendero con dificultad media (m)

mt= metros totales de sendero (m).

5.4.3.4. Precipitación (FC_{pre})

Es un factor que impide la visitación normal pues las lluvias limitan la visitación de los senderos. Se consideran los meses de mayor precipitación, así como la cantidad en horas en promedio que dura el evento.

Los valores de precipitación fueron obtenidos a partir del portal del Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2019), que posee datos climáticos de la estación meteorológica más cercana al CEANA (la estación del ITCR), la cual se encuentra aproximadamente a 3 kilómetros de distancia y registra datos climáticos de un periodo de 18 años.

Para determinar este factor se utilizó la siguiente ecuación (7):

$$FC_p = 1 - \frac{hl}{ht} \quad (7)$$

Donde:

hl= horas de lluvia limitantes por año (h).

ht= horas al año que los senderos están abierto (h).

5.4.3.5. Cierres temporales (FC_{tem})

Este factor considera cierres por mantenimiento, manejo o alguna otra circunstancia que impide la visitación a sitios temporalmente. Su cálculo se realiza a través de (8):

$$FC_{tem} = 1 - \frac{hc}{ht} \quad (8)$$

Donde:

hl= horas al año que los senderos están cerrado (h).

ht= horas al año que los senderos está abierto (h).

5.4.3.6. Anegamiento (FC_{ane})

Este factor toma en consideración sitios inundables o donde el agua puede estancarse. La determinación de este factor se calculó a través de la fórmula (9):

$$FCane = 1 - \frac{ma}{mt} \quad (9)$$

Donde:

ma= metros de sendero con problemas de anegamiento (m).

mt= metros totales de sendero (m).

5.4.4. Capacidad de manejo (CM)

La capacidad de manejo se calculó considerando las variables infraestructura, personal y equipamiento. La información requerida para cada variable fue obtenida a partir de una entrevista con el Ing. Julio Urbina, encargado de la administración del CEANA.

La evaluación de las variables consistió en los siguientes criterios:

- a. Cantidad (actual vs óptima): es la relación porcentual entre la cantidad óptima y existente de cada elemento.
- b. Estado: se refiere a las condiciones de conservación y uso de cada componente, mantenimiento, limpieza, seguridad, uso adecuado, facilidad, entre otros.
- c. Localización: es la ubicación y distribución espacial apropiada de los componentes en el área, permitiendo la facilidad de acceso a los mismos.
- d. Funcionalidad: se refiere a la utilidad práctica que determinado componente posee tanto para el personal como para los visitantes.

Cada criterio se calificó de acuerdo al Cuadro 5:

Cuadro 5. Escala para calificar criterios de evaluación de Capacidad de Manejo.

Porcentaje (%)	Valor	Calificación
≤ 35	0	Insatisfactorio
36-50	1	Poco satisfactorio
51-75	2	Medianamente satisfactorio
76-89	3	Satisfactorio
≥90	4	Muy satisfactorio

Fuente: Cifuentes et. al., (1999).

El óptimo para cada variable fue establecido según recomendaciones de expertos en la gestión de espacios protegidos y en consulta con la administración del CEANA. Cada componente se calificó bajo los cuatro criterios, con excepción de la variable personal que sólo se calificó considerando el criterio de cantidad. En el Anexo 2 se incluye el formulario utilizado para la recolección de la información.

El cálculo de capacidad de manejo se realizó a partir de un promedio de los factores de las tres variables (10), expresado en manera porcentual:

$$CM = \frac{I + P + E}{3} * 100 \quad (10)$$

Donde:

I = factor obtenido de la evaluación de la infraestructura.

E= factor obtenido de la evaluación del equipo.

P= factor obtenido de la evaluación del personal.

5.4.5. Capacidad de Carga Efectiva (CCE).

La capacidad de carga efectiva se obtiene comparando la CCR con la Capacidad de Manejo (CM) de la administración del área protegida. La fórmula para el cálculo utilizada es la siguiente (11):

$$CCE = CCR * \frac{CM}{100} \quad (11)$$

Donde:

CCR= Capacidad de Carga Real (visitas/día).

CM= Capacidad de Manejo.

Finalmente, el valor de capacidad de carga en términos de visitantes por día se obtuvo a partir de la expresión (12):

$$\text{No. de visitantes por día} = \frac{CCE}{Nv} \quad (12)$$

Donde:

CCE= Capacidad de Carga Efectiva (visitas/día)

Nv= Número de veces que el sitio puede ser visitado por la misma persona en un día (visitas/día/visitante).

5.5. Interpretación ambiental de los senderos

La interpretación ambiental de los senderos del CEANA se realizó adaptando la “Guía para el diseño y operación de Senderos Interpretativos” (Rueda, 2004) y las metodologías utilizadas en las propuestas de interpretación realizadas por Pellegrini (2009), López (2017) y Barbosa y Sáenz (2017). La Figura 4 esquematiza la metodología utilizada para la propuesta de interpretación ambiental de los tres senderos del CEANA:

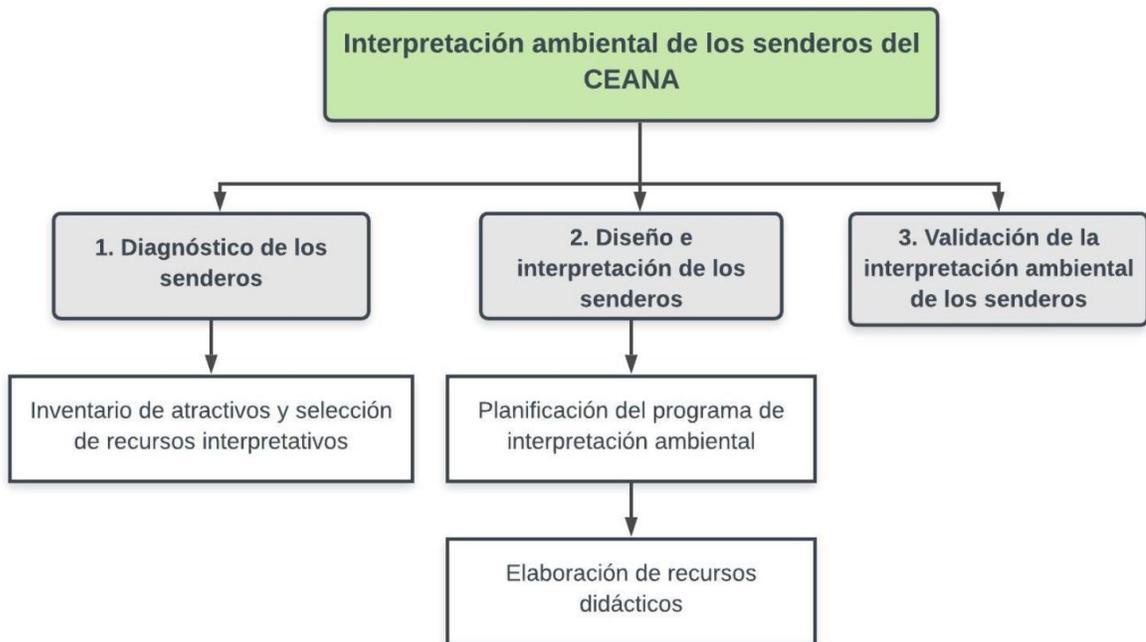


Figura 4. Metodología empleada para la interpretación ambiental de los senderos del CEANA.

5.5.1. Diagnóstico de los senderos

5.5.1.1. *Inventario de atractivos y selección de recursos interpretativos*

En compañía del educador ambiental de la Municipalidad de Cartago, se recorrió cada uno de los senderos y se recolectó la información sobre los diversos atractivos naturales e históricos que se encontraban en el recorrido.

Los rasgos interpretativos fueron identificados siguiendo criterios establecidos por la metodología de López (2017), utilizando como base la matriz para la evaluación del potencial interpretativo de Badaracco y Scull (1978), la cual fue adaptada a las características del CEANA. A cada criterio se le asigna un puntaje de 1 a 3, siendo: 1 (bajo o inexistente), 2 (medio) y 3 (máximo o abundante). La matriz y formulario de campo utilizadas puede ser encontradas en el Anexo 1.

Los criterios considerados para la evaluación del potencial interpretativo de los rasgos y elementos en lo senderos del CEANA fueron los siguientes:

- a. Singularidad: importancia intrínseca de ese rasgo con respecto a toda el área. Que tan poco frecuente es encontrado.
- b. Valor biológico o histórico: que tanta importancia tiene ese rasgo en aspectos ecológicos, socioculturales e históricos.
- c. Representatividad didáctica: facilidad de ser empleado y explicado en la interpretación del sendero.
- d. Atractivo: capacidad del recurso de despertar gran interés o curiosidad en el observador.
- e. Temática coherente: oportunidad a través del recurso de tratar temas relacionados al objetivo o temática del parque.

Una vez sistematizados los datos, se calculó un puntaje total en la matriz por cada rasgo o elemento potencial interpretativo para su selección. La selección se hizo con base en los rasgos con mayor puntaje de acuerdo a la matriz; rasgos con puntajes inferiores a 10 fueron excluidos. El número de estaciones seleccionadas se fundamentó en las recomendaciones de Ham (1992) y en mutuo acuerdo con la administración del CEANA.

5.5.2. Diseño e interpretación de los senderos

5.5.2.1. *Planificación del programa de interpretación ambiental*

La planificación de la interpretación de los senderos consistió en:

- a. Definición del enfoque o temática principal para los senderos interpretativos: se realizó basándose en los objetivos del CEANA y los recursos intrínsecos de cada sendero.
- b. Determinación del perfil o perfiles de visitante en cada sendero: se definió en consulta con los encargados de la administración del CEANA.
- c. Elección del tipo de sendero (guiado, autoguiado o mixto): Este se definió en mutuo acuerdo con los encargados de la administración del CEANA.

- d. Selección de recursos interpretativos (folletos, rótulos, charlas u otro recurso didáctico) en cada uno de los senderos: Esto fue seleccionado en mutuo acuerdo con la administración del CEANA en función de los recursos, perfil y tipo de sendero propuesto.

5.5.2.2. Elaboración de recursos didácticos

Se crearon temas para cada estación interpretativa relacionados a la temática principal y se elaboró un mensaje a transmitir, el cual es traducido y adaptado por el guía educador ambiental dependiendo del público presente al momento de los recorridos. El diseño del mensaje se basó en una serie de fuentes bibliográficas confiables con respaldo técnico-científico; sin embargo, el mensaje se simplificó a un lenguaje más comprensivo, atractivo y sensibilizador, según las recomendaciones de Ham (1992).

El diseño de los recursos didácticos fue realizado por Gabriel Castro Barrantes; estos contienen gráficos y textos concisos para un amplio perfil de visitantes y además son una herramienta para ser utilizada por el educador ambiental durante la interpretación de los senderos.

5.5.3. Validación de la interpretación ambiental de los senderos

La validación fue realizada el día 11 de octubre del 2019 en conjunto con un grupo de estudiantes del curso de Hidrología Forestal y Manejo de Cuencas del TEC, el biólogo Gustavo Rojas y el ingeniero forestal Dorian Carvajal. Se validó en campo el contenido y guion interpretativo de cada una de las estaciones, recorriendo cada uno de los senderos y simulando un escenario con visitantes. Se verificó que la información fuera captada, entendida e interiorizada por los usuarios del sendero y posteriormente se realizaron los ajustes basados en las recomendaciones hechas en campo para el diseño final.



Figura 5. Validación del plan de interpretación ambiental de los senderos del CEANA.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Diagnóstico biofísico del CEANA

6.1.1. Componente físico

El CEANA geológicamente se encuentra inmerso dentro de la unidad Térraba a Coris, su topografía es moderadamente escarpada (pendientes de hasta 50%) y posee suelos del orden Inceptisol (Chin et. al., 2017).

El sitio se ubica dentro de la cuenca del río Reventazón y en la microcuenca Arriaz, la cual es drenada por el río del mismo nombre; este posee una longitud de 9,17 km y se conecta con el río Taras en la parte baja de la microcuenca. Según estudios de Chin et. al., (2017), las aguas del río Arriaz se consideran como “aguas con contaminación muy severa”, las cuales no son utilizables para prácticamente ninguna actividad humana o agropecuaria, esto producto del vertido de aguas residuales domésticas e industriales, así como residuos de productos de origen agropecuario que son arrastrados desde la parte alta de la microcuenca.

La naciente Arriaz posee una producción de 60 L/s (Chin et. al., 2017); esta se encuentra totalmente protegida por una estructura de concreto, y parte de su caudal es captado por la Municipalidad de Cartago para el abastecimiento de agua a comunidades aledañas. El caudal ecológico resultante (Quebrada Arriaz) corre río abajo hasta unirse con el río Arriaz al sur del CEANA (Figura 6).

6.1.2. Componente biológico

6.1.2.1. Composición florística y estructura del bosque

Según el inventario forestal realizado, el bosque del CEANA posee una riqueza de 28 especies (individuos ≥ 10 cm de diámetro) (Anexo 3). El Cuadro 6 muestra el índice de valor de importancia (IVI), para las cinco especies con mayor peso ecológico en el CEANA:

Cuadro 6. Principales especies arbóreas según índice de valor de importancia (IVI) en cinco parcelas de 0,1 ha ubicadas en el bosque del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Especie	Abundancia		Frecuencia		Dominancia		IVI
	Abs	A%	Abs	F%	Abs	D%	
<i>Fraxinus uhdei</i>	28	14,74	5	8,20	4,72	37,10	60,03
<i>Quercus insignis</i>	26	13,68	4	6,56	1,90	14,92	35,17
<i>Sideroxylon persimile</i>	20	10,53	3	4,92	1,58	12,40	27,85
<i>Inga punctata</i>	23	12,11	5	8,20	0,60	4,74	25,04
<i>Stemmadenia litoralis</i>	15	7,89	4	6,56	0,53	4,20	18,65
Subtotal 5 especies	112	58,95	21	34,43	9,34	73,37	166,74
Subtotal restante de especies	78	41,05	40	65,57	3,39	26,63	133,26
TOTAL	190	100	61	100	12,73	100	300

De acuerdo con las características de la composición florística y estructura del bosque se determinó que el área está compuesta por dos estratos (Figura 6). El primero de ellos, con un área aproximada de 2,92 ha, corresponde a bosque secundario de estadio tardío, el cual posee un área basal de 28,19 m²/ha, datos similares a los reportados por Ulate (2011) para bosques secundarios húmedos premontanos en dicha condición. Este estrato está dominado por individuos de la especie introducida *Fraxinus uhdei*, la cual es muy representativa del bosque y esta se distribuye de manera homogénea en todo el CEANA. La especie se ha adaptado de una gran manera, comportamiento similar al encontrado por Morales (2009) en fragmentos de bosque secundario ubicados en Dulce Nombre de Cartago. Adicionalmente, se destacan especies como *Quercus insignis*, *Sideroxylon persimile* y escasos remanentes de *Cedrela tonduzii*, los cuales son una muestra de las especies autóctonas del Valle Central y de los muy escasos relictos de bosque húmedo premontano que persisten en el país (Quesada, 2007; Rodríguez y Brenes, 2009).

El segundo estrato corresponde a una pequeña área en regeneración (0,74 ha) de bosque secundario estadio intermedio la cual posee un área basal de 14,52 m²/ha. Esta se caracteriza por una gran abundancia de especies pioneras de la familia Asteraceae; sin embargo, se encuentran establecidas algunas heliófitas durables que empiezan a cerrar el dosel (*Inga punctata*, *Ficus pertusa* y *Casimiroa edulis*). Estas especies son incapaces de regenerar en su propia sombra, por lo que su dominancia está ligada a la colonización temprana del sitio; sin embargo, al empezar a

cerrar el dosel, se están generando las condiciones de sombra óptimas para el establecimiento de nuevas especies y que de esta manera el proceso de regeneración continúe hacia estadios de mayor madurez (Guariguata y Kattan, 2002).

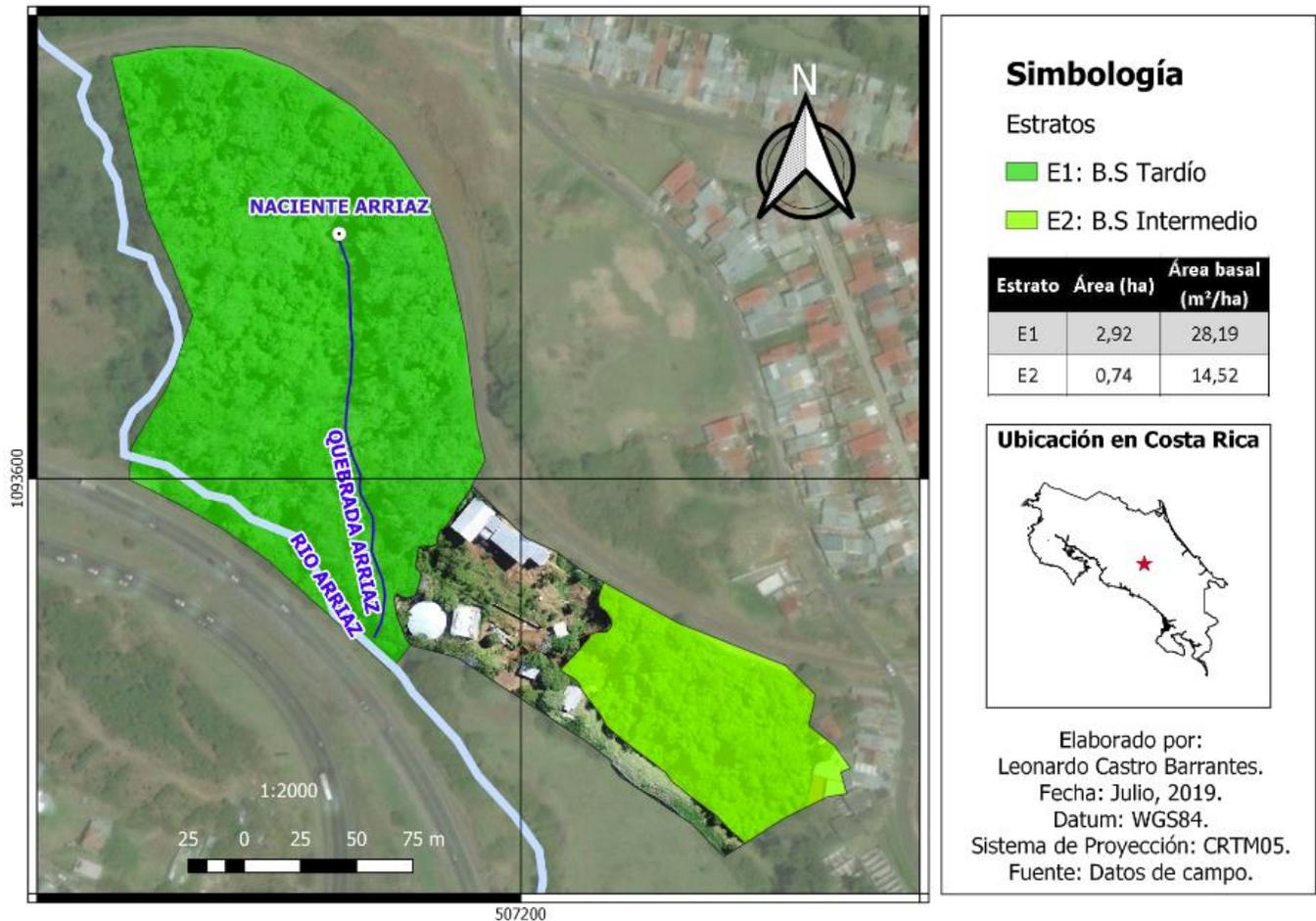


Figura 6. Hidrografía y estratos de bosque del CEANA.

6.1.2.2. Fauna

Según estudios realizados por la Municipalidad de Cartago se registra la existencia de al menos 29 especies de aves dentro del CEANA y del área de influencia directa del proyecto. Dentro de las más representativas destacan: *Zenaida asiatica* (paloma aliblanca), *Piaya cayana* (cuco ardilla), *Campylopterus hemileucurus* (colibrí ala de sable), *Aramides cajaneus* (rascón cuelligris), *Amazilia tzacatl* (gorrión), *Amazilia saucerottei* (gorrión), *Accipiter bicolor* (gavilán

bicolor), *Cathartes aura* (zopilote cabecirrojo), *Melanerpes hoffmannii* (carpintero de hoffmann), *Chiroxiphia linearis* (toledo), *Pitangus sulphuratus* (pecho amarillo), *Momotus coeruliceps* (momoto coroniazul), *Myiarchus tuberculifer* (copetón crestioscuro), *Tyrannus melancholicus* (tirano tropical), *Pygochelidon cyanoleuca* (golondrina), *Turdus grayi* (yigüirro), *Quiscalus mexicanus* (zanate), *Setophaga petechia* (canarita), *Setophaga pensylvanica* (reinita), *Basileuterus rufifrons* (reinita cabecicastaña), *Cardellina pusilla* (curruguita), *Mniotilta varia* (zebrita) y *Thraupis episcopus* (viuda).

Reportes realizados a través de cámaras trampa en el sitio registraron la presencia de las siguientes especies de mastofauna: *Didelphis marsupialis* (zorro pelón), *Procyon lotor* (mapache), *Dasyurus novemcinctus* (armadillo), *Sylvilagus brasiliensis* (conejo de monte), *Sciurus granatensis* (ardilla) y *Agouti paca* (tepezcuintle).

6.2. Zonificación ambiental

Se proponen cinco zonas para el manejo del CEANA: zona de baja intervención, zona de mediana intervención, zona de alta intervención, zona de regeneración natural y zona de amortiguamiento (Figura 7).

6.2.1. Zona de baja intervención

6.2.1.1. *Objetivos de conservación y desarrollo*

- Proteger el área de recarga acuífera de la naciente Arriaz.
- Conservar el relicto de bosque húmedo premontano, sus especies de flora y fauna y sus ecosistemas.

6.2.1.2. *Descripción*

Abarca un 57,2% del área del CEANA (2,46 ha). Se ubica al noroeste y corresponde al primer estrato de bosque. Es la zona que posee mayor integridad ecológica, al contar con especies nativas características del bosque húmedo premontano y en una condición de regeneración más avanzada en comparación al resto del sitio. Su área comprende una parte de la zona de protección absoluta

de la naciente Arriaz, y toda su extensión está protegida por la Ley Forestal y su Reglamento (Ley Forestal N°7575, 1996; Decreto N° 25721, 1997).

Esta zona posee una alta fragilidad ecológica al estar expuesta, bajo los límites territoriales del CEANA, a una matriz de uso de suelo sin cobertura boscosa y con presencia de sitios de alto impacto como la carretera Florencio del Castillo y a la vía del tren.

6.2.1.3. Prácticas de manejo sugeridas

Se promueven prácticas de manejo y reforestación con objetivos de restauración ecológica en zonas degradadas o con presencia de especies introducidas invasoras. Cualquier intervención debe ser realizada a través de criterios técnicos y bajo la tutela de un profesional en el manejo de recursos naturales.

6.2.1.4. Actividades permitidas

La investigación científica, manejo forestal con fines de restauración y conservación y la educación ambiental.

6.2.1.5. Actividades no permitidas

- No se permite el ingreso de personas a la zona sin la previa autorización de la administración del CEANA.
- No se permite la construcción de edificaciones, caminos o alguna otra infraestructura que impermeabilice el suelo e implique remoción de la cobertura forestal.

6.2.1.6. Controles de gestión

El monitoreo de los impactos negativos por la visitación en el CEANA debe ser una acción prioritaria. Se deben realizar inventarios de flora y fauna periódicamente, que permitan evaluar la condición del bosque y garanticen que la zona está siendo protegida y manejada bajo criterios de sostenibilidad.

6.2.2. Zona de mediana intervención.

6.2.2.1. *Objetivos de conservación y desarrollo*

- Captar el agua de la naciente Arriaz y transportarla hacia los tanques de almacenamiento.
- Realizar actividades de educación ambiental a través de caminatas en contacto con la naturaleza por senderos interpretativos.

6.2.2.2. *Descripción*

Esta zona abarca un 13,3% del área del CEANA (0,57 ha) y corresponde al área de desplazamiento de los transeúntes en los tres senderos y en sus respectivas estaciones de interpretación. Además, toma en cuenta el área de captación, la cual se encuentra sellada totalmente por una estructura de concreto, y todo su recorrido a través de la tubería hasta llegar al tanque de almacenamiento.

6.2.2.3. *Prácticas de manejo sugeridas*

Se sugiere realizar prácticas de manejo orientadas al mantenimiento de los senderos y que garanticen la seguridad de los transeúntes, como podas y/o remoción de árboles muertos que presenten indicios de riesgo de caída hacia los límites del sendero; esto siempre bajo criterios técnicos y de sostenibilidad.

6.2.2.4. *Actividades permitidas*

La captación de agua para consumo humano, la investigación científica y la educación ambiental.

6.2.2.5. *Actividades no permitidas*

- No se permiten actividades de uso público ni el ingreso a los senderos sin la respectiva autorización de la administración del CEANA y/o compañía del guía educador ambiental.

- Está prohibido caminar fuera de las áreas delimitadas de los senderos, dejar basura o algún otro tipo de residuo, extraer componentes del bosque, hacer ruido excesivo y desobedecer las reglas informadas previo al ingreso a los senderos.
- No se permite un ingreso mayor al número máximo de visitantes establecido según los estudios de capacidad de carga.

6.2.2.6. *Controles de gestión*

El principal control de gestión para garantizar la sostenibilidad de esta zona será el cumplimiento del límite máximo de visitantes establecido en los estudios capacidad de carga turística. La administración del CEANA garantizará a través de su logística y recibimiento de grupos que se respete el número máximo de visitantes estipulado por día, mes y año. Para ello se debe utilizar un libro de actas que respalde mediante un registro de firmas el acceso a los senderos. Además, se recomienda realizar un informe anual que evalúe y monitoree la cantidad de visitantes recibidos en los senderos, esto con el fin de garantizar que se está respetando lo establecido en los estudios de capacidad de carga y además se obtenga una mejor visión del perfil de visitantes.

6.2.3. *Zona de alta intervención.*

6.2.3.1. *Objetivos de conservación y desarrollo*

- Administrar el CEANA y sus actividades educativas.
- Gestionar la distribución de agua potable a las comunidades correspondientes.
- Promover y facilitar el desarrollo de actividades de educación ambiental, recreación y prácticas sostenibles en áreas e infraestructura destinada para este fin.

6.2.3.2. *Descripción*

Esta zona abarca el 14,2% del área del CEANA (0,61 ha). Corresponde a un área modificada ecológicamente, donde no existe cobertura forestal significativa más que algunos árboles aislados. Existe infraestructura para el almacenamiento, potabilización y distribución de agua

(tanques, planta potabilizadora y tuberías), para la gestión del CEANA (oficinas administrativas, casetas de seguridad), para la atención de los grupos (aulas para talleres, parqueo, baños, zona de picnic, zona de juegos) y un área de prácticas ambientales sostenibles (área de abejas, compostaje y agricultura orgánica).

6.2.3.3. Prácticas de manejo sugeridas

Se recomienda la reforestación de especies nativas en espacios libres y zonas degradadas.

6.2.3.4. Actividades permitidas

- Se permiten actividades recreativas y educativas en las infraestructuras destinadas para este fin.
- Se permite la construcción y operación de infraestructura acorde con los objetivos de conservación y desarrollo establecidos, siempre y cuando el impacto generado sea moderado y se mantengan buenas prácticas ambientales.
- Se permite el establecimiento y desarrollo de parcelas y áreas demostrativas sobre prácticas sostenibles como agricultura orgánica y compostaje.

6.2.3.5. Actividades no permitidas

No se permite el ingreso al público en general. Sólo se recibirán grupos previamente identificados y bajo los horarios establecidos.

6.2.3.6. Controles de gestión

Los encargados de seguridad del CEANA velarán porque no ingrese el público en general y solamente tengan permitido el acceso aquellas personas o grupos previamente agendados por la administración del CEANA; para ello se deberá contar con un protocolo de acceso y registro dentro del área. Adicionalmente, la administración del CEANA debe garantizar que los grupos siempre estén en compañía de al menos una persona que le correspondan las actividades de educación ambiental y/o gestión del Complejo.

6.2.4. Zona de regeneración natural.

6.2.4.1. *Objetivos de conservación y desarrollo*

- Promover el crecimiento y la regeneración natural del bosque secundario.
- Proteger la biodiversidad de ecosistemas, flora y fauna que alberga esta zona de regeneración.

6.2.4.2. *Descripción*

Abarca un 15,3% del área (0,66 ha). Se ubica en la región este del CEANA y corresponde al segundo estrato del bosque. Limita con la línea del tren, la zona de alta intervención y las áreas urbanizadas colindantes, convirtiéndolo en un fragmento boscoso de poca conectividad con otras zonas.

Esta zona es provisional, pues una vez avanzada su regeneración natural hacia estadios de sucesión de mayor madurez, pasará a ser parte de la zona de baja intervención.

6.2.4.3. *Prácticas de manejo sugeridas*

Se promueve prácticas silviculturales como el enriquecimiento de especies y la reforestación en zonas degradadas. Cualquier intervención debe ser realizada a través de criterios técnicos y bajo la tutela de un profesional en el manejo de recursos naturales.

6.2.4.4. *Actividades permitidas*

La investigación científica, manejo forestal con fines de restauración y conservación y la educación ambiental.

6.2.4.5. *Actividades no permitidas*

- No se permite el ingreso de personas a la zona sin la previa autorización de la administración del CEANA.
- No se permite la construcción de edificaciones, caminos o alguna otra infraestructura que impermeabilice el suelo e implique remoción de la cobertura forestal.

6.2.4.6. Controles de gestión

Es conveniente establecer al menos una parcela permanente de muestreo que permita evaluar el crecimiento del bosque periódicamente; así como la realización de inventarios periódicos de aves.

6.2.5. Zona de amortiguamiento

Según Artavia (2004), la zona de amortiguamiento es la zona más inmediata al área protegida, donde existe una dinámica socio ambiental y productiva en la cual las acciones realizadas ejercen una influencia sobre el área protegida, en este caso el CEANA. Con base en este principio, se establece que la zona de amortiguamiento del CEANA abarca aproximadamente 19,56 hectáreas y está dividida en dos subzonas: A) Protección absoluta del acuífero y B) Influencia comunitaria.

6.2.5.1. Subzona A: Protección absoluta del acuífero.

6.2.5.1.1. Objetivos de conservación y desarrollo

- Propiciar acciones dirigidas a la conservación, vigilancia, restauración de ecosistemas, capacitación de grupos y concientización de la comunidad sobre la importancia de proteger, resguardar y mantener libre de contaminantes la zona de protección absoluta del acuífero.

6.2.5.1.2. Descripción

En esta área se encuentran terrenos de propiedad privada ubicados sobre la zona de protección absoluta de recarga acuífera, la cual corresponde a 130 metros de ancho a cada lado y 660 metros de largo, a partir del tubo de flujo que influye en la descarga de la naciente (Ramos y Vargas, 2001). Se caracteriza por un uso del suelo dominado por potreros, cultivos y viviendas, con la presencia de algunos escasos parches boscosos (Guzmán y Díaz, 2007). Además, según los estudios de vulnerabilidad a la contaminación realizados por Ramos y Vargas (2001), la zona se clasifica como altamente vulnerable.

6.2.5.1.3. Prácticas de manejo sugeridas

- Se recomienda elaborar un plan de educación ambiental orientado principalmente a los vecinos, agricultores e industrias que poseen terrenos situados en esta zona y realizan actividades productivas que pueden poner en riesgo el acuífero.
- Se sugiere diseñar e implementar un plan de reforestación que propicie la recarga hídrica en la zona y atraiga la biodiversidad en el sitio, esto vinculado al plan de educación ambiental comunitaria y en alianza con vecinos e industria.

6.2.5.1.4. Actividades recomendadas y no recomendadas

Según recomiendan los estudios técnicos de Ramos y Vargas (2001), en esta subzona solo se debería permitir la reforestación y educación ambiental con fines de protección al recurso hídrico; ningún otro tipo de actividad productiva debería ser realizada aquí. Por tanto, se recomienda identificar aquellas actividades y posibles riesgos inmediatos que pueden afectar el acuífero para ser tratados con la comunidad y en conjunto con otras instituciones del Estado.

6.2.5.2. Subzona B: Influencia comunitaria.

6.2.5.2.1. Objetivos de conservación y desarrollo

- Establecer una integración del CEANA con las comunidades aledañas mediante el desarrollo de actividades recreativas y de educación ambiental.
- Promover alianzas y prácticas ambientales sostenibles en las comunidades aledañas al CEANA.

6.2.5.2.2. Descripción

El área abarca la zona sur de franja ribereña del río Arriaz colindante a la autopista Florencio del Castillo, el condominio Villa Real, un lote donde se ubica la antigua fábrica de gelatinas, algunas casas al este del CEANA y un área de la línea del tren colindante a un charral arbolado. Esta subzona se caracteriza por estar ocupada por asentamientos urbanos, los cuales tienen una influencia directa sobre el CEANA al ubicarse en sus bordes; por tanto, las prácticas ambientales realizadas por los ciudadanos incidirán sobre el Complejo.

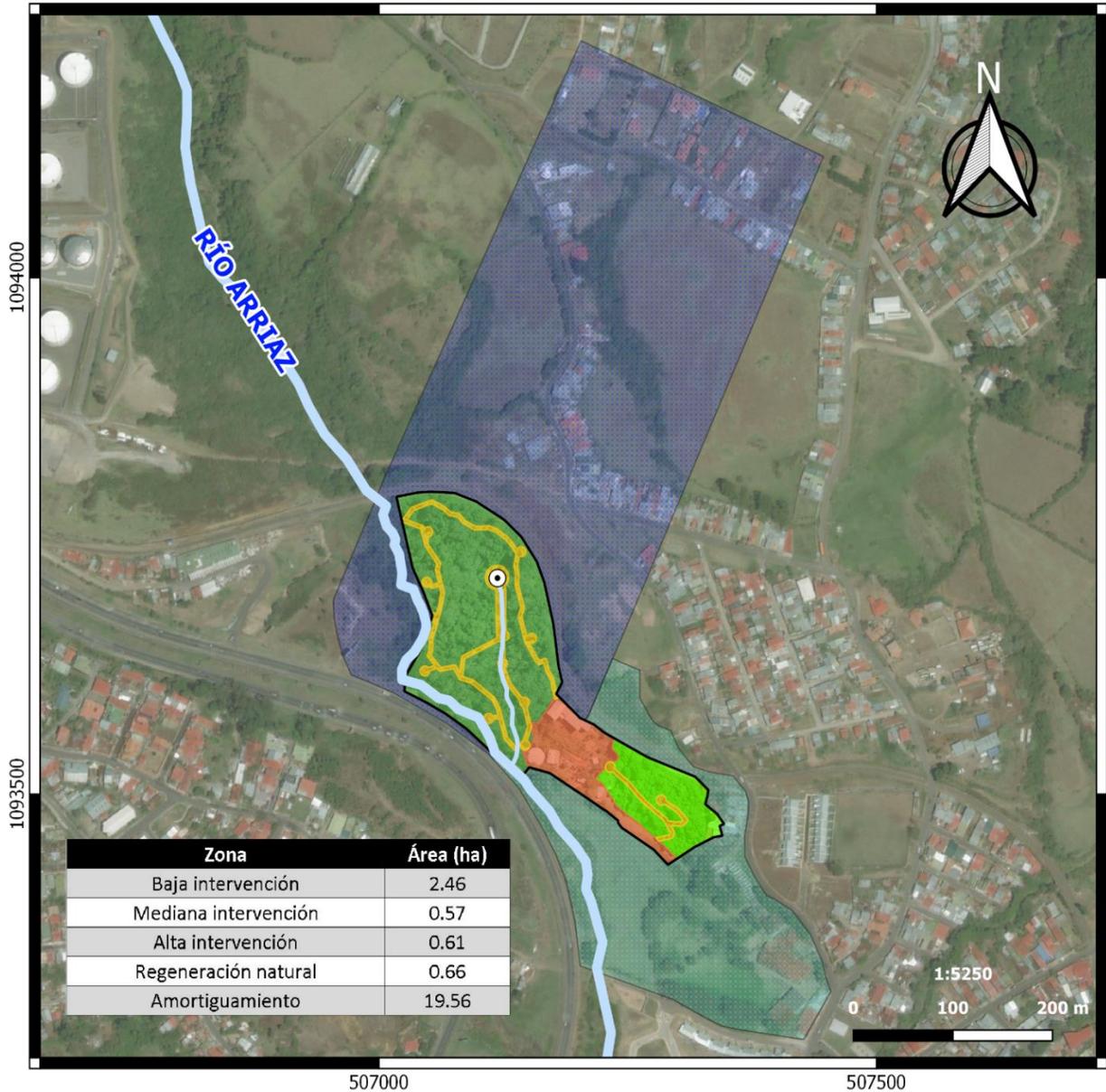
6.2.5.2.3. Prácticas de manejo sugeridas

Se sugiere diseñar un plan de reforestación en conjunto con la comunidad para la siembra de especies nativas en la ribera del río Arriaz y en la región norte del CEANA colindante con la línea del tren.

6.2.5.2.4. Actividades recomendadas y no recomendadas

Se recomienda elaborar un plan de educación ambiental comunitaria enfocado en prácticas sostenibles de manejo de desechos sólidos y conservación del recurso hídrico, así como actividades recreativas que involucren más la comunidad con el CEANA.

Zonificación Complejo Educativo Ambiental Naciente Arriaz (CEANA)



Simbología

- Naciente Arriaz
- Límites del CEANA
- Zona de baja intervención
- Zona de mediana intervención
- Zona de alta intervención
- Zona de regeneración natural
- Zona de amortiguamiento
- A. Protección absoluta del acuífero
- B. Influencia comunitaria

Elaborado por:
Leonardo Castro Barrantes.
 Fecha: Agosto, 2019.
 Sistema de Proyección: CRTM05.
 Datum: WGS84.
 Fuente: Datos de campo y
 Municipalidad de Cartago.



Figura 7. Propuesta de zonificación ambiental del CEANA.

6.3. Capacidad de carga de los senderos

6.3.1. Capacidad de Carga Física (CCF)

Para el cálculo de la capacidad de carga física se considera que:

- El CEANA está abierto en un horario semanal de lunes a viernes, donde algunos sábados ocasionalmente se abrirá para impartir talleres, pero no para el ingreso a los senderos. El horario de visitación a sus senderos es de 8 a.m a 1:00 p.m.
- Una persona necesita 1 metro para moverse dentro del sendero.

El Cuadro 7 muestra los resultados obtenidos de CCF para los tres senderos del CEANA:

Cuadro 7. Capacidad de carga física (CCF) de los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Parámetro	Descripción	Senderos		
		Puente de Arco	Naciente Arriaz	Bosque en Regeneración
<i>S</i>	Longitud del sendero (metros)	530	342	230
<i>N_v</i>	Número de veces que el sendero puede ser visitado por una persona al día (visitas/día/visitante)	6	7	12
<i>t_v</i>	Tiempo necesario para visitar el sendero (horas)	0,87	0,72	0,41
CCF	Capacidad de carga física (visitas/día)	3058	2386	2760

Los datos obtenidos de capacidad de carga física indican el límite máximo de visitas considerando solamente el espacio disponible, el tiempo de visita y la necesidad de espacio del visitante

(Cifuentes et. al., 1999). La CCF es muy específica de cada sitio y dependiente del Nv, como de la longitud del sendero; sin embargo, si se comparan estos valores con estudios como los realizados por Solís, Aponte y Palacios (2013) en senderos con longitudes menores a 1 km, se obtuvieron valores similares de CCF. Barbosa y Sáenz (2019) también señalan que los valores de CCF indican que el sendero tiene una capacidad amplia para el tránsito de visitantes en el tiempo señalado, sin embargo, nunca debe ser empleado como resultado final para el manejo pues no considera los factores limitantes en los mismos.

6.3.2. Capacidad de Carga Real (CCR)

6.3.2.1. Factor vulnerabilidad hídrica (FCvh)

El Cuadro 8 muestra los resultados obtenidos para el sendero Puente de Arco y sendero Naciente Arriaz:

Cuadro 8. Factor de vulnerabilidad hídrica (FCvh) para los senderos Puente de Arco y Naciente Arriaz de CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Parámetro	Descripción	Senderos	
		Puente de Arco	Naciente Arriaz
<i>mva</i>	Metros de sendero en zonas de vulnerabilidad alta (m)	51,4	158,7
<i>mvm</i>	Metros de sendero en zonas de vulnerabilidad media (m)	206,5	48
FCvh	Factor vulnerabilidad hídrica	0,46	0,16

El factor vulnerabilidad hídrica fue diseñado para restringir más la visitación del CEANA, pues considera los efectos e impactos causados por la actividad turística o recreacional hacia el agua, basándose en las perspectivas y dimensiones ecológicas de la capacidad de carga (Álvarez, 2010). A pesar de haberse realizado estudios de capacidad de carga en áreas protegidas de alta importancia hídrica (Vasconcelos y Câmara, 2012; Ceballos, 2018), y/o destinadas a la producción de agua para consumo humano combinadas con ecoturismo (Maldonado y

Montagnini, 2001) no se ha reportado la aplicación de un factor limitante que restrinja el número de visitantes debido a la vulnerabilidad hídrica a la que se encuentran expuestas quebradas, ríos y/o nacientes por la permanencia y tránsito de personas en áreas de uso público como senderos colindantes a los cuerpos de agua.

El CEANA particularmente se caracteriza por ser un espacio natural de muy alta vulnerabilidad hídrica: de la naciente Arriaz depende el abastecimiento de agua potable de los poblados aledaños, el área boscosa del CEANA se encuentra totalmente fragmentada, el río que lo drena está bajo condiciones de contaminación severa y además la zona de protección absoluta del acuífero se encuentra inmersa en una matriz de uso del suelo totalmente alterada y con muy escasa cobertura forestal. Esta serie de elementos que exponen la vulnerabilidad del CEANA son considerados a través del factor de vulnerabilidad hídrica, que fue diseñado bajo el principio expuesto por Cifuentes (1992): “los factores de corrección definidos en cada estudio van en función de las características particulares del sitio”. Así lo demuestran estudios como los de Amador et. al., (1996) y Aranguren et. al., (2008) que incluyen factores muy específicos relacionados a espacios naturales singulares, como influencia de mareas (FCim) y tormentas (FCtormentas).

Los senderos Puente de Arco y Naciente Arriaz están ubicados en áreas colindantes o muy cercanas a los cuerpos de agua del CEANA. Cualquier actividad realizada al interior o adyacente a una zona ribereña tiene el potencial de impactar negativamente la calidad del agua, el hábitat terrestre y acuático, y las funciones ecológicas de las franjas ribereñas; esto incluye el mantenimiento de caminos o senderos y el desarrollo recreacional (Phillips, Swift y Blinn, 2000; Cepeda y Navarro, 2010). Para este estudio el valor de FCvh obtenido para el sendero Naciente Arriaz (0,16) es el más restrictivo, esto porque comprende tramos de sendero donde habrá visita al área de captación del CEANA, el recurso más sensible de todo el CEANA.

En el caso del sendero Bosque en Regeneración se considera un FCvh de 1, pues no se ubica en áreas de vulnerabilidad hídrica media o alta.

6.3.2.2. Factor erodabilidad (FCero)

El Cuadro 9 muestra los valores obtenidos para el cálculo del FCero para los senderos Puente de Arco y Bosque en Regeneración del CEANA:

Cuadro 9. Factor de erodabilidad (FCero) para los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Parámetro	Descripción	Senderos	
		Puente de Arco	Bosque en Regeneración
<i>mea</i>	Metros de sendero con erodabilidad alta (m)	67,8	38,6
<i>mem</i>	Metros de sendero con erodabilidad media (m)	185,3	28,9
FCero	Factor de erodabilidad	0,46	0,62

El factor de erodabilidad considera el riesgo que puede tener el sendero a la erosión, esto producto de procesos erosivos como escorrentía y compactación (Cifuentes, 1992). Los suelos del CEANA están conformados principalmente por una textura de limo y arcilla. Estos pueden ser muy vulnerables a la erosión, principalmente en sitios de muy alta pendiente (Chehébar, 2004); sin embargo, las pendientes en los senderos del CEANA no sobrepasan el 45%, y son en tramos muy cortos, lo que evita estar expuestos a un nivel alto de erosión.

El factor obtenido para el sendero Puente de Arco (0,46) es el más restrictivo, pues presenta un tramo de pendiente de 45% al inicio del sendero; por el otro lado, el sendero Bosque en Regeneración (0,62), no posee pendientes escarpadas lo que evita estar expuesto a procesos erosivos significativos.

Para el sendero Naciente Arriaz se determina que el factor de erodabilidad es 1, es decir, no hay riesgo de erosión. Sus tramos poseen pendientes inferiores al 15% y la mayoría de metros de sendero están contruidos en cemento o piedra, lo que evita al sendero estar sujeto a procesos de erosión por compactación.

6.3.2.3. Factor accesibilidad (FCacc)

El Cuadro 10 muestra los valores obtenidos para el cálculo del FCacc:

Cuadro 10. Factor de accesibilidad (FCacc) para los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Parámetro	Descripción	Senderos		
		Puente de Arco	Naciente Arriaz	Bosque en Regeneración
<i>mda</i>	Metros de sendero con dificultad alta (m)	67,8	0	38,6
<i>mdm</i>	Metros de sendero con dificultad media (m)	185,3	37,6	28,9
FCacc	Factor de accesibilidad	0,46	0,89	0,62

El factor accesibilidad considera el grado de dificultad que podrían tener los visitantes para desplazarse en el sendero debido a la pendiente (Cifuentes et. al., 1999).

El sendero más restrictivo es el Puente de Arco (0,46), pues posee pequeños tramos con una dificultad alta de desplazamiento, a pesar de haber sido construidas barandas y gradas en estos tramos para facilitar a los usuarios el desplazamiento. Sin embargo, en términos de accesibilidad no se recomienda para usuarios con algún tipo de movilidad reducida; según Hernández y Borau (2017), la inclinación máxima para que los senderos de cualquier zona natural sean practicables para cualquier persona es del 10%, pendientes superiores plantean una serie de dificultades que pueden poner en riesgo a los usuarios. Es precisamente debido a esto, que se debe informar al principio de los recorridos sobre la pendiente y longitud máxima de los senderos.

El sendero más accesible y recomendable para usuarios con algún tipo de problema de movilidad es el Sendero Naciente Arriaz. Se obtuvo un valor de 0,89, esto se debe a su fácil acceso y desplazamiento pues posee pendientes muy leves que no superan el 15%.

6.3.2.4. Factor precipitación (FCpre)

El Cuadro 11 muestra los valores obtenidos para el cálculo del FCpre:

Cuadro 11. Factor de precipitación (FCpre) para los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Parámetro	Descripción	Valor	FCpre
<i>hl</i>	Horas de lluvia limitantes por año (horas/año).	180	0,85
<i>ht</i>	Horas al año que el CEANA está abierto (horas/año).	1200	

El factor de precipitación impide la visita normal, debido a que la gran mayoría de visitantes no está dispuesto a hacer caminatas bajo la lluvia (Cifuentes, 1992). Además, restringe las visitas a los senderos por razones de seguridad; al haber eventos de precipitación aumenta el riesgo de caída de árboles o ramas dentro del bosque.

Según los datos climatológicos obtenidos en la estación ITCR por el Instituto Meteorológico Nacional (2019), la época de precipitación en la región abarca un periodo de 9 meses (de mayo a diciembre); esto por ser los meses de mayor registro de precipitación y días con lluvia. Durante este periodo existe en promedio un total de 180 días con lluvia y estas se dan generalmente en horas de la tarde (después de medio día). Considerando el horario de visita del CEANA (8:00 a.m. a 1:00 p.m.), se asume 1 hora de lluvia por día, lo que no restringe considerablemente la visita de sus senderos.

6.3.2.5. Factor cierres temporales (FCtem)

El Cuadro 12 muestra los valores obtenidos para el cálculo del FCtem:

Cuadro 12. Factor de cierres temporales (FCtem) para los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Parámetro	Descripción	Valor	FCtem
<i>hc</i>	Horas al año que el CEANA está cerrado dentro de su horario de visitación (horas/año).	42	0,97
<i>ht</i>	Horas al año que el CEANA está abierto (horas/año).	1200	

Este factor considera las restricciones de visitación temporales que pueden ocurrir por razones de mantenimiento o manejo (Cifuentes, 1992). En el caso del CEANA, el factor obtenido para los tres senderos es poco restrictivo (0,87); este factor considera el cierre por días feriados. En Costa Rica por ley se contabilizan en total 11 días feriados, sin embargo, los mismos no corresponden a días hábiles de trabajo (lunes a viernes) todos los años; siendo así, se asume un total de 8 días feriados para el cálculo de este factor, lo que corresponde al promedio de días feriados en días hábiles de trabajo de los próximos 5 años (periodo del 2020 al 2025).

6.3.2.6. Factor anegamiento (FCane)

El Cuadro 13 muestra los resultados obtenidos para el factor de anegamiento (FCane):

Cuadro 13. Factor de anegamiento (FCane) para el Sendero Naciente Arriaz, CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Parámetro	Descripción	Valor	FCane
<i>ma</i>	Metros de sendero con problemas de anegamiento (m)	50	0,85
<i>mt</i>	Metros totales de sendero (m)	342	

El factor de anegamiento toma en consideración sitios inundables o donde el agua puede estancarse, dificultando el paso por el sendero y favoreciendo la erosión del mismo (Cifuentes et. al., 1999). Este factor solamente se calculó para el sendero Naciente Arriaz (0,85), pues es el único sendero que posee un tramo con riesgo de sufrir anegamiento. Este tramo se ubica

específicamente en una poza creada artificialmente, por donde el agua de la naciente Arriaz fluye quebrada abajo y está instalada una estación de interpretación.

Para los senderos Puente de Arco y Bosque en Regeneración se considera un FCane de 1, pues no existen tramos de sendero con riesgo de anegamiento.

6.3.2.7. Resultados de Capacidad de Carga Real (CCR)

El Cuadro 14 resume los factores de corrección aplicados a cada uno de los senderos y sus respectivos valores de capacidad de carga real (CCR):

Cuadro 14. Factores de corrección y capacidad de carga real (CCR) de los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Factor	Descripción	Senderos		
		Puente de Arco	Naciente Arriaz	Bosque en Regeneración
<i>FCvh</i>	Factor vulnerabilidad hídrica	0,46	0,16	1
<i>FCero</i>	Factor erodabilidad	0,46	1	0,62
<i>FCacc</i>	Factor accesibilidad	0,46	0,89	0,62
<i>FCpre</i>	Factor precipitación	0,85	0,85	0,85
<i>FCtem</i>	Factor cierres temporales	0,97	0,97	0,97
<i>FCane</i>	Factor anegamiento	1	0,85	1
CCR	Capacidad de Carga Real (visitas/día)	245	243	878

Los valores obtenidos de CCR muestran que los senderos con mayores limitantes ambientales corresponden al sendero Puente de Arco (245 visitas/día), el cual está más restringido por los factores de vulnerabilidad hídrica, erodabilidad y accesibilidad; y el sendero Naciente Arriaz (243 visitas/día), el cual está muy restringido principalmente por el factor de vulnerabilidad hídrica. En el caso del sendero Bosque en Regeneración, existe una mayor capacidad de carga real (878 visitas/día), debido a sus características que lo ubican en un sitio con menor vulnerabilidad hacia cuerpos de agua y con pendientes poco escarpadas.

Estudios como los de Cifuentes et. al., (1999), Soria (2013), Barbosa y Sáenz (2019), determinan que el factor de mayor influencia en sus estudios es el factor social; sin embargo, para el CEANA este factor no fue aplicado debido a que el mismo evalúa la calidad de las visitas considerando choques entre grupos, condición que no ocurriría en el CEANA debido a sus características que restringen las visitas a un único grupo a la vez en los senderos.

6.3.3. Capacidad de Manejo (CM)

El Cuadro 15 muestra los resultados obtenidos de Capacidad de Manejo de los tres senderos del CEANA:

Cuadro 15. Capacidad de manejo (CM) de los tres senderos del CEANA, Quircot, Cartago, Costa Rica.

Variable	Valor
Infraestructura	0,96
Equipo	0,93
Personal	0,41
Promedio	0,77
Capacidad de Manejo (CM)	77%

Se obtuvo una capacidad de manejo del 77%, lo que representa una calificación “Satisfactoria”, según los criterios de evaluación de la capacidad de manejo (Cifuentes et. al., 1999). Esto implica que el CEANA tiene las condiciones adecuadas para recibir visitantes, pues no es un factor muy restrictivo (Soria, 2013). Referente a las variables infraestructura y equipamiento no existen deficiencias relevantes, pues al tratarse de un sitio nuevo, la mayoría de equipo e infraestructura se encuentra en excelente estado, cuenta con una localización ideal y en las cantidades óptimas. Las principales fallas en la Capacidad de Manejo están relacionadas con la variable personal, la cual posee una calificación “poco satisfactoria”. Según la información recopilada durante la entrevista con el Ing. Julio Urbina (Comunicación personal, 01 de octubre de 2019), la adición de más trabajadores para que lleven a cabo las labores de educación ambiental y gestión en el CEANA, aumentaría la Capacidad del Manejo a los niveles óptimos.

6.3.4. Capacidad de Carga Efectiva (CCE) y límite máximo de visitantes

El Cuadro 16 muestra los resultados obtenidos de CCE y el límite máximo de visitantes por día, mes y año:

Cuadro 16. Capacidad de Carga Efectiva y límite máximos de visitantes por día, mes y año en el CEANA, Quircot, Cartago.

Factor	Descripción	Senderos		
		Puente de Arco	Naciente Arriaz	Bosque en Regeneración
<i>CCE</i>	Capacidad de carga efectiva (visitas/día)	162	180	649
<i>vmaxd</i>	Número máximo de visitantes por día	28	25	54
<i>vmaxm</i>	Número máximo de visitantes por mes	560	500	1080
<i>vmaxa</i>	Número máximo de visitantes por año	6720	6000	12960

Según los resultados obtenidos, el número máximo de visitantes que debe admitirse por día para los senderos Puente de Arco, Naciente Arriaz y Bosque en Regeneración, es de 28 visitantes, 25 visitantes y 54 visitantes, respectivamente. Estos resultados no deben ser interpretado como una garantía en la sostenibilidad del ecosistema, sino como una herramienta de planificación y manejo que permite aproximar la intensidad de uso de los senderos, permitiendo un desarrollo de las actividades de educación ambiental de una manera adecuada y según las capacidades del ecosistema (Cifuentes et. al., 2019, Dias, Körössy y Selva, 2012; Barbosa y Sáenz, 2019). Además, es de suma importancia considerar que la capacidad de carga siempre es variable, por lo tanto, estudios de capacidad de carga deben ser actualizados periódicamente con el objetivo de mantener estándares de sostenibilidad y una correcta gestión en el CEANA.

6.4. Interpretación ambiental de los senderos

6.4.1. Diagnóstico de los senderos

Del recorrido por los tres senderos, se inventariaron en total 22 atractivos con potencial interpretativo. Del total se seleccionaron 16 recursos para el establecimiento de las estaciones de interpretación y la creación del plan interpretativo (Figura 8).

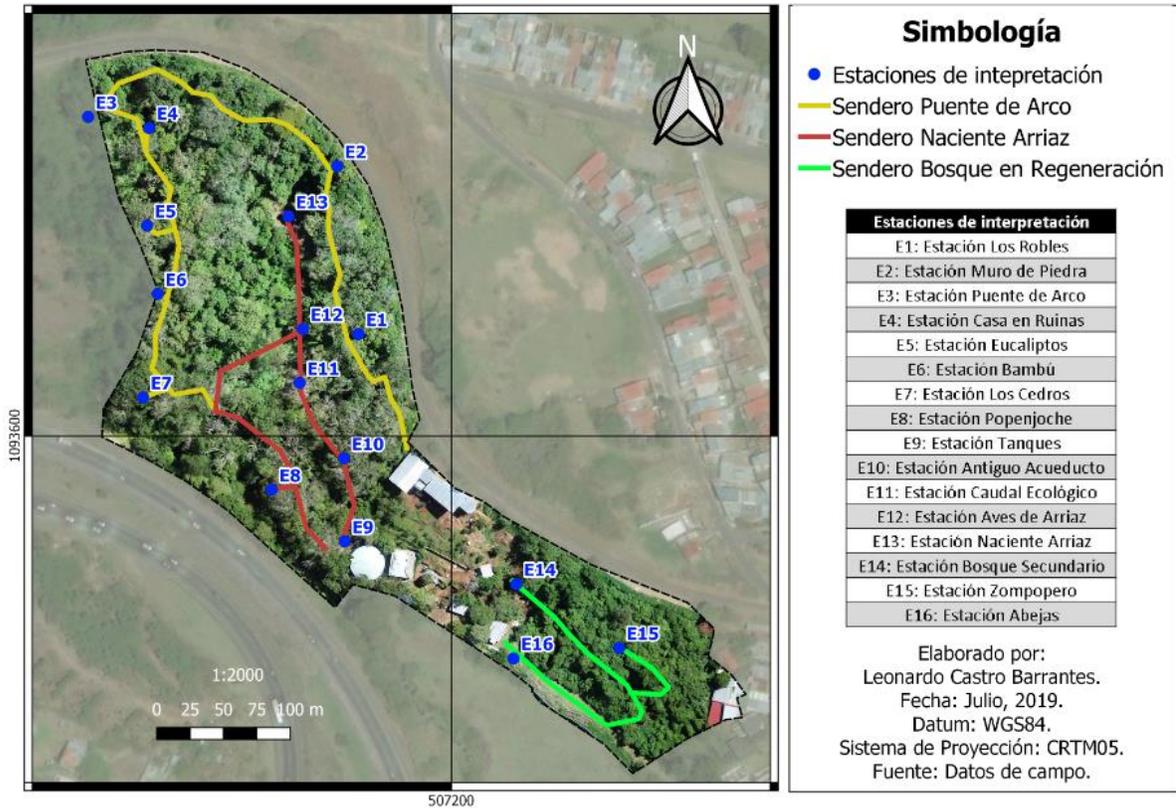


Figura 8. Estaciones de interpretación ambiental del CEANA.

6.4.2. Plan de interpretación

El plan de interpretación consiste en recorridos guiados por los senderos en compañía de un educador ambiental, en los cuales habrá paradas en cada una de las 16 estaciones interpretativas. La temática principal a abordar es “La conservación del recurso hídrico y la importancia del bosque en el ciclo del agua”; esta es abarcada desde diversos enfoques o temáticas que tienen estrecha relación con el ciclo del agua y sus procesos, la degradación de las cuencas hidrográficas, la erosión, la contaminación del agua, la flora y fauna del CEANA, la ecología y conservación

de bosques y sus servicios ecosistémicos. Además, en algunas estaciones se discuten como subtemas recursos históricos y naturales ubicados en los senderos que son abordados en el contexto de la temática principal, como antiguos acueductos, sistemas de potabilización, muros de contención, bosques secundarios, entre otros.

El perfil de los visitantes que visitará el CEANA abarca desde niños hasta adultos mayores; se recibirán grupos de escuelas, colegios, universidades, empresas, asociaciones de desarrollo y diversas instituciones donde las charlas serán adaptadas al tipo de público, pero siempre transmitiendo el mismo mensaje en cada estación interpretativa.

Cada estación contará con un rótulo informativo de 120x80 cm que posee elementos gráficos y texto muy conciso que apoyan la charla del educador ambiental y están adaptados al perfil de todos los visitantes, de manera que el educador ambiental traducirá el mensaje según el tipo de público presente.

A continuación, se describe cada una de las 16 estaciones de interpretación:

A. Estación 1: Los robles.

Tema: El ciclo del agua.

Mensaje a transmitir: “El ciclo del agua describe el movimiento continuo y cíclico del agua en nuestro planeta. Este movimiento cíclico se da a través de los procesos de evaporación, condensación, precipitación, infiltración, intercepción, escorrentía y evapotranspiración.

El Sol calienta los reservorios de agua de la superficie terrestre y convierte el agua líquida al estado gaseoso, pasándola a la atmósfera (evaporación). Además, el agua retenida en el follaje de los árboles y también es transpirada por las plantas también sube a la atmósfera (evapotranspiración). Seguidamente, en la atmósfera el vapor de agua se enfría y condensa en gotas que forman nubes (condensación). Cuando las gotas de las nubes se tornan pesadas, estas empiezan a caer a la superficie en forma de lluvia, nieve o granizo (precipitación). El agua precipitada se distribuye de varias formas. Una porción de agua es captada por el follaje de los árboles y nunca llega a tocar el suelo (intercepción), pues posteriormente se evapora; otra penetra

por debajo de la tierra y se mueve lentamente por las capas del suelo (infiltración) hasta llegar a aguas subterráneas o ser parte de la humedad del suelo. Otra porción de agua fluye por las laderas hasta llegar a cursos de agua como los ríos y quebradas, los cuales desembocan en grandes reservorios como lagos y océanos (escorrentía). Siendo así, el ciclo se repite nuevamente”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: De Miguel et. al. (2009); Chang (2013).

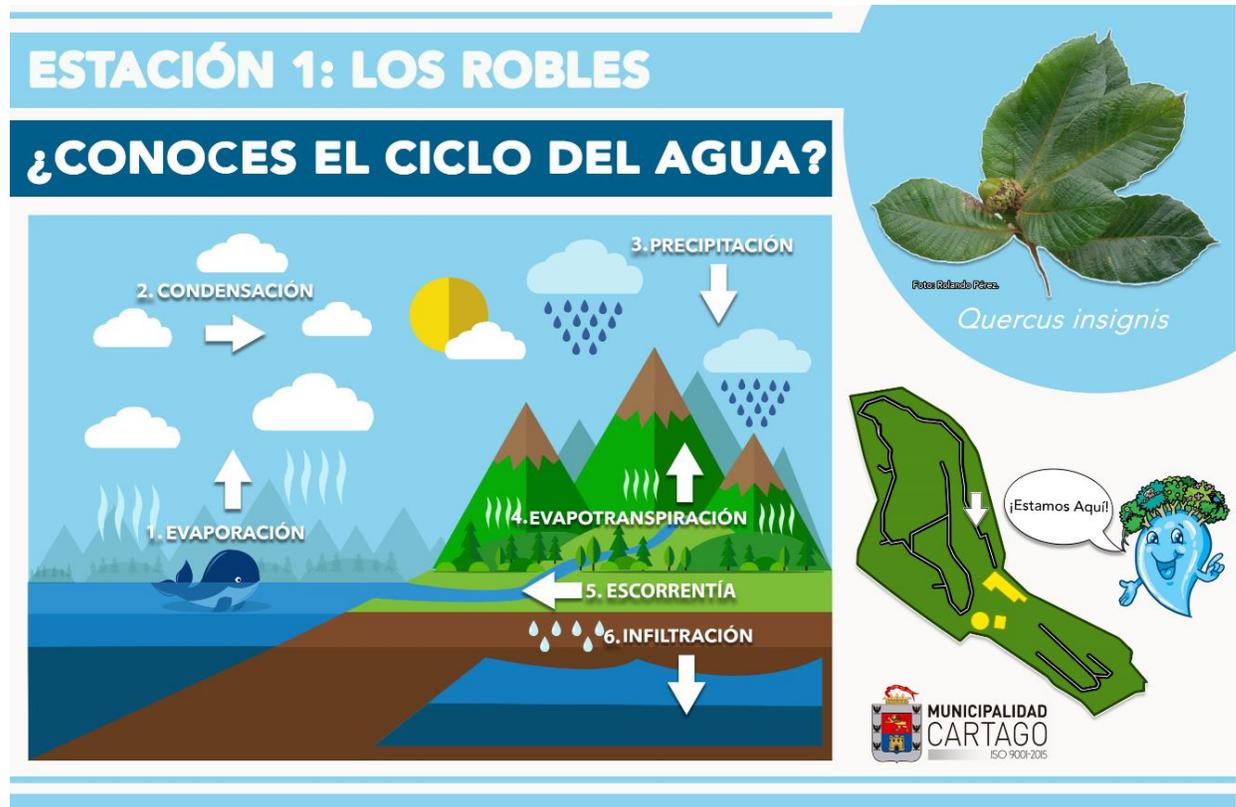


Figura 9. Rótulo estación Los Robles.

B. Estación 2: Muro de piedra.

Tema: La infiltración y la escorrentía.

Subtema: Elemento histórico “Muro de Piedra” y obras de conservación del suelo.

Mensaje a transmitir: “El agua de lluvia que llega al suelo puede ser parcialmente o totalmente absorbida en el proceso de infiltración. Esta agua penetra por el suelo hacia capas subterráneas

hasta encontrar una última capa rocosa, por la cual no podrá infiltrarse más y pasará a formar parte de las aguas subterráneas o acuíferos. Cuando el suelo no puede absorber más agua, pues se encuentra saturado o existe una capa impermeable, el agua circula y escurre por el suelo hasta llegar a los cauces de los ríos y quebradas; esto implica que el agua arrastra todo lo que haya a su paso, incluyendo todo tipo de contaminantes y basura.

Cuando se deforesta, cambiando la cobertura forestal por otro tipo de uso del suelo (como ocurrió en esta zona años atrás para construir la infraestructura por donde circula el tren), hay una influencia directa en los procesos de infiltración y escorrentía. Al no existir una capa vegetal que intercepte el agua de lluvia, y al crearse una capa impermeable en el suelo (que evita que el agua infiltre), existe una mayor cantidad de agua que escurre a gran velocidad, lo que aumenta el riesgo de erosión, y a su vez desestabiliza el suelo. Siendo así, fue necesario la construcción de obras para la conservación del suelo, como es el caso del muro de contención. Este muro fue construido muchos años atrás durante el periodo del ferrocarril, con la principal función de estabilizar el suelo en esta ladera y reducir los efectos erosivos producidos por la escorrentía superficial.

Siempre debemos recordar que al haber cobertura forestal siempre habrá mayor infiltración y menor escorrentía; mientras que, si la removemos e impermeabilizamos el suelo, habrá mayor escorrentía y menor infiltración”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: García, Zamora y Bilbao (2011); Gómez et. al. (2011); Chang (2013).



Figura 10. Rótulo estación Muro de Piedra.

C. Estación 3: Puente de Arco.

Tema: La degradación de las cuencas hidrográficas.

Subtema: Elemento histórico “Puente de Arco”.

Mensaje a transmitir: “El puente de arco fue creado a finales del siglo XIX exclusivamente como paso del ferrocarril por el río Arriaz. El ferrocarril atravesaba gran parte de la cuenca del río Reventazón transportando café y banano hacia el puerto de Limón. Hoy en día este puente es un paso por el cual transita el tren que conecta las ciudades de Cartago y San José, permitiendo movilizarnos para nuestras actividades cotidianas y productivas.

Todas estas actividades ocurren desde hace muchos años atrás dentro de esta cuenca, pero, ¿Qué es una cuenca hidrográfica? Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales que están

delimitados por las partes altas de las montañas, donde gran parte del agua llovida se escurre y fluye hacia un mismo punto en común, desembocando en un afluente más grande, una laguna o el mar. Por ejemplo, nosotros ahora estamos ubicados en la cuenca del río Reventazón; toda el agua que llueve y se escurre por los ríos desde la parte alta de la montaña, baja pasando por la ciudad y los poblados hasta llegar a un punto en común: el río Reventazón. Este río desembocará con todas sus aguas en el Mar Caribe. El sucio río que tenemos al lado, el río Arriaz, se encuentra seriamente contaminado por residuos industriales, domésticos, de agroquímicos y de todas aquellas personas que arrojan irresponsablemente desechos sólidos y líquidos en su caudal. Tristemente, todos esos contaminantes serán conducidos hacia el río Reventazón, quien lo drenará hasta el mar.

De la cuenca del río Reventazón producimos casi el 40% de la energía eléctrica del país, producimos alimentos como hortalizas, tubérculos, caña, café, leche y carne; y además nos abastecemos de agua potable. Tenemos que ser conscientes de que las cuencas hidrográficas son nuestro hogar y todo lo que ocurre en ellas nos afecta directamente. Cualquier acción que hagamos en contra del agua y nuestro medio ambiente nos lo hacemos a nosotros mismos”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: López y Patrón (2013); Ballesteros y López (2017).



Figura 11. Rótulo estación Puente de Arco.

D. Estación 4: Casa en ruinas.

Tema: La fragmentación de los bosques.

Subtema: Elemento histórico ruinas de la casa del antiguo “Guardián de la Naciente”.

Mensaje a transmitir: “Desde el año 1902 se utiliza la naciente Arriaz para abastecer de agua a las comunidades aledañas. En este sitio yacen las ruinas de lo que solía ser la casa del “Guardián de la Naciente”, quien a lo largo de muchos años consiguió proteger el bosque que resguarda este recurso. Con el paso de los años, el vasto bosque que resguardaba la naciente Arriaz se fue minimizando y convirtiendo en una isla; una isla en un mar de urbanizaciones, carreteras, industrias y agricultura.

El bosque del CEANA sufrió un proceso conocido como “fragmentación”. Este ocurre cuando el ser humano deforesta el bosque a beneficio, cambiando el uso del suelo para abrir tierras de cultivos, pastizales para el ganado o dar paso al desarrollo urbano; dejando solamente parches boscosos aislado de otros. Es exactamente lo que ocurre en el CEANA, pues su bosque no se encuentra conectado en ninguno de sus límites con algún otro parche boscoso. Al ocurrir este fenómeno de fragmentación, se desencadena una serie de modificaciones ecológicas que alteran la biodiversidad, la flora y fauna, los suelos y el agua.

La fauna se vuelve muy vulnerable a este proceso, pues se está reduciendo el tamaño de su hábitat disponible para vivir, alimentarse y reproducirse; lo que puede ocasionar procesos de desaparición y extinción de especies. A pesar del CEANA ser un parche boscoso aislado, muchas especies de aves e inclusive mamíferos visitan este sitio como un lugar de paso para alimentarse o buscar refugio. De ahí la importancia de reforestar y buscar conectar fragmentos boscosos como el CEANA con otros bosques de mayor tamaño para poder garantizar la supervivencia de la vida silvestre”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: Guariguata y Kattan (2002); Santos y Tellería (2006).

ESTACIÓN 4: CASA EN RUINAS

¡EL CEANA ES UN FRAGMENTO BOSCO SO QUE DEBEMOS DE PROTEGER!



Foto: Masami Sato.
Ruinas de la casa del antiguo
"Guardián de la Naciente".



Figura 12. Rótulo estación Casa en Ruinas.

E. Estación 5: Los eucaliptos.

Tema: La intercepción de precipitación

Subtema: Especies exóticas y nativas.

Mensaje a transmitir: “Dentro del CEANA existen alrededor de 28 especies de árboles. La mayoría nativas como el Sotacaballo y algunas exóticas como el Eucalipto. Una especie exótica es aquella que fue introducida de un país extranjero o fuera de su rango de distribución natural, mientras que una especie nativa es aquella que es originaria del país o región donde está situada. A pesar de ser originarias de diferentes sitios, el Sotacaballo y el Eucalipto están cumpliendo un papel fundamental en el CEANA, están protegiendo y estabilizando el suelo de la ribera del río Arriaz con sus enormes raíces y además cumpliendo un papel esencial en el ciclo del agua: interceptan el agua de lluvia.

La intercepción de precipitación es el agua atrapada y retenida en la vegetación, follaje y tallos que no llega al suelo. Esta agua interceptada se evaporará directamente hacia la atmósfera y por tanto no llegará a las aguas subterráneas o a los ríos y lagos. Esto es de suma importancia, pues estos árboles están regulando el caudal de los ríos y evitando procesos erosivos producto del agua de escorrentía. Al ser dos especies diferentes, también interceptan distintas cantidades de agua, pues sus formas de copa, tamaño de hojas y follaje influyen en el proceso.

En bosques tropicales, aproximadamente el 15% de agua precipitada se recupera a la atmósfera a partir de la evaporación del agua que ha sido interceptada. Siendo así, una especie nativa o exótica, está cumpliendo un papel fundamental en el ambiente, ayudando a mantener un equilibrio en el ecosistema y en el ciclo del agua”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: Guariguata y Kattan (2002); Chaves (2005); Carvajal y Alvarado (2012).



Figura 13. Rótulo estación Eucaliptos.

F. Estación 6: Bambú.

Tema: El bambú y sus usos.

Mensaje a transmitir: “Dentro de los servicios ecosistémicos que nos brinda el bosque y sus especies, está el control de la erosión y estabilización de los suelos. Esta especie de bambú nativa de la zona (*Chusquea pittieri*) está cumpliendo un papel fundamental al estabilizar el suelo de la ribera del río con sus raíces. Además de cumplir esta función, el bambú proporciona múltiples beneficios a la sociedad; absorbe el dióxido de carbono de la atmósfera y lo almacena en su culmo, el cual puede ser utilizado para la construcción de muebles, cabañas, puentes, muros, instrumentos musicales, pisos y muchos otros objetos y utensilios. La fibra del bambú también se utiliza para producir papel, carbón, canastos e inclusive vinagre. Y sus hojas pueden ser utilizadas para artesanías y decoración”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: Mejía et. al. (2009).



Figura 14. Rótulo estación Bambú.

G. Estación 7: Los Cedros.

Tema: La evapotranspiración.

Subtema: El árbol de cedro dulce.

Mensaje a transmitir: “Estamos bajo la sombra de dos frondosos árboles de cedro dulce (*Cedrela tonduzii*). La bella madera de esta especie ha sido utilizada tradicionalmente en Costa Rica durante muchos años para la construcción de puertas y muebles, un beneficio extra que aporta el bosque a la sociedad, y que cuando lo utilizamos sosteniblemente nos beneficiamos de forma colectiva.

Estos cedros, al igual que el resto de especies del bosque, están actuando activamente dentro del ciclo del agua en este momento. Al igual que el ser humano, las plantas y árboles también transpiran o sudan. Las plantas toman agua del suelo a través de sus raíces, utilizan una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran. En las hojas de las plantas se encuentran pequeñas estructuras similares a los poros denominados estomas; a través de las estomas se da el intercambio gaseoso (se absorbe dióxido de carbono y se libera oxígeno) y la transpiración en las plantas, así el agua regresa nuevamente a la atmósfera en forma gaseosa. Cerca de un 50% del agua precipitada en bosques tropicales es recuperada a la atmósfera nuevamente a través de la evapotranspiración. La evapotranspiración es el proceso de recuperación de agua a la atmósfera producto de los procesos de evaporación del agua interceptada y el agua que se pierde por la transpiración de las plantas”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: Guariguata y Kattan (2002); Caballero y Roca (2018).



Figura 15. Rótulo estación Los Cedros.

H. Estación 8: Popenjoche.

Tema: Los ecosistemas ribereños.

Subtema: El árbol de popenjoche.

Mensaje a transmitir: “Hace algunos años alguien decidió plantar unos pequeños árboles de Popenjoche en la ribera de este río. Hoy podemos observar que esos árboles son grandes colosos que están resguardando el río Arriaz. El *Pachira aquatica* (que literalmente significa “que crece en el agua, o se relaciona con ella”) es una especie nativa de Costa Rica y el trópico americano, que usualmente se le relaciona con ecosistemas ribereños o acuáticos.

Es una especie que se recomienda utilizar en la reforestación con fines de protección hídrica debido a que estabiliza laderas y protege los mantos acuíferos con sus grandes raíces, además de

ser un refugio y fuente de alimento para la fauna silvestre. Al igual que esta especie, los ecosistemas y bosques ribereños nos proveen de múltiples servicios ambientales esenciales para el equilibrio del ambiente y bienestar de la sociedad como la reducción de la erosión, retención de sedimentos y contaminantes, mejoramiento de la calidad del agua, provisión de alimento, refugio y microclima para la biodiversidad y vida silvestre.

Debemos procurar como sociedad proteger los ecosistemas de ribera y reforestar aquellos que se encuentren desprovistos de una cubierta vegetal. Las leyes de nuestro país restringen la corta de árboles en las riberas de los ríos, quebradas y nacientes, castigando con el peso de la ley a quienes realicen este tipo de acciones insostenibles. Siendo así, debemos ser conscientes que este tipo de acciones van en contra de la ley y de la naturaleza.

Debemos además hacer esfuerzos en conjunto por aumentar la cobertura forestal en las zonas de importancia hídrica; la Municipalidad de Cartago se ha encargado en los últimos años de apoyar este tipo de iniciativas. Cuenta con múltiples programas de reforestación de riberas de ríos y quebradas, así como para la protección de sus nacientes y zonas de recarga acuífera. Sin embargo, ocupamos esfuerzos en conjunto, con ciudadanos conscientes como usted, que se encarguen de velar por que las riberas de los ríos se encuentren protegidas y provistas con cobertura forestal”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: Guzmán y Díaz (2007); Cepeda y Navarro (2010); UICN (2019).



Figura 16. Rótulo estación Popenjoche.

I. Estación 9: Tanques.

Enfoque: La calidad del agua de Arriaz y la distribución a la población

Mensaje a transmitir: “El caudal que produce la naciente Arriaz ronda entre los 60-65 L/s, este dato no es exacto, pues naturalmente las nacientes presentan fluctuaciones a lo largo del año y dependen de la estación del mismo. El agua de la naciente brota del suelo en diferentes puntos, los cuales son captados y conducidos por tuberías subterráneas a una caja donde se reúnen y el agua es llevada a los tanques de almacenamiento. Se cuenta con dos tanques de almacenamiento: uno metálico de 1200 m³ y otro de concreto de 500 m³.”

No se requiere de un proceso complejo para su potabilización, ya que los parámetros del agua cruda cumplen con los estándares solicitados por el Ministerio de Salud en lo que se refiere a turbidez, color o metales; en este caso es suficiente con la desinfección, la que ocurre por medio

de gas cloro. Finalmente, el agua potable es transportada hasta abastecer las comunidades vecinas de Taras, La Lima y una parte de Fátima”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: Luis Morales Alvarado (Comunicación personal, 7 de Octubre del 2019).



Figura 17. Rótulo estación Tanques.

J. Estación 10: Antiguo acueducto.

Tema: El acueducto de la naciente Arriaz.

Mensaje a transmitir: “Los acueductos son sistemas de abastecimiento de agua que recogen agua desde la fuente de captación, es este caso la naciente Arriaz, y la transportan a través de tuberías a cada una de las viviendas. La construcción, diseño y administración del acueducto debe ser planificado con mucho cuidado para garantizar que el agua que llega a cada una de las familias

este limpia y apta para el consumo humano, misión de la que se ha encargado la Municipalidad de Cartago a lo largo de los años.

En este momento nos situamos sobre el antiguo acueducto, este fue construido en piedra a inicios del siglo XX; informaciones del registro que datan del año 1902 mencionan que en esa época la provincia de Cartago estaba pasando por problemas de salubridad referentes a la calidad de agua que llegaba a los ciudadanos proveniente de pozos artesanales y del caudal del río Reventado. Se intentó realizar un proyecto que pretendía traer agua de “La Chinchilla”, sin embargo, estudios técnicos determinaron que era más rentable y beneficioso poder traer el agua de la naciente Arriaz a los poblados, el cual tenía una producción de 100 l/s.

Siendo así, desde el año 1902 la población de Cartago comenzó a utilizar las aguas de la naciente Arriaz para abastecer sus necesidades básicas. La estructura que tenemos a nuestro frente es un antiguo desarenador construido en piedra, el cual tenía la función de retener la arena y los sedimentos que traen las aguas, evitando que estos afecten los procesos posteriores de tratamiento”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: OPS (2005); Sanabria, Fonseca y Cotes (2010).

ESTACIÓN 10: ANTIGUO ACUEDUCTO

¡CONOCE EL ANTIGUO ACUEDUCTO DE ARRIAZ!



Desarenador



Antiguo Acueducto



Nuevo Acueducto



Figura 18. Rótulo estación Antiguo Acueducto.

K. Estación 11: Caudal Ecológico.

Tema: Caudal ecológico y ecosistemas de agua dulce.

Mensaje a transmitir: “Estamos situados sobre la quebrada Arriaz. El agua que sale de la naciente es captada parcialmente para el abastecimiento de la población, mientras que el agua resultante se deja correr para abastecer a los ecosistemas de agua dulce que se sitúan quebrada abajo. Este caudal de agua que se deja fluir se conoce como caudal ecológico, y corresponde a la cantidad de agua o caudal mínimo que requiere un cuerpo de agua para que se mantenga el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial, y además se preserven sus valores ecológicos, el hábitat natural y la flora y fauna.

Esta pequeña poza que se ha generado producto del agua que fluye quebrada abajo es ahora un microhábitat que permite el establecimiento de especies de flora y fauna muy específicas. Se han

encontrado especies de insectos acuáticos, langostinos, cangrejos y olominas (pequeños peces de agua dulce) de las especies *Rivulus isthmensis* y *Priapichthys annectens*. Además, se han observado especies de aves que llegan en búsqueda de agua limpia de calidad. Los ecosistemas de agua dulce son fundamentales en nuestro medio y sociedad. Nos proveen de bienes y servicios (alimento, agua potable, riego, transporte, recreación, entre otros), y además son hábitat de múltiples especies de flora y fauna; es por esto que debemos procurar proteger y mantener libres de contaminantes estos ecosistemas que tanto nos aportan”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: Huguenin (2016); Biólogo Gustavo Rojas (comunicación personal, 21 de agosto del 2019).



Figura 19. Rótulo estación Caudal Ecológico.

L. Estación 12: Aves de Arriaz.

Tema: Importancia y roles ecológicos de las aves.

Mensaje a transmitir: “Las aves son uno de los animales de mayor importancia ecológica debido a sus múltiples interacciones en el bosque (polinizadoras, controladoras de plagas, dispersoras, depredadoras de semillas, entre otros), además de ser indicadoras sobre la condición general de los ecosistemas.

Actualmente en el CEANA se reportan unas 29 especies de aves, todas con múltiples roles en este bosque y en el medio ambiente. Por ejemplo, el colibrí ala de sable (*Campylopterus hemileucurus*) se alimenta del néctar de las flores, cumpliendo un papel de polinizador. El toledo (*Chiroxiphia linearis*) es una especie frugívora; esta se alimenta de frutos de frutos del sotobosque (vegetación que crece bajo los árboles), contribuyendo directamente con la dispersión de semillas. El momoto coroniazul (*Momotus coeruliceps*) y el rascón cuelligrís (*Aramides cajaneus*), son especies insectívoras; actúan como controladoras biológicas en las poblaciones de insectos terrestres y acuáticos. El gavilán bicolor (*Accipiter bicolor*) es un ave de rapiña, esta se alimenta de otras aves y mamíferos pequeños, permitiendo que haya un control en las poblaciones y un equilibrio en la cadena alimenticia. Al igual que estas aves, existen muchísimas más con funciones vitales en los bosques y ecosistemas que garantizan que exista un equilibrio en nuestro medio ambiente, además de deleitarnos a nosotros con su belleza y exóticos cantos”.

Citas para construir el mensaje: Rangel et. al. (2013); Biólogo Gustavo Rojas (comunicación personal, 21 de agosto del 2019).



Figura 20. Rótulo estación Aves de Arriaz.

M. Estación 13: Naciente Arriaz

Tema: Las nacientes, acuíferos y zonas de recarga.

Mensaje a transmitir: “En este momento nos encontramos sobre la naciente Arriaz, de aquí se toma el agua para abastecer a las comunidades aledañas de Taras, La Lima y Fátima. Los manantiales, ojos de agua o nacientes, son sitios en la superficie del suelo por donde fluye una cantidad determinada de agua hacia la superficie, de manera natural proveniente de un acuífero.

Una fracción del agua precipitada desde las partes altas de la cuenca se infiltra en el suelo y se mueve por varias capas dentro del mismo hasta llegar a alguna capa que no permite el paso de agua más abajo, esto provoca que se forme por encima un sector saturado de agua, a este se le llama acuífero. Los acuíferos son capaces de almacenar gran cantidad de agua que puede ser aprovechada para consumo humano. Todos los acuíferos poseen una zona de recarga, es decir,

zonas por donde el agua se infiltra y alimenta o llena los acuíferos. La zona de recarga acuífera de la naciente Arriaz inicia desde la parte alta en el distrito de Llano Grande y continua con una gran extensión por el distrito de San Nicolás; esto quiere decir que cualquier contaminante que se infiltre desde las zonas de recarga del acuífero puede tener graves consecuencias en la calidad del agua que sale a la superficie por el ojo de agua.

Una de las mejores estrategias para proteger estas zonas de recarga acuífera es a través de la reforestación y protección de bosques. La cobertura forestal nos garantiza que el agua que se infiltre sea de calidad y se reduzca la probabilidad de llevar algún tipo de contaminante de origen industrial o agrícola. Debemos ser conscientes de la importancia que los acuíferos y zonas de recarga tienen en nuestras vidas, pues dependemos de ellos para asegurarnos el vital líquido”.

Citas para construir el mensaje: Ramos y Vargas (2001); Guzmán y Díaz (2007); García, Zamora y Bilbao (2011).



Figura 21. Rótulo estación Naciente Arriaz.

N. Estación 14: Bosque Secundario.

Tema: El bosque secundario.

Mensaje a transmitir: “Estamos entrando a un tipo de ecosistema muy importante y representativo de los trópicos. A este tipo de bosque se le conoce como bosque secundario. Estos son bosques que se regeneran a través de procesos naturales después de haber sido perturbados por la acción del hombre (deforestando para actividades como la agricultura o ganadería) o de la naturaleza (fenómenos como huracanes o incendios forestales), cambiando totalmente su estructura y composición original.

En este sitio, hace muchísimos años existía un bosque que fue deforestado para dar paso a un terreno dedicado a la ganadería o agricultura a muy pequeña escala. Años más tarde, al dejarse en abandono, los procesos naturales de regeneración dieron paso para ir forjando el joven bosque que tenemos a nuestro frente. En las últimas décadas, la conversión de bosques a pastos o campos agrícolas, seguida del abandono de la tierra, ha llevado al crecimiento de grandes extensiones de bosque secundario en todo el trópico americano. Estos bosques son importantes proveedores de madera y servicios ecosistémicos, controladores de la erosión, refugios de biodiversidad y fuente de plantas de utilidad comercial y medicinal; además, cumplen una función esencial en el medio ambiente: la fijación de carbono.

Al ser bosques en crecimiento, capturan y almacenan grandes cantidades de dióxido de carbono proveniente de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales. En este momento, este joven bosque se encuentra fijando toneladas de CO₂ y a su vez siendo refugio de múltiples especies de insectos, aves y pequeños mamíferos que poco a poco empiezan a sumarse y utilizar este pequeño parche boscoso como refugio y fuente de alimento.”

Citas para construir el mensaje: Guariguata y Kattan (2002); CATIE (2016).



Figura 22. Rótulo estación Bosque Secundario.

O. Estación 15: Zompopero.

Tema: Estructura y funcionamiento de las hormigas zompopas

Mensaje a transmitir: “Las hormigas zompopas son las grandes agricultoras del reino animal. Son insectos sociales que viven en nidos subterráneos donde cultivan un tipo de hongo simbiote del cual se alimentan. Cada colonia está encabezada por una sola hormiga reina, quien puede iniciar por si sola la construcción de la colonia donde podrán habitar hasta 5 millones de hormigas. Gracias a ella y a sus hijas, una colonia puede alcanzar tamaños impresionantes y así causar un impacto sobre su territorio, volviéndolas piezas clave en los ecosistemas. Una vez al año, las colonias maduras de zompopas producen miles de machos y reinas que crecen dentro del nido.

En época lluviosa, las reinas de las colonias salen volando para aparearse con los machos. Antes de salir, las reinas toman un fragmento del hongo simbiote, y se lo colocan en un bolsillo bajo

su boca. Este pequeño fragmento les permitirá iniciar una nueva colonia. Posterior al apareamiento, conocido como “vuelo nupcial”, los machos mueren exhaustos y las reinas bajan a la tierra, se quitan las alas, cavan un hoyo y construyen una galería subterránea donde fundarán su nueva colonia.

Todas las tareas en la colonia de hormigas están perfectamente distribuidas. Las hormigas más grandes, llamadas “soldados” se encargan de proteger a la reina y defender la colonia, las hormigas obreras (las de tamaño intermedio en la colonia) se encargan de cortar hojas de los árboles y llevarlas a la colonia; ellas pueden cargar hasta 50 veces su propio peso. Las hormigas más pequeñas dentro de la colonia, llamadas trabajadoras mínimas, se encargan de cortar las hojas recolectadas en trozos aún más pequeños. Estas hormigas transforman los trozos de hojas en una especie de pulpa, la cual es colocada en la parte superior del sustrato donde crece el hongo para allí sembrar más trozos del hongo tomados de la sección inferior. Así, el jardín del hongo sigue creciendo continuamente”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: Zúñiga y Pinto (2018).



Figura 23. Rótulo estación Zompopero.

P. Estación 16: Abejas

Temática: La importancia de las abejas en la polinización

Mensaje a transmitir: “Las abejas son uno de los insectos más importantes del planeta, pues cumplen una función vital dentro del ecosistema al asegurar la existencia de muchas plantas y seres vivos, llevando cabo el proceso de la polinización. La polinización es la transferencia de polen de las partes masculinas de una flor (anteras) a las femeninas (los estambres) de otra flor o de la misma, haciendo posible la fecundación, y por tanto la producción de frutos y semillas.

Las abejas hacen posible este proceso cuando visitan las flores en busca de néctar y polen, adhiriendo los granos de polen en todo su cuerpo y transfiriéndolo cuando visitan otra flor. Un tercio de los alimentos que consumimos está disponible gracias a la polinización, y aproximadamente la mitad de los animales que polinizan las plantas tropicales son abejas.

Además, aproximadamente un 75% de la flora silvestre necesita de la polinización por medio de los insectos para reproducirse, siendo así, los bosques y hábitats naturales que nos proporcionan servicios ecológicos tan importantes como el recurso hídrico, dependen de polinizadores como las abejas. Sin abejas que polinicen no habría frutos, y por tanto no habría semillas. Esto impediría que las especies vegetales se reproduzcan, poniendo en peligro la flora y fauna del planeta y a nosotros los seres humanos”.

Citas utilizadas para construir el mensaje: APOLO (2012).



Figura 24. Rótulo estación Abejas.

7. CONCLUSIONES

El ecosistema del CEANA corresponde a un bosque secundario con dos estratos en diferentes estadios de sucesión (Estrato 1: Bosque Secundario Tardío ($G=28,19 \text{ m}^2/\text{ha}$) y Estrato 2: Bosque Secundario Intermedio ($G= 14,52 \text{ m}^2/\text{ha}$). Se determina una riqueza de 28 especies (individuos ≥ 10 cm de diámetro) en las cuales las de mayor índice de valor importancia ecológica (IVI) corresponden a *Fraxinus uhdei*, *Quercus insignis*, *Sideroxylon persimile*, *Inga punctata* y *Stemmadenia litoralis*.

La propuesta de zonificación del CEANA plantea gestionar el uso del espacio y el ordenamiento de las actividades a través de cinco zonas: 1) Zona de baja intervención, 2) Zona de mediana intervención, 3) Zona de alta intervención, 4) Zona de regeneración natural y 5) Zona de amortiguamiento (la cual se subdivide en dos subzonas; a) Protección absoluta del acuífero y b) Influencia comunitaria).

El CEANA es un ecosistema de alta vulnerabilidad hídrica, por lo que es necesario la aplicación de un factor limitante que considere la vulnerabilidad a la que están expuestos los cuerpos de agua del sitio y restrinja el número de máximo de visitantes que pueden ingresar a sus senderos.

Los estudios de capacidad de carga muestran que el límite máximo de visitantes diarios para los senderos Puente de Arco, Naciente Arriaz y Bosque en Regeneración es de 28, 25 y 54 personas, respectivamente. Estos valores funcionan como herramienta de planificación y manejo del CEANA para su gestión sostenible, sin embargo, son valores variables con el paso del tiempo, por lo que deben ser actualizados periódicamente.

El plan de interpretación creado consiste en caminatas guiados por los senderos en compañía de un educador ambiental, quien expondrá diversos temas distribuidos en 16 estaciones de interpretación enfocados directamente a la temática principal de “La conservación del recurso hídrico y la importancia del bosque en el ciclo del agua”. El plan abarca un perfil de visitantes desde niños hasta adultos mayores y será respaldado por rótulos en cada estación interpretativa, los cuales poseen elementos gráficos de fácil comprensión para todo el público y que permiten apoyar el mensaje del educador ambiental.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar medidas de manejo como podas y remoción de árboles muertos en aquellos individuos colindantes a los senderos que presentan algún riesgo de caída de su tronco, ramas o algún otro componente que pueda poner en riesgo la seguridad de los transeúntes de los senderos.

Dado que para cada uno de los senderos el valor de capacidad de carga es diferente, se recomienda regular el número máximo de visitantes diarios al de menor valor, es decir, a la limitante de 25 personas/día del sendero Naciente Arriaz; esto por razones operativas y de logística, de modo que los visitantes puedan ingresar a todos los senderos en un mismo grupo.

Se recomienda la contratación de al menos uno o dos profesionales que lleven a cabo las labores de gestión y educación ambiental en el CEANA, esto con el fin de obtener una calificación satisfactoria en el criterio de personal y elevar la capacidad de manejo a los niveles óptimos para un mejor recibimiento de grupos.

Actualizar los estudios de capacidad de carga de los senderos en periodos de al menos 5 años, considerando la aplicación de algún otro factor limitante si por alguna razón las condiciones ecológicas del sitio y/o la logística de entrada a los senderos cambiara.

Se recomienda realizar periódicamente inventarios de flora y fauna en el sitio para poder evaluar el posible impacto de las operaciones del CEANA en el ecosistema.

9. REFERENCIAS

- Álvarez, M. P. (2010). Evaluación de la capacidad de carga: Una herramienta para el manejo y la conservación de los sitios patrimoniales. *Canto Rodado: Revista especializada en patrimonio*, (5), 213-240.
- Amador, E., Cayot, L., Cifuentes, M., Cruz, E., Cruz, F., y Ayora, P. (1996). Determinación de la capacidad de carga turística en los sitios de visita del Parque Nacional Galápagos. *Servicio Parque Nacional Galápagos, Ecuador*. 42 p.
- Andrades, M., Moliner, A., y Masaguer, A. (2015). Métodos didácticos para análisis de suelos. Universidad de la Rioja. Logroño, España. 82 p.
- Anton, S., Blay, J. y, Salvat, J. (2008). Turismo, actividades recreativas y uso público en los parques naturales. Propuesta para la conservación de los valores ambientales y el desarrollo productivo local. *Boletín de la AGE 48 (008)*: 5-38.
- APOLO. (2012). Polinizadores y biodiversidad. Observatorio de Agentes Polinizadores. *Informe técnico*. 160 p.
- Aranguren, J., Moncada, J. A., Naveda, J., David, R., y Lugo, C. (2008). Evaluación de la capacidad de carga turística en la playa Conomita, Municipio Guanta, Estado Anzoátegui. *Revista de Investigación*, 32(64), 31-62.
- Arellano, S. (2010). Diseño de un Plan de Interpretación Ambiental para la Actividad de Observación de Aves dentro del Parque Metropolitano Guanguiltagua. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica de Ecuador. Quito, Ecuador. 121 p.
- Artavia, G. (2004). Guía para la Formulación y Ejecución de Planes de Manejo de Áreas Silvestres Protegidas. Ministerio del Ambiente y Energía. SINAC. Costa Rica. 50 p.
- Badaracco, R.J., & Scull, J. (1978). Retreating for interpretation. *Journal of Interpretation* 3(1): 2-5.

- Barbosa, W. T. y, Sáenz, N. (2019). Diseño de la interpretación ambiental y análisis de capacidad de carga turística del sendero colonial del Parque Natural Chicaque (San Antonio Del Tequendama-Cundinamarca). Trabajo Final de Graduación. Universidad Distrital Francisco José Caldas. Bogotá, Colombia. 119 p.
- Ballesteros, M., y López Lee, T. (2017). El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en Costa Rica: el caso de la cuenca alta del río Reventazón. Naciones Unidas. 71 p.
- Benayas, J., Gutiérrez, J. y, Hernández, N. (2003). La investigación en educación ambiental en España. Madrid, España. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/en/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/investigacion/investigacion-educacion-ambiental-espana_tcm38-167492.pdf
- Blanco, J.A. (2017). Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas* 26(2): 1-9.
- Boo, E. (1990). Ecotourism: the potentials and pitfalls, Volume 1. World Wildlife Fund: Baltimore, USA. 72 p.
- Caballero, A., y Roca, E. (2018). La importancia de los estomas. Folleto didáctico Stoller. Recuperado de <https://fisiologiavegetal.es/wp-content/uploads/2018/05/LA-IMPORTANCIA-DE-LOS-ESTOMAS.pdf>
- Carvajal-Vanegas, D., y Calvo-Alvarado, J. (2012). Intercepción de precipitación en dos especies forestales nativas: *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. y *Vochysia ferruginea* Mart. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 32-39.
- CATIE. (2016). Definición de bosques secundarios y degradados en Centroamérica. Documento de trabajo. Recuperado de <https://www.forestryandclimate.com/wp-content/uploads/2017/10/170918-Definition-Forest-Catie-Final-Spanish-version-electronic-version.pdf>

- Ceballos, H. (1998). *Ecoturismo: naturaleza y desarrollo sostenible*. Editorial Diana: México. 185 p.
- Cevallos, K. (2018). *Capacidad de carga turística del sendero “Siete Cascadas” como manejo sostenible del Área Provincial de Recreación Cerro de Hayas–Ecuador*. Tesis de Bachillerato. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 119 p.
- Cepeda, C. y, Navarro, G. (2010). Protección del recurso hídrico en Costa Rica. Propuesta para la reforma de los artículos 33 y 34 de la Ley Forestal. CATIE. Serie Técnica. Boletín No. 95. 101 p.
- Chang, M. (2013). *Forest hydrology: an introduction to water and forests*. Third Edition. CRC Press. 887 p.
- Chaves, E. (2005). Especies nativas en contraste con introducidas. *Ambientico*, 141, 12-13.
- Chin, J.S., Aguilar, P., Vega, D. y, Pérez, M. (2017). Descripción biofísica y resultados finales de la calidad del agua de la microcuenca del río Arriaz, asociada con el segmento del río comprendido entre su nacimiento y la naciente Arriaz dentro de las instalaciones del acueducto municipal, en la provincia de Cartago. *Informe de consultoría para el Área Técnica de Acueductos Municipalidad de Cartago*. Cartago, Costa Rica. 47 p.
- Cifuentes, M. (1992). Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas. CATIE Informe Técnico No. 194. Turrialba, Costa Rica. 29 p.
- Cifuentes, M., Mezquita, C., Méndez, J., Morales, M., Aguilar, N., Cancino, D., Gallo, M., Jolón, M., Ramírez, C., Ribeiro, N., Sandoval, E. y, Turcios, M. (1999). Capacidad de Carga Turística de las áreas de uso público del Monumento Nacional Guayabo, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 75 p.
- Columba, K. (2013). *Manual para la gestión operativa de las áreas protegidas de Ecuador*. Quito: FLACSO. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/itcrsp/detail.action?docID=5189778>

- Couto, W. (1994). *Zonificación ecológica económica: Instrumento para la Conservación y el Desarrollo Sostenible de los Recursos de la Amazonía*. Materiales de Capacitación. PNUD. Proyecto RLA/92/G32. Iquitos, Perú. 35 p.
- Cubillos, C., Gonzáles, C., Días, E., Ruiz, F. y, Mora, Z. (2013). *Guía de Planificación del Ecoturismo en Parques Nacionales Naturales de Colombia*. Bogotá, Colombia. 128 p. Recuperado de http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2014/05/guia_planificacion_ecoturismo_pnn.pdf
- Curtis, J., & McIntosh, R. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32 (3): 476-496.
- Dawson, C. P., & Hendee, J. C. (2009). *Wilderness management: Stewardship and protection of resources and values*. Fulcrum Pub. 525 p.
- De Miguel, Á., Lado, J. J., Martínez, V., Leal, M., y García, R. (2009). El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(1), 78-85.
- Decreto N° 25721. (1997). La Gaceta 16. Reglamento a la Ley Forestal. Artículo 94. Consultado el 18 de abril de 2019. Recuperado de <http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Legislacion/ReglamentoLF-7575.pdf>
- Dias, I., Körössy, N. y, Selva, V. F. (2012). Determinación de la capacidad de carga turística: El caso de Playa de Tamandaré-Pernambuco-Brasil. *Estudios y perspectivas en turismo*, 21(6), 1630-1645.
- Espejel, A. y, Flores, A. (2012). Educación ambiental escolar y comunitaria en el nivel medio superior, Puebla-Tlaxcala, México. *Revista mexicana de investigación educativa*, 17(55), 1173-1199.
- Estrada, P., Herrero, T., Martín, M. A. y, Ferreras, J. (2000). *Los Centros de Educación Ambiental*. Centro Nacional de Educación Ambiental. Recuperado de

https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2000-molino-lecrin_tcm30-163476.pdf

Fernández, C. y, Bertonatti, C. (2000). Conceptos Básicos sobre Educación Ambiental. Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina. 65 p. Recuperado de <https://claudiobertonatti.files.wordpress.com/2009/09/fernandez-balboa-bertonatti-2000-manual-de-educacion-ambiental.pdf>

García, J. (2003). Planificación y gestión de parques naturales: conservación y disfrute. *Revista interdisciplinaria de gestión ambiental* 5 (52): 15-36. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=319221>

García, J. A., Zamora, J. P., y Bilbao, L. N. (2011). *Sistemas de captaciones de agua en manantiales y pequeñas quebradas para la Región Andina* (No. E14/7). Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar-CIPAF. Buenos Aires, Argentina. 116 p.

Gómez, J. A., Taguas, E. V., Vanwalleghem, T., Giráldez, J. V., Sánchez, F., Ayuso, J. L., y Mora, J. (2011). Criterios técnicos para el control de cárcavas, diseño de muros de retención y revegetación de paisajes agrarios. *Manual del operador en inversiones no productivas*. Sevilla, España. 58 p.

Guariguata, M. R., y Kattan, G. H. (2002). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Editorial LUR. 691 p.

Guzmán. A. y, Díaz, H. A. (2007). Identificación de las áreas de recarga acuífera y zonas de protección de los manantiales del cantón central de Cartago. *IX Congreso Nacional de Ciencias*. 19 p.

GWP. (2009). Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. *Global Water Partnership and International Network of Watershed Organizations*. 111 p.

- Ham, S.H. (1992). *Environmental interpretation: A practical guide for people with big ideas and small budgets*. Golden, CO: North American Press. 456 p.
- Hamilton, L.S. (2009). *Los bosques y el agua*. FAO. Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i0410s.pdf>
- Hernández, L. M. (2012). Modelo de Educación Ambiental para la conservación de recursos naturales: una propuesta para el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica. *Biocenosis*, 26(1-2).
- Hernández, J., y Borau, J.L. (2017). *Guía Técnica de Accesibilidad en Espacios Naturales*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Recuperado de miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/guia-accesibilidad-espacios-naturales_tcm30-486562.pdf
- Hidalgo, D. (2013). Recurso Hídrico en Costa Rica. En *Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina*. México: Pearson Education. pp. 220-253.
- Holdridge, L. (1967). *Life zone ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
- Hugenin, C. (2016). Caudal ecológico en el mundo y Costa Rica. XI Congreso Nacional de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320021154_Caudal_Ecologico_en_el_mundo_y_Costa_Rica
- Hutcheson, W., Hoagland, P., & Jin, D. (2018). Valuing environmental education as a cultural ecosystem service at hudson river park. *Ecosystem Services* (31). 387-394 Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.005>
- INDER. (2016). Región Central Caracterización del Territorio Cartago-Oreamuno-El Guarco-La Unión. 38 p. Recuperado de https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-territorio-Cartago-Oreamuno-El-Guarco-La-Union.pdf

- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2019). Mapa climático-Datos climáticos estación ITCR. Consultado el 15 de abril de 2019. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/mapa>
- Ley Forestal N°7575. (1996). La Gaceta 72. Artículo 33. Consultado el 18 de abril de 2019. Recuperado de https://www.cne.go.cr/cedo_dvd5/files/flash_content/pdf/spa/doc387/doc387-contenido.pdf
- Lima, S., Nóbrega, W., Bahia, M. y, Piani, A. (2012). Planificación y gestión de las visitas al patrimonio natural y cultural y a los atractivos turísticos. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 21(2), 355-371.
- López, A. C., Sierra-Correa, P.C., Rodríguez, J.C. y, Freyre-Palau, J.L. (2003). Plan de manejo integrado de la zona costera del complejo de las bocanas Guapi Iscuandé, Pacífico colombiano-Fase II. Serie de Documentos Generales No. 17. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Santa Marta. 138 p.
- López, R. F. P., y Patrón, E. R. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 36 p.
- López, Y. (2017). Interpretación ambiental en la zona de manglar de Isla Venado, Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Licenciatura en biología con énfasis en interpretación ambiental. San José, Costa Rica. 211 p.
- Maldonado, E., y Montagnini, F. (2001). Determinación de la capacidad de carga turística del Parque Nacional La Tigra Tegucigalpa, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente*, (34): 47-51.
- Marozzi, P. A., Lima, J. J. y, Sarmiento, M. A. (2011). Caracterización de los visitantes y determinación de la capacidad de carga turística en el Parque Nacional Los Cardones (PNLC). Salta, Argentina. *Ciencia*,(6), 22, 7-25.

- Martín, J.J., Matas, A. y, Estrada, L.I. (2012). Aportaciones de los centros de educación ambiental en la enseñanza formal en Andalucía. *Cuestiones Pedagógicas* (21). 297-315.
- Martínez, R. (2010). La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual. *Revista Electrónica Educare*, 14(1), 97-111.
- Martínez, G. (2013). Interpretación Ambiental y Etnobotánica: Trayectos educativos de un Proyecto de Extensión y Voluntariado Universitario con los actores sociales de la flora medicinal de las Sierras de Córdoba, Argentina. *Experiencias Educativas*. 16(2). 100-119.
- Martínez, Y. y, Villalejo, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 58-72.
- Mejía, A. I., Gallardo, C., Vallejo, J. J., Ramírez, G., Arboleda, C., Durango, E. S., y Cadavid, E. (2009). Plantas del género bambusa: importancia y aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. *Vitae*, 16(3), 396-405.
- Morán, S. H. (2006). Uso público en parques naturales. Análisis comparado de Andalucía y de Castilla-León. *Editorial de la Universidad de Granada*. Granada, España. 552 p.
- Mora, M. y, Ramírez, T. (2013). Propuesta de zonificación ambiental para las microcuencas de los ríos Blanco y Cuipilapa, Bagaces, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 174 p.
- Morales, O. (2009). Caracterización florística y estructural de tres fragmentos boscosos secundarios en Cartago, Costa Rica. *Biología Tropical* 57(1): 69-82.
- Morales, J., Guerra, F. y, Serantes, A. (2009). Bases para la definición de competencias en interpretación del patrimonio. Fundamentos teóricos y metodológicos para definir las competencias profesionales de especialistas en interpretación del patrimonio en España. Seminario Permanente de Interpretación del Patrimonio, Centro Nacional de Educación Ambiental. CENEAM, España. 38 p.

- Morales, R. (2016). Propuesta de interpretación ambiental de historia natural en el sendero Las Súrtribas del Parque Nacional del Agua Juan Castro Blanco, Estación Biológica Volcán Viejo. Tesis de Bachillerato para título de Gestor de Turismo Sostenible. San Carlos, Costa Rica. 76 p.
- Morales, L. (7 de octubre del 2019). Comunicación personal.
- Municipalidad de Cartago. (2001). Delimitación de las zonas de Protección de los Manantiales del Cantón Central de Cartago. *Informe de consultoría para el Área Técnica de Acueductos*. Cartago, Costa Rica. 74 p.
- Municipalidad de Cartago. (2009). Plan de Desarrollo Humano Local Cantón de Cartago. Cartago, Costa Rica. Recuperado de <http://www.muni-carta.go.cr/wp-content/uploads/2017/11/Plan-de-Desarrollo-Humano-Local-de-Cartago-2010-2020.pdf>
- Municipalidad de Cartago. (2017). Folleto Informativo sobre el Programa de Servicios Ambientales Hídricos. Área Técnica de Acueductos. Cartago, Costa Rica. Recuperado de http://www.muni-carta.go.cr/wp-content/uploads/2018/03/FOLLETO-PAGO-SERVICIOS-AMBIETALES-2016_final.pdf
- Municipalidad de Cartago. (2018). Informe de labores 2018. Cartago, Costa Rica. Recuperado de <http://www.muni-carta.go.cr/wp-content/uploads/2017/11/Informe-de-Labores-2018-2019.pdf>
- Otto, S., & Pensini, P. (2017). Nature-based environmental education of children: Environmental knowledge and connectedness to nature, together, are related to ecological behavior. *Global Environment Change* 47 (2017): 88-94. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.09.009>
- Ontivero, M., Martínez, J., González, V. y, Echavarría, P. (2008). Propuesta metodológica de zonificación ambiental en la Sierra de Altomira mediante Sistemas de Información Geográfica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (8), 251-280.

- OPS. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. UNATSABAR. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- Pascual, J. A. (2010). *La gestión del uso público en espacios naturales*. Madrid: Miraguano Ediciones. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/itcrsp/detail.action?docID=3187733>
- Pellegrini, N. (2009). Sendero de interpretación ambiental en el bosque de la Universidad Simón Bolívar. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, 10(2): 47-67.
- Phillips, M. J., Swift, L. W., & Blinn, C. R. (2000). Best management practices for riparian areas. In: Verry, Elon S.; Hornbeck, James W.; Dolloff, C. Andrew, eds. *Riparian management in forests of the continental Eastern United States*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, CRC Press LLC: 273-286.
- Pitoska, E., & Lazarides, T. (2013). Environmental education centers and local communities: A case study. *Procedia Technology* 8 (2013). 215-221.
- Pinedo, R. (2006). Zonificación como base para el ordenamiento territorial del municipio de Valle de Ángeles, Honduras. Tesis de Maestría en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 136 p.
- Quesada, R. (2007). Los bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/RupertoQuesada.pdf>
- Ramos, V. y, Vargas, I. (2001). Delimitación de las zonas de protección de los manantiales del cantón central de Cartago. *Informe de consultoría para el Área Técnica de Acueductos Municipalidad de Cartago*. Cartago, Costa Rica. 74 p.

- Rangel-Salazar, J. L., Enríquez-Rocha, P. L., Ortega, M. A. A. G., Caballero, C. M., Castellanos, E. C., Domínguez, P. G., y Rodríguez, R. M. V. (2013). Diversidad de aves: un análisis espacial. *La biodiversidad en Chiapas. Estudio de estado*, 2, 329-337.
- Rodríguez, C., Brenes, L. (2009). Estructura y Composición de dos Remanentes de Bosque Premontano Muy Húmedo en la Reserva Madre Verde, Palmares, Costa Rica. *Pensamiento actual*. 9(12-13):115-124.
- Rodríguez, A. L., Lozano, L. y, Sierra, P. C. (2012). Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: estudio de caso zona costera del departamento Del atlántico. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 41(1), 61-83.
- Rodríguez, M. J. y, Mayorga, M. (2012). Interpretación Ambiental de un sendero marino en Palito, Isla de Chira, Puntarenas, Costa Rica. *Biocenosis*, 26(1-2): 70-74.
- Rojas, G. (21 de agosto del 2019). Comunicación personal.
- Rueda, L. (2004). Guía para el diseño y operación de Senderos Interpretativos. *Dirección General de Desarrollo de Productos Turísticos*. Secretaría de Turismo. Ciudad de México, México. 148 p.
- Ruiz-Labourdette, D., Schmitz, M., Montes, C., & Pineda, F. (2010). Zoning a protected area: Proposal based on a multi-thematic approach and final decision. *Environmental Modeling & Assessment*, 15(6), 531-547. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10666-010-9223-5>
- Sanabria, A., Fonseca, M., y Cotes, A. (2010). Operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua. *Serie: Gestión del agua en cuencas transfronterizas*. Recuperado de https://cmsdata.iucn.org/downloads/3_5_fasciculo_4_operacion_y_mantenimiento.pdf

- Santos, T., y Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Revista Ecosistemas*, 15(2).
- Serrano, M. L. T. y, Alarte, A. I. G. (2009). Capacidad de carga turística en cuatro senderos de Caravaca de la Cruz (Murcia). *M+ A: Revista Electrónica de Medioambiente*, (6), 1-20.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2013). *Guía para el diseño y formulación del Plan General de Manejo de las Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica*. San José, Costa Rica. 75 p.
- Solís, V. V., Aponte, Á. G. P., y Palacios, L. M. L. (2013). Capacidad de carga turística en el volcán Joya Honda, San Luis Potosí, México: Una Perspectiva física y perceptiva. *Revista de Análisis Turístico*, (16), 71-80.
- Soria, H. F. (2013). Determinación de la capacidad de carga turística en los sitios de visita de la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana, Loreto-Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Perú. 99 p.
- Takahashi, L. Y., & Cegana, A. C. (2005). Como monitorar o impacto dos visitantes utilizando o sistema LAC-Limite Aceitável de Câmbio. *Revista Turismo em Análise*, 16(2), 206-222.
- Tilden, F. (1957). *Interpreting our heritage*. University of North Carolina Press. North Carolina, USA. 191 p.
- Tréllez, E. (2006). Educación ambiental y gestión participativa de áreas naturales protegidas: experiencias y propuestas de futuro. Lima: Ed. PROFONANPE. 100 p.
- UICN. (2019). *Pachira aquatica* Aubl. Especies para Restauración. Recuperado de http://www.especiesrestauracionuicn.org/data_especie.php?sp_name=Pachira%20aquatica
- Urbina, J. (01 de octubre del 2019). Comunicación personal.

- Ulate, C. A. (2011). Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica. Tesis licenciatura en ingeniería forestal. Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 61 p.
- UNESCO. (2015). Informe de las Naciones unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Recuperado de http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf
- Valenzuela, E., Silva, A. y, Hernández, C. (2009). IX Zonificación ambiental. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266453187_IX_ZONIFICACION_AMBIENTAL
- Valverde, R. (2013). Disponibilidad, distribución, calidad y perspectivas del agua en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 45(1), 5-12.
- Vargas, E. y, Marín, A. (2016). Costa Rica demanda una gestión integral del recurso hídrico. *Revista Intersedes*, 17 (35), 1-26.
- Vasconcelos, C. S. y, Câmara, J. B. D. (2012). Evaluación de la capacidad de carga física del Parque Municipal de Itiquira, Formosa (GO), Brasil. *Estudios y perspectivas en turismo*, 21(4), 996-1012.
- Vidal, L. M. y, Moncada, J. (2006). Los senderos de interpretación ambiental como elementos educativos en Venezuela. *Revista de investigación*, (59) 41-63.
- Zárate, M. (2014). Manual para la modificación de senderos interpretativos en ecoturismo. Oaxaca, MX. 68 p. Recuperado de <http://www.ecoingenieros.com.ar/lc/bibliografia/manual%20senderos%20interpretativos-mexico%20.pdf>
- Zúniga, I., y Pinto, A. (2018). El mundo de las zompopas. Folleto informativo. Universidad de Costa Rica. Recuperado de <http://zompopas.com/es/materiales-educativos>

10.ANEXOS

Anexo 1. Matriz y hoja de campo para la selección de rasgos interpretativos.

Fecha:				
Hora de inicio/Hora final:				
Sendero:				
Longitud del sendero:				

No. Atractivo	Descripción del rasgo o potencial elemento interpretativo			Criterios	Puntaje
					1= bajo o inexistente; 2=medio; 3=máximo o abundante.
				Singularidad	
				Valor biológico o cultural	
				Representatividad didáctica	
	Punto GPS	X	Y	Atractivo	
				Temática coherente	
				Singularidad	
				Valor biológico o cultural	
				Representatividad didáctica	
	Punto GPS	X	Y	Atractivo	
				Temática coherente	
				Singularidad	
				Valor biológico o cultural	
				Representatividad didáctica	
	Punto GPS	X	Y	Atractivo	
				Temática coherente	

Definición de criterios:

- Singularidad: importancia intrínseca de ese rasgo con respecto a toda el área. Que tan poco frecuente es encontrado.
- Valor biológico o histórico: que tanta importancia tiene ese rasgo en aspectos ecológicos, socioculturales e históricos.
- Representatividad didáctica: facilidad de ser empleado y explicado en la interpretación del sendero.
- Atractivo: capacidad del recurso de despertar gran interés o curiosidad en el observador.
- Temática coherente: oportunidad a través del recurso de tratar temas relacionados a la temática del parque.

Anexo 2. Hoja para valoración de variables infraestructura, equipamientos y personal.

Infraestructura	Cantidad actual (A)	Cantidad óptima (B)	Relación A/B	Estado	Localización	Funcionalidad	Suma	Factor (S/16)
Oficina administrativa								
Caseta de entrada								
Aula de charlas y talleres								
Parqueo								
Basureros								
Baños								
Bodega								
PROMEDIO								
Equipamiento	Cantidad actual (A)	Cantidad óptima (B)	Relación A/B	Estado	Localización	Funcionalidad	Suma	Factor (S/16)
Computadora								
Proyector								
Pizarra								
Botiquín de primeros auxilios								
Extintor de incendios								
PROMEDIO								
Personal	Cantidad actual (A)	Cantidad óptima (B)	Relación A/B en la escala (C)			Factor (C/4)		
Administrador								
Educador ambiental								
Guarda de seguridad								
Encargados de mantenimiento								

Anexo 3. Listado de especies arbóreas del CEANA (individuos ≥ 10 cm de diámetro).

Nombre científico	Nombre común	Distribución natural
<i>Annona cherimola</i>	Anona	Nativa
<i>Ardisia compressa</i>	Tucuico	Nativa
<i>Casimiroa edulis</i>	Matasano	Nativa
<i>Cedrela tonduzii</i>	Cedro dulce	Nativa
<i>Cinnamomun triplinerve</i>	Quizarrá, Aguacatillo	Nativa
<i>Citrus sp.</i>	Limón	Exótica
<i>Cornutia pyramidata</i>		Nativa
<i>Cupania glabra</i>	Huesillo, Cascuá	Nativa
<i>Cupressus lusitanica</i>	Ciprés	Exótica
<i>Eucalyptus sp.</i>	Eucalipto	Exótica
<i>Eriobotrya japonica</i>	Níspero	Exótica
<i>Ficus pertusa</i>	Higuerón	Nativa
<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	Exótica
<i>Inga punctata</i>	Guaba	Nativa
<i>Malpighia glabra</i>	Acerola	Nativa
<i>Ocotea mollicela</i>	Aguacatillo	Nativa
<i>Oreopanax xalapensis</i>	Cacho de venado	Nativa
<i>Oyedaea verbesinoides</i>		Nativa
<i>Pachira aquatica</i>	Popenjoche	Nativa
<i>Psychotria tenuifolia</i>		Nativa
<i>Quercus insignis</i>	Roble	Nativa
<i>Sapium glandulosum</i>	Yos	Nativa
<i>Sideroxylon persimile</i>	Espino blanco	Nativa
<i>Stemmadenia litoralis</i>	Huevos de caballo	Nativa
<i>Syzygium jambos</i>	Manzana rosa	Exótica
<i>Trichilia havanensis</i>	Uruca	Nativa
<i>Zanthoxylum limoncello</i>	Lagarto	Nativa
<i>Zygia longifolia</i>	Sotacaballo	Nativa