

Diagnóstico del estado de sucesión ecológica en área en regeneración asistida en Cerro Espíritu Santo, Naranjo, Alajuela, Costa Rica

Diagnosis of the ecological succession stage in a regeneration area in Cerro Espíritu Santo, Naranjo, Alajuela, Costa Rica



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 3 No. 1. Enero-Junio, 2022: 45-62
 URL: <https://revistaenvironmenttechnology.co>
 DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.3-1.4>

Recibido: 31/05/2022
 Revisado: 10/10/2022
 Aprobado: 11/11/2022

Karina Méndez Quirós

Bachillerato en Manejo de Recursos Naturales
 Universidad Estatal a Distancia

ka.menquir@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7616-5974>

Costa Rica

Resumen

Con el propósito de determinar el estado del ecosistema de un área en regeneración asistida en el Cerro Espíritu Santo en Naranjo, Alajuela, se realizó un estudio del estado de sucesión ecológica en 2021. Se establecieron aleatoriamente 12 parcelas en tres sectores seleccionados de acuerdo con el tiempo de intervención, donde se caracterizó la vegetación leñosa con un DAP mayor o igual a 10 cm. Además, se identificaron las barreras que obstaculizan el proceso de regeneración junto a los mecanismos facilitadores del mismo. Se identificaron 22 especies en total, en su mayoría nativas y con un predominio de la familia Fabaceae. Nueve de estas especies también se encontraron en el ecosistema de referencia. Se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) para identificar a las 10 especies más importantes en la estructura del ecosistema, siendo *Ficus* sp. la de mayor importancia. Se calculó el promedio del DAP por especie para determinar el desarrollo de las especies en cada sector y se clasificaron las especies en gremios ecológicos, a fin de definir el estado de sucesión ecológica. Los tres sectores mostraron dominio de heliófitas durables, mientras que el sector 1 mostró un mayor desarrollo de especies y un incremento en la cantidad de esciófitas parciales, lo que se deduce en un mayor avance sucesional. Finalmente, se estimó la diversidad de especies y el desarrollo de individuos como indicadores sucesionales para dar seguimiento al proceso de rehabilitación ecológica del ecosistema.

Palabras clave: Rehabilitación ecológica; gremios ecológicos; indicador; barreras; mecanismos facilitadores

Abstract

With the objective of determine the state of ecosystem in an area in assisted regeneration in Cerro Espíritu Santo in Naranjo, Alajuela, a study of the ecological succession stage was conducted in 2021. Twelve plots were randomly established in three selected sectors according to the intervention level, where the woody vegetation with a DBH greater than or equal to 10 cm was characterized, along with the barriers and the facilitator mechanisms for regeneration. Twenty-two species were identified, mostly native species and with a predominance of the family Fabaceae. Nine of these species were also found on the reference ecosystem. The Important Value Index (IVI) was calculated to identify the 10 most relevant species in terms of ecosystem structure, where *Ficus* sp. was the more important species. The DBH's average per species was calculated to

determine the species development in every sector, and they were classified on ecological guilds to define the ecological succession stage. The three sectors showed a predominance of durable heliophytes, however, sector 1 showed a greater species development and an increase in partial sciophytes, which is deducted to a greater successional stage. Finally, the species diversity and the development of individual were defined as successional indicators to follow up on the ecosystem rehabilitation process.

Keywords: Ecological rehabilitation; ecological guilds, indicator; barriers; facilitator mechanisms.

Introducción

Esta es una actividad que inició a mediados del siglo XIX con la introducción de *Cupressus lusitanica* Mill. Esta y otras especies se introdujeron sin conocimiento de su potencial invasivo, la acidificación del suelo y la alteración de la dinámica ecológica dentro del ecosistema, entre otros aspectos (Barrientos-Llosa y Monge-Nájera, 2010).

Un ejemplo de lo anterior sucedió en el Cerro Espíritu Santo, donde se introdujeron individuos de *Cupressus lusitanica* y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltldl., que posteriormente se talan para sustituirlos por especies nativas en 2013. Sin embargo, al no existir un programa que propiciara dicha sustitución, se produjeron efectos alelopáticos por la acumulación de hojas de las especies que se talaron, lo cual ocasionó la erosión y la acidificación del suelo. Asimismo, la propagación de especies invasoras y los incendios forestales se sumaron a la degradación del ecosistema (Araya-Gómez, 2018). Posteriormente, en 2017, el grupo Amigos del Cerro Espíritu Santo lidera el proyecto de rehabilitación ecológica del cerro con el apoyo de distintos colaboradores (Jiménez, M. com. pers.).

En 2018, se propuso la aplicación de estrategias de rehabilitación ecológica que involucran los principios del método Framework, nucleación y los grupos de Anderson (Araya-Gómez, 2018). No obstante, en 2021 no existen datos de los resultados del proceso de regeneración y de la aplicación de dichas estrategias, pues no se ha realizado un seguimiento que permita conocer el estado del ecosistema.

Una de las fases fundamentales que requiere un proceso de rehabilitación es la evaluación de las condiciones en las que se encuentra el ecosistema (Vargas-Ríos, 2011). La estructura de la vegetación, el recambio de especies y el régimen de disturbios pueden orientar la definición de objetivos de rehabilitación y la selección de mecanismos para acelerar el proceso. Asimismo, el estudio del ecosistema de referencia puede ayudar a determinar posibles trayectorias sucesionales (Avella-M. et al., 2019).

Las especies encontradas en cada uno de los estadios de sucesión ecológica están relacionadas con sus requerimientos de luz, que es una variable para agrupar a las especies

en gremios ecológicos. En la etapa inicial de sucesión, aparecen las especies que requieren altos niveles de luz, que se conocen como heliófitas. Dentro de las heliófitas existen las heliófitas efímeras, con un rápido crecimiento y una vida corta y las heliófitas durables, con una velocidad de crecimiento menor al de las efímeras y un tiempo de vida mayor. Posteriormente, aparecen las especies que presentan tolerancia a la sombra, conocidas como esciófitas, las cuales se dividen en esciófitas parciales y esciófitas totales (Fredericksen, Contreras y Pariona, 2001; Garro, 2011; Prado, 2012).

Dar seguimiento al proceso de regeneración permite identificar la necesidad de acciones correctivas o adicionales para orientar dicho proceso, debido a que el ecosistema podría desviarse de su trayectoria sucesional esperada en alguno de sus estadios (Murcia y Guariguata, 2014).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el estado de sucesión ecológica de un área en regeneración asistida por medio de una caracterización de la vegetación leñosa y de la identificación de las barreras y los mecanismos facilitadores de la regeneración, con el fin de definir indicadores del avance de sucesión ecológica y sentar las bases para dar seguimiento a la rehabilitación del ecosistema.

Metodología

Área de estudio

El área de estudio se ubica en los sectores este y oeste del Cerro Espíritu Santo, ubicado en Concepción de Naranjo, Alajuela, los que pertenecen a Coopronaranjo R.L. Presentan un ecosistema degradado que se encuentra organizado en ocho subsectores no delimitados de aproximadamente 1 ha y se encuentran en regeneración asistida con la coordinación del grupo Amigos del Cerro Espíritu Santo.

Los sectores este y oeste se encuentran divididos por un camino de lastre que comunica con San Miguel de Naranjo (**Figura 1**). El sector este se encuentra dentro del distrito central de Naranjo, bordeado al sur por un fragmento de bosque secundario, el cual constituye el ecosistema de referencia para el proceso de rehabilitación ecológica. El sector oeste se ubica en el distrito de San Miguel, está bordeado por un parche boscoso hacia el sur y hacia el oeste por una zona degradada que rodea un parche de pinos y cipreses.

Según Araya-Gómez (2018), la altitud del cerro va de 1200 a 1362 m s.n.m. y pertenece a la zona de vida Bosque húmedo premontano (bh-P), de acuerdo con la

clasificación de Holdridge (1978). El cerro forma parte de la Región Central de Costa Rica y se localiza en el Valle Occidental con una temperatura media anual de 22°C y una precipitación media anual de 2322 mm (Instituto Meteorológico Nacional, 2008). El terreno cuenta con una pendiente fuertemente ondulada, con un porcentaje de inclinación de 30 a 50%.

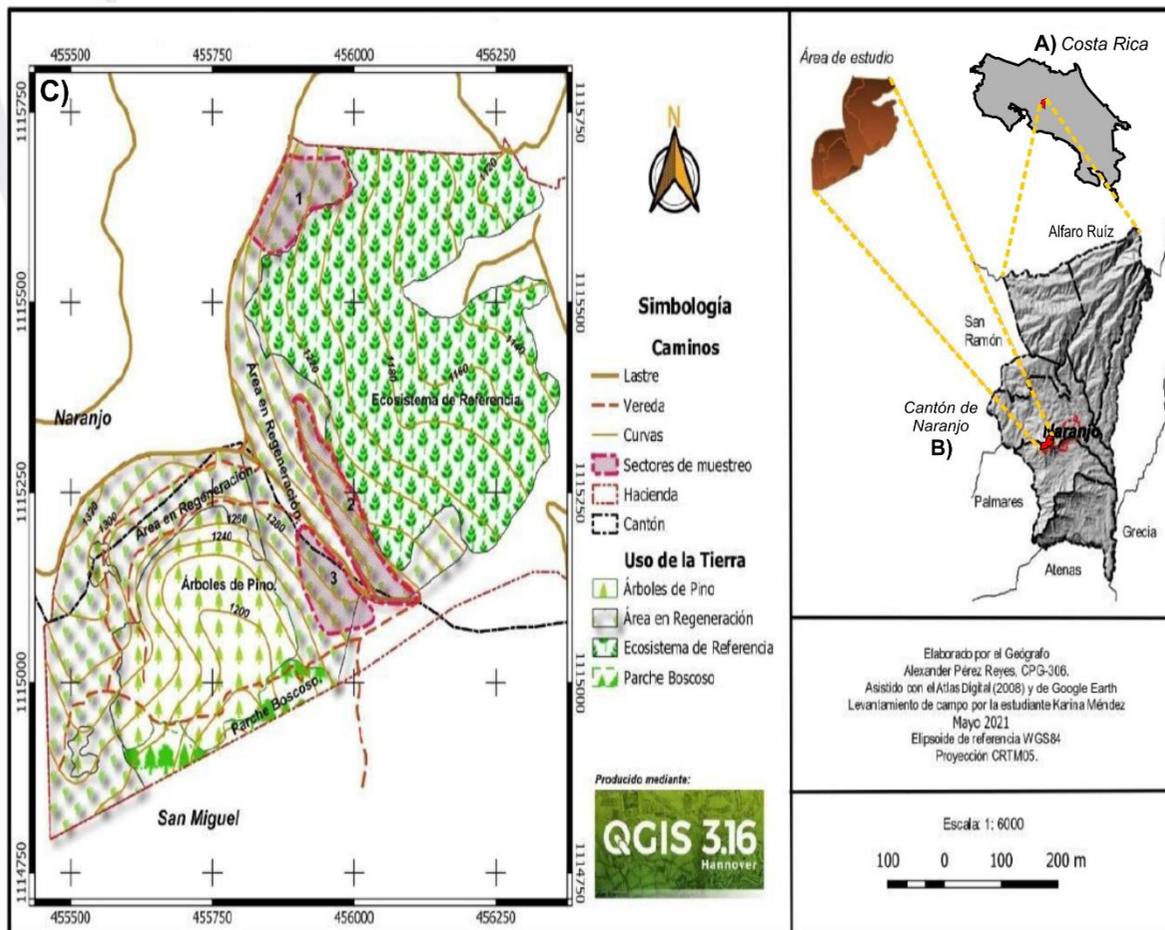


Figura 1. Ubicación del área de estudio. A) Ubicación del Cantón de Naranjo en Costa Rica, B) ubicación del área de estudio dentro del Cantón de Naranjo y C) área de estudio y sus características

Fuente: Elaboración por Alexander Pérez Reyes a partir del Atlas Digital 2008 (Ortiz-Malavasi, 2009) e imágenes de Google Earth

Método

Para la investigación se eligieron tres sectores de acuerdo con el tiempo en regeneración, el nivel de intervención, las barreras o factores de disturbio que se encuentran presentes y las prácticas que se llevan a cabo para favorecer su rehabilitación.

En cada sector se establecieron cuatro parcelas de 10 m x 7 m. Los puntos de muestreo fueron seleccionados aleatoriamente con ayuda de la herramienta *random* del programa QGIS 3.16 Hannover (Open Source Geospatial Foundation, 2020). En cada parcela se contabilizaron e identificaron las especies leñosas con un diámetro a la altura del pecho (DAP), igual o mayor a 10 cm. Además, se hicieron anotaciones de aquellas especies con un DAP menor.

Seguidamente, con ayuda de los datos del DAP y abundancia de especies, se calculó la abundancia relativa, la frecuencia y la densidad relativa (dada como área basimétrica), para obtener el índice de valor de importancia (IVI) de cada especie, con el fin de definir cuáles especies contribuyen en mayor medida a la estructura vegetal de los sectores muestreados. A su vez, se hizo una comparación de las especies identificadas en cada sector, con las especies del ecosistema de referencia, encontradas en la investigación de Araya-Gómez (2018), para la definición del criterio de presencia o no de estas en ese ecosistema y de esta manera, tomar esto como referente del avance en el proceso de sucesión ecológica.

Los factores de disturbio y los mecanismos o técnicas utilizadas para facilitar el proceso de regeneración se describieron por medio de observaciones *in situ*, de la mano con un encargado de cada sector, junto con evidencias fotográficas de los mismos y una revisión bibliográfica posterior.

La definición de los indicadores de sucesión ecológica se basó en criterios para indicadores vegetativos, los cuales sugieren Terán-Valdéz, Duarte, Cuesta y Pinto (2018). Mediante revisión bibliográfica se categorizaron las especies en gremios ecológicos para realizar inferencias y comparaciones de los estadios sucesionales (Sánchez-Sánchez, Islebe y Valdez-Hernández, 2007; Collantes-Chávez-Costa, Granados-Sánchez y López-Ríos, 2000).

Resultado y discusión

Riqueza y abundancia de especies

Se identificaron un total de 22 especies con un DAP mayor o igual a 10 cm, siendo la familia Fabaceae la más representativa con siete especies. Las especies que se encontraron en mayor abundancia fueron *Ficus* sp. con 12 individuos y *Erythrina berteroana* Urb. con ocho. En cuanto a la riqueza de especies, esta fue de 10 especies en cada sector, con variaciones en cuanto a la composición de especies y familias, así como su abundancia.

En cuanto a las especies observadas con un DAP menor a 10 cm, en el sector 1 y 2 se encontraron 13 y 16 especies respectivamente. En el caso del sector 3, la riqueza fue la misma en especies muestreadas y observadas. En cuanto a composición, se encontró similitud de especies en ambos grupos para todos los sectores. La familia Fabaceae fue la más representativa con ocho especies, seguida por Asteraceae con cuatro.

Del total de especies muestreadas, 21 fueron nativas y una exótica (*Pinus oocarpa*, siendo este producto de un rebrote de un individuo talado en el período de deforestación 2013-2016). Por su parte, las especies observadas también fueron predominantemente especies nativas, a excepción de *Musa paradisiaca* L. (la cual se ha sembrado para mejorar las condiciones edáficas al retener humedad y al proveer fruta para la fauna silvestre).

En el sector 1 las especies más abundantes fueron *Ficus* sp. (6) y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. (5). Se encontraron siete familias, siendo Fabaceae la más abundante (4). Entre las especies con un DAP menor a 10 cm, las más abundantes fueron *Musa paradisiaca* (4) y *Cojoba arborea* (L.) Britton & Rose (3). Las familias más abundantes fueron Fabaceae (7) y Asteraceae (3).

En el sector 2 las especies más abundantes fueron *Erythrina berteroana* (6), *Ficus* sp. (4) y *Zygia longifolia* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose (4). Se encontró un total de 12 familias, donde la más abundante fue Fabaceae (2). De las especies con un DAP menor a 10 cm, las más abundantes fueron *Vismia baccifera* (L.) Triana & Planch, *Cecropia peltata* L., *Handoanthus ochraceus* (Cham.) Mattos y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. con dos individuos cada una. Las familias más abundantes de las especies con DAP menor a 10 cm, fueron: Fabaceae (3), Bignoniaceae (2) y Verbenaceae (2).

En el sector 3 las especies más abundantes fueron *Spondias purpurea* L. (4), *Psidium guineense* Sw. (2), *Ficus* sp. (2) y *Erythrina berteroana* (2). Entre las ocho familias registradas en este sector, sobresalen como las más abundantes: Fabaceae (2) y Bignoniaceae (2). Por su parte, entre las especies con un DAP menor a 10 cm, las más abundantes son *Musa paradisiaca* (8) y *Psidium guineense* (4), registrándose diez familias, siendo la más rica en especies: Asteraceae (3).

Barreras y mecanismos facilitadores

Los tres sectores estudiados muestran cierta homogeneidad en cuanto a sus condiciones ambientales, donde se pueden considerar pendientes elevadas, fuertes vientos,

erosión, acidez del suelo y escorrentía. Las principales barreras identificadas en el sector 1 fueron devoración de individuos por *Atta cephalotes* (hormiga Zompopa) y presencia de los pastos invasores *Pennisetum purpureum* Schumach. y *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. En el sector 2, el pasto invasor *Brachiaria* sp., mientras que en el sector 3 se encuentra el helecho invasor *Pteridium aquilinum* L. Kuhn. Los sectores 2 y 3 comparten una recurrencia importante de incendios provocados por vandalismo.

Se utilizan insecticidas formulados a base de Octaborato de Sodio y herbicidas a base de Glifosato para combatir la propagación de *Atta cephalotes*, de los pastos y helecho invasor. También, se han sembrado especies como *Cucurbita moschata* Duchesne para cubrir el suelo y evitar la propagación de pastos invasores en el sector 1. En el sector 3 inició la siembra de la gramínea exótica *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty para dar sostén al terreno y prevenir la erosión. En los tres sectores se han sembrado individuos de *Musa paradisiaca* para favorecer la humedad del suelo. Para prevención de incendios se han realizado quemas controladas y chapeas.

En cuanto a técnicas de siembra, se utiliza la técnica de sumidero, que consiste en realizar un hueco de poca profundidad al lado del árbol en forma de medialuna con el fin de aprovechar el agua llovida. En el hueco se coloca abono orgánico, carbonato de calcio y abono enraizador. Otras técnicas incorporadas son la siembra en hileras utilizando la técnica tresbolillo, donde se plantan los individuos en tres puntos a la misma distancia formando triángulos y la técnica de nucleación por medio de grupos de Anderson donde se seleccionan cinco especies de diferentes grupos funcionales, se siembra un individuo en el centro y los demás a su alrededor formando núcleos de regeneración (Jiménez, M., com. pers.).

Indicadores de avance en sucesión ecológica

Según el índice de valor de importancia (IVI), las 10 especies que contribuyen en mayor medida a la estructura y proceso de regeneración del ecosistema son: *Ficus* sp., *Erythrina berteroana*, *Zygia longifolia*, *Samanea saman* (Jacq.) Merr., *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels, *Hymenaea courbaril* L., *Gliricidia sepium*, *Acnistus arborescens* (L.) Schltld., *Spondias purpurea* y *Vismia baccifera* (siendo esta última especie la que se ha desarrollado por regeneración natural). De dichas especies, siete son heliófitas durables, dos esciófitas parciales y una heliófita efímera. De manera tal, que

se observa un mayor número de especies heliófilas durables, lo que indica un avance en el proceso de sucesión, en un tiempo transcurrido no mayor a 4 años (**Tabla 1**).

Tabla 1.

Cálculo del índice de valor de importancia y categorización por gremio ecológico, para las especies muestreadas

Nombre científico	Gremio ecológico*	Abundancia relativa	Frecuencia relativa	Área basimétrica relativa	IVI
<i>Ficus</i> sp.	ND	19.35	16.67	15.39	51.41
<i>Erythrina berteroana</i>	HD	12.9	6.25	20.7	39.85
<i>Zygia longifolia</i>	HD	6.45	6.25	12.9	25.6
<i>Samanea saman</i>	HD	4.84	6.25	10.3	21.39
<i>Anacardium excelsum</i>	EP	6.45	8.33	4.97	19.76
<i>Hymenaea courbaril</i>	EP	4.84	4.17	9.13	18.13
<i>Gliricidia sepium</i>	HE	8.06	6.25	3.4	17.72
<i>Acnistus arborescens</i>	HD	4.84	6.25	6.27	17.36
<i>Spondias purpurea</i>	HD	6.45	4.17	5.25	15.86
<i>Vismia baccifera</i>	HD	3.23	4.17	3.1	10.5
<i>Tabebuia rosea</i>	HD	3.23	4.17	1.25	8.64
<i>Croton draco</i> Schltld. & Cham.	HD	3.23	4.17	0.59	7.99
<i>Psidium guineense</i>	HE	3.23	4.17	0.59	7.99
<i>Persea americana</i> Mill.	EP	1.61	2.08	2.01	5.71
<i>Vernonia patens</i> Kunth	HD	1.61	2.08	1.86	5.55
<i>Juglans neotropica</i> Diels	HD	1.61	2.08	0.43	4.12
<i>Cecropia peltata</i>	HE	1.61	2.08	0.3	3.99
<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M. Sousa	HD	1.61	2.08	0.3	3.99
<i>Inga marginata</i> Willd.	HD	1.61	2.08	0.3	3.99
<i>Persea caerulea</i> (Ruiz & Pav.) Mez	EP	1.61	2.08	0.3	3.99
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	HD	1.61	2.08	0.3	3.99
<i>Pinus oocarpa</i>	HD	1.61	2.08	0.3	3.99

Fuente: Elaboración propia

*Gremio ecológico: HE =heliófita efímera; HD =heliófita durable; EP= esciófita parcial; ND= no definido

En total se identificaron 11 especies que también se encontraron en el ecosistema de referencia (Araya-Gómez, 2018), las cuales son: *Spondias purpurea*, *Cecropia peltata*, *Diphysa americana*, *Croton draco*, *Acnistus arborescens*, *Tabebuia rosea*, *Tecoma stans*, *Inga sp.*, *Ficus sp.*, *Luehea speciosa* y *Cedrela odorata*.

En el sector 1 se encontró una mayor cantidad de heliófitas durables con cinco especies, seguida por tres esciófitas parciales y una heliófita efímera. De las cinco especies más desarrolladas, tres son heliófitas durables y dos esciófitas parciales, lo cual indica una trayectoria de avance hacia un siguiente estadio (**Tabla 2**).

Tabla 2.

Desarrollo de individuos, gremio ecológico e índice de valor de importancia en el sector 1

Nombre científico	DAP promedio	Gremio ecológico	IVI
<i>Samanea saman</i>	41	HD	21.39
<i>Acnistus arborescens</i>	31.5	HD	17.36
<i>Vismia baccifera</i>	30	HD	10.50
<i>Hymenaea courbaril</i>	29	EP	18.13
<i>Vernonia patens</i>	25	HD	5.55
<i>Anacardium excelsum</i>	21	EP	19.76
<i>Ficus sp.</i>	19.67	ND	51.41
<i>Gliricidia sepium</i>	14.4	HE	17.72
<i>Inga marginata</i>	10	HD	3.99
<i>Persea caerulea</i>	10	EP	3.99

Fuente: Elaboración propia

En el sector 2, hay siete heliófitas durables, una heliófita efímera y una esciófita parcial, mostrando un mayor desarrollo en heliófitas durables donde las especies más desarrolladas son *Erythrina berteroana*, *Zygia longifolia* y *Ficus sp.* (**Tabla 3**).

Tabla 3.

Desarrollo de individuos, gremio ecológico e índice de valor de importancia en el sector 2

Nombre Científico	DAP promedio	Gremio ecológico	IVI
<i>Erythrina berteroana</i>	30.67	HD	39.85
<i>Zygia longifolia</i>	30.00	HD	25.60
<i>Ficus sp.</i>	17.25	ND	51.41
<i>Tabebuia rosea</i>	15.00	HD	8.64
<i>Anacardium excelsum</i>	12.00	EP	19.76
<i>Juglans neotropica</i>	12.00	HD	4.12
<i>Vismia baccifera</i>	12.00	HD	5.55
<i>Cecropia peltata</i>	10.00	HE	3.99
<i>Croton draco</i>	10.00	HD	7.99
<i>Diphysa americana</i>	10.00	HD	3.99

Fuente: Elaboración propia

En el sector 3 hay siete heliófitas durables, una heliófita efímera y una esciófita parcial, mostrando un mayor desarrollo de heliófitas durables principalmente para *Persea americana*, *Spondias purpurea* y *Erythrina berteroana* (**Tabla 4**).

Tabla 4.

Desarrollo de individuos, gremio ecológico e índice de valor de importancia en el sector 3

Nombre Científico	DAP promedio	Gremio ecológico	IVI
<i>Persea americana</i>	26.00	EP	5.71
<i>Spondias purpurea</i>	20.50	HD	15.86
<i>Erythrina berteroana</i>	14.50	HD	39.85
<i>Ficus sp.</i>	14.00	ND	51.41
<i>Tabebuia rosea</i>	14.00	HD	8.64
<i>Acnistus arborescens</i>	10.00	HD	17.36
<i>Psidium guineense</i>	10.00	HE	7.99
<i>Samanea saman</i>	10.00	HD	21.39
<i>Tecoma stans</i>	10.00	HD	3.99

Fuente: Elaboración propia

Los sectores 2 y 3 muestran una dominancia similar en cuanto a gremios ecológicos y desarrollo de los individuos, donde las heliófitas durables se encuentran en mayor abundancia y mejor desarrolladas. Por su parte, en ambos sectores se encuentra solo una

especie esciófita parcial. Por consiguiente, los indicadores definidos para medir y dar seguimiento al avance a lo largo del proceso de sucesión ecológica, hasta que el ecosistema llegue a un estadio avanzado son: la diversidad de especies y el desarrollo de los individuos.

Discusión

La familia Fabaceae se destaca como la más abundante, lo cual concuerda con otros estudios similares realizados en el Valle Central (Calvo-Villalobos, Bermúdez-Rojas y Vega-Bolaños, 2018; Cascante y Estrada, 2001). A nivel de importancia dentro de la estructura del ecosistema, dada por el IVI, cinco de siete especies de esta familia están dentro de las 10 especies más importantes, las cuales son: *Erythrina berteroana*, *Zygia longifolia*, *Samanea saman*, *Hymenaea courbaril* y *Gliricidia sepium*. Además, la presencia de esta familia se considera valiosa para la regeneración del ecosistema, ya que favorece la fijación de nitrógeno atmosférico, lo cual contribuye a la fertilidad del suelo (Alvarado-García y Zúñiga-Amador, 2020).

Los resultados posicionan al género *Ficus* como el más representativo e importante, en concordancia con los datos de un estudio realizado en el bosque húmedo premontano de la Zona Protectora El Rodeo (uno de los remanentes boscosos más importantes de este tipo de bosque) realizado por Cascante y Estrada (2001). Cabe destacar que son especies que producen frutos durante todo el año, proporcionando alimento a insectos, aves y mamíferos frugívoros, lo que los convierte en un recurso clave en el ecosistema (González-Castañeda, Cornejo-Tenorio e Ibarra-Manriquez, 2010).

Dentro de las especies observadas (DAP menor a 10 cm), la familia Asteraceae es la segunda más destacable, lo cual puede atribuirse a la eficacia de los mecanismos de dispersión que poseen y a su capacidad de adaptación a diferentes condiciones ecológicas, incluyendo ambientes degradados (Alvarado-García y Zúñiga-Amador, 2020).

La predominancia de especies nativas dentro del ecosistema demuestra que la trayectoria que sigue el proceso de regeneración se dirige hacia un funcionamiento saludable, ya que son especies adaptadas al sitio que conviven e interactúan de forma natural dentro del ecosistema, lo cual favorece el desencadenamiento de procesos ecológicos como el ciclaje de nutrientes, la dispersión de semillas, el recambio de especies, entre otros, que propicien la mejora de las condiciones edáficas y el aumento de la diversidad de especies (Alvarado y Zúñiga, 2020).

Por otro lado, se determina que la aplicación de productos químicos para combatir la especie invasora *Atta cephalotes*, no ha logrado desaparecer la incidencia de esta barrera por completo. Su presencia está asociada a la modificación de hábitats, donde prefieren terrenos desprovistos de vegetación natural donde sus principales competidores y depredadores no están presentes. En cuanto a los productos orgánicos, algunos necesitan un mayor número de aplicaciones para obtener el efecto deseado debido a la resistencia que tiene la especie a este tipo de productos, donde logran únicamente disminuir la actividad de la colonia por un tiempo, mientras nuevas generaciones sustituyen a la población exterminada (Herrera-Salazar, 2009).

En lo que respecta al sector 3, los datos obtenidos permiten deducir que es el más afectado por incendios forestales, siendo el suelo más desprovisto de vegetación leñosa. Y es que, el fuego puede incrementar la impermeabilidad, reduciendo la infiltración e incrementando la escorrentía superficial, como ha ocurrido en esta área (Fernández et al., 2010).

La intensidad y el alcance espacial que tienen los disturbios que ocurren en un ecosistema, influyen sobre el tiempo y el avance en la recuperación de este. Áreas donde las perturbaciones han tenido lugar por largos períodos de tiempo, como ocurre en el presente estudio, necesitan de procesos de regeneración activa y continua para reestablecer las condiciones ecológicas deseadas (Corbin y Holl, 2012).

Los tres sectores en estudio concuerdan en cuanto a ciertos mecanismos facilitadores aplicados que han mostrado buenos resultados para el establecimiento y el desarrollo de las especies sembradas. Entre los más relevantes se encuentran la técnica de siembra sumidero, el uso de plantas nativas y, a su vez, adaptadas a las condiciones del ecosistema, junto con el uso de abonos orgánicos ricos en nitrógeno y con propiedades enraizadoras y, además, de carbonato de calcio.

La técnica de siembra en grupos de Anderson es parte de la propuesta realizada por Araya-Gómez (2018) para el control de los pastos invasores. En contraste a esto, Corbin y Holl (2012), mencionan que el modelo de nucleación desencadena un proceso ecológico similar al de la sucesión natural pues conlleva a facilitar el establecimiento y la colonización de especies, así como a una composición más diversa. De este modo, inhibe la competencia de los pastos y otras especies invasoras.

Previamente, se ha demostrado que la especie exótica *Chrysopogon zizanioides*, utilizada en el sector 3, puede usarse de manera exitosa en el manejo del suelo, ya que ha dado buenos resultados para el control de la erosión gracias a la red que forman sus raíces, aumentando la resistencia del suelo. Por su parte, su follaje es capaz de soportar y reducir la velocidad del agua, lo que contribuye a la retención de sedimentos y de humedad en el suelo (Campos-Lozano y León-Díaz, 2017). No obstante, un estudio realizado en el río Pirro, en Heredia, mostró que las plantas nativas eran cinco veces más eficientes en la retención de sedimentos y, por ende, en el control de la erosión, la cual es una barrera presente en el cerro (Alvarado-García et al., 2014).

El estudio de la sucesión ecológica se basa en la disponibilidad de registros históricos, por lo que establecer una cronosecuencia de la comunidad vegetal se vuelve complejo cuando existe poca información. No obstante, los resultados de este estudio definen el estado de sucesión de manera indirecta, con base en la composición y estructura vegetal, así como las características del disturbio, a fin de dar un seguimiento de manera oportuna, sin tener que esperar el transcurso de más años para ello, a diferencia de procesos de monitoreo (Granados-Victorino et al., 2017).

Con respecto a la comparación de especies realizada con el ecosistema de referencia, esto tiene un valor significativo al ser el modelo para orientar el proceso de rehabilitación y una futura restauración ecológica. En ese sentido, encontrar nueve especies de 22 especies (41%) dentro del mismo, sugiere que la regeneración asistida y su trayectoria en cuanto a estructura y composición avanzan hacia un estado ideal (Aguilar y Ramírez, 2015).

La cantidad de esciófitas parciales en el sector 1 (3) se acerca al número de heliófitas durables (5), distinto de los sectores 2 y 3 donde se encuentra una esciófita parcial, esto permite inferir que hay un aumento de esciófitas parciales en el sector 1 tras alrededor de cuatro años de intervención, lo cual es un indicador de una mayor sostenibilidad del ecosistema y una posible convergencia hacia un estadio de sucesión ecológica superior (Calvo-Villalobos, Bermúdez-Rojas y Vega-Bolaños, 2018). Por su parte, esto sugiere el éxito de la técnica de nucleación implementada (Prado, 2012).

Los datos obtenidos en el estudio sugieren que la disminución en la cantidad de especies pioneras se relaciona con una mayor acumulación de biomasa (mayor diámetro de las especies muestreadas), lo cual se contrasta con los resultados del estudio de Granados-

Victorino et al. (2017). Al mismo tiempo, dicho estudio reconoce el DAP y el IVI como unas de las variables estructurales más importantes para reconocer las etapas de sucesión ecológica.

Por su parte, la dominancia de especies heliófitas durables en los sectores 2 y 3 puede considerarse un indicador de los efectos de los disturbios en el ecosistema, junto a una intervención más reciente para desplazar esas barreras, por ende, un estadio sucesional más temprano donde aún no hay un establecimiento considerable de esciófitas (Granados-Victorino et al., 2017).

Asimismo, el sector 3 es el que muestra un menor desarrollo de individuos. Si tomamos como ejemplo algunas especies que comparte con los otros dos sectores, como *Ficus* sp., *Erythrina berteroana*, *Tabebuia rosea* y *Samanea saman*, para todas estas especies el desarrollo en el sector 3 es menor, lo que sugiere que las barreras a la rehabilitación tienen un mayor impacto sobre esta área del ecosistema.

De esta forma, la diversidad de especies junto al desarrollo de los individuos, constituyen indicadores que permiten definir el avance sucesional en un área determinada. Así, el propósito de estos indicadores es que se continúen midiendo a lo largo del tiempo para conocer los resultados que está teniendo el proyecto, así como guiar el avance de acuerdo con esos resultados, identificar fallas y realizar ajustes.

Aguilar y Ramírez (2015), consideran en su guía que la participación local es un requisito para la viabilidad a largo plazo de un proyecto, como el que se lleva a cabo en el Cerro Espíritu Santo. En este caso, ya existe una apropiación por parte de pobladores locales organizados en pro del proyecto. Asimismo, parte del éxito de la intervención que se está realizando recae en la disponibilidad de un acompañamiento técnico adecuado.

Conclusiones

La caracterización de la vegetación leñosa permitió determinar la estructura y la composición de especies en cada sector, de modo que se pudo inferir sobre el estado del ecosistema en cuanto al proceso de sucesión ecológica.

La caracterización vegetal junto a la descripción de los principales disturbios permitió comparar e inferir sobre la afectación que tienen las barreras identificadas y el potencial de los mecanismos facilitadores.

Los resultados del estudio confirman que, el sector 1 con mayor tiempo de intervención activa, muestra un avance hacia un estadio sucesional más desarrollado. Mientras que, el sector 3, siendo el más reciente en intervenir, muestra un menor avance sucesional, un menor número de mecanismos facilitadores y, por ende, una mayor cantidad de barreras.

La diversidad de especies y el desarrollo de los individuos son indicadores vegetales que infieren sobre el estado sucesional del ecosistema, por lo que pueden utilizarse para sentar las bases, a fin de dar seguimiento al proceso de rehabilitación ecológica.

Esta investigación constituye un punto de partida sobre las condiciones actuales del ecosistema, las cuales no habían sido evaluadas desde que inició el proyecto en el 2013.

Referencias

- Aguilar, M., y Ramírez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9281/monitoreo_restauracion_baja_1.pdf
- Alvarado-García, V., y Zúñiga-Amador, M. A. (2020). *Plantas nativas para el control de la erosión*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Alvarado-García, V., Bermúdez, T., Romero, M., y Piedra, L. (2014). Plantas nativas para el control de la erosión en taludes de ríos urbanos. *Spanish Journal of Soil Science*, 4(1), 99-111. <https://n9.cl/izrd1>
- Araya-Gómez, D. M. (2018). *Propuesta de rehabilitación ecológica en sector este de Cerro Espíritu Santo en Naranjo, Alajuela*. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Avella-M., A., García-G., N., Fajardo-Gutiérrez, F., y González-Melo, A. (2019). Patrones de sucesión secundaria en un bosque seco tropical interandino de Colombia: implicaciones para la restauración ecológica. *Caldasia*, 41(1), 12-27. <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.65859>
- Barrientos-Llosa, Z., y Monge-Nájera, J. (2010). Restauración ecológica en la Meseta Central de Costa Rica. *Biocenosis*, 23(10), 20-25. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1240/1307>

- Campos-Lozano, P. F., y León-Díaz, M. Y. (2017). *Evaluación del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides) para la estabilización de un suelo erosionado en la finca El Limonar, Vereda Alto de la Palma, Melgar (Tolima)*. Tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad de Cundinamarca. Colombia. <https://n9.cl/uehczzr>
- Calvo-Villalobos, J. E., Bermúdez-Rojas, T., y Vega-Bolaños, H. (2018). Composición y estructura forestal del Corredor Biológico Interurbano Río Tibás, Heredia, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15(36), 09-19. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/3426/3140>
- Cascante, A., y Estrada, A. (2001). Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49 (1), 213-225. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/16873/16352>
- Collantes-Chávez-Costa, A., Granados-Sánchez, D., y López-Ríos, G. (2000). Sucesión de grupos ecológicos de árboles en una selva mediana subperennifolia secundaria. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 6(1), 5-14. <https://docplayer.es/49560270-Sucesion-de-grupos-ecologicos-de-arboles-en-una-selva-mediana-subperennifolia-secundaria.html>
- Corbin, J. D., y Holl, K. D. (2012). Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265, 37-46. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811271100627X>
- Fernández, I., Morales-San, N., Olivares-Dávila, L., Salvatierra-Caballero, J., Gómez-Unjidos, M., y Montenegro-Rizzardini, G. (2010). *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1363716217res_baja.pdf
- Fredericksen, T., Contreras, F., y Pariona, W. (2001). *Guía de Silvicultura para Bosques Tropicales de Bolivia*. Santa Cruz: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). https://issuu.com/edgarponce4/docs/guia_de_silvicultura_para_bosques_t
- Garro, M. (2011). *Recuperación del Bosque Húmedo Tropical 19 años después de la cosecha bajo cuatro sistemas de manejo forestal, en la Península de Osa, Costa Rica*. Tesis de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa

- Rica.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5984/recuperacion_bosque_huamedo_tropical.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- González-Castañeda, N., Cornejo-Tenorio, G., e Ibarra-Manríquez, G. (2010). El género *Ficus* (Moraceae) en la provincia biogeográfica de la Depresión del Balsas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87, 105-124.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/bsbm/n87/n87a9.pdf>
- Granados-Victorino, R. L., Sánchez-González, A., Martínez-Cabrera, D., y Octavio-Aguilar, P. (2017). Estructura y composición arbórea de tres estadios sucesionales de selva mediana subperennifolia del municipio de Huautla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(1), 1-14. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v88n1/2007-8706-rmbiodiv-88-01-00122.pdf>
- Herrera-Salazar, E. E. (2009). *Desarrollo de una formulación granular base para el control biológico de las hormigas forrajeras (Atta spp.)*. Tesis de Maestría en Agricultura Ecológica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1179/Desarrollo_de_una_formulacion_granular.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Holdridge, L. R. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2008). *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. San José.
- Murcia, C., y Guariguata, M. R. (2014). *La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades*. Bogor, Indonesia: CIFOR. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/occpapers/OP-107.pdf
- Open Source Geospatial Foundation. (2020). *QGIS 3.16 Hannover*. Consultado en agosto 2021. <https://www.qgis.org/en/site/index.html>
- Ortiz-Malavasi, E. (2009). *Atlas Digital de Costa Rica 2008*. Informe de Proyecto. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3140/infor_proyecto_atlas2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Prado, E. G. (2012). *Establecimiento y evaluación de una plantación forestal con mezcla de especies considerando su gremio ecológico, en La Virgen de Sarapiquí, Costa*

Rica. Tesis de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5750/ESTABLECIMIENTO_GREMIO_ECOLOGICO_SARAPIQUI.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez-Sánchez, O., Islebe, G. A., y Valdez-Hernández, M. (2007). Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, 9(2), 17-26. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49790203.pdf>

Terán-Valdéz, A., Duarte, N., Cuesta, F., y Pinto, E. (2018). *Practicando la restauración ecológica: el monitoreo y mantenimiento de áreas*. Quito-Ecuador: CONDESAN. <https://condesan.org/recursos/guia-la-restauracion-bosques-montanos-tropicales-modulo-4/>

Vargas-Ríos, O. (2011). Restauración Ecológica: Biodiversidad y Conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246. <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028008017.pdf>