

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

División de Educación

Programa de Posgrado

Análisis de la factibilidad técnica para la aplicación de la metodología Landscape Function Analysis en Costa Rica para determinar rasgos funcionales edáficos de los ecosistemas

Por

Melissa Céspedes Alvarado

Trabajo Final de Graduación sometido a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como requisito para optar al grado de:

Máster en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas

Turrialba, Costa Rica

2017

Este trabajo de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Asesor del estudiante, como requisito para optar por el grado de

División de Educación
Máster en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas

FIRMANTES:



Alejandro Imbach

Alejandro Imbach, M.Sc.
Director del Trabajo de Graduación

Mario Piedra

Mario Piedra, Ph.D.
Segundo lector

Isabel A. Gutiérrez-Montes

Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decana del Programa de Posgrado

Melissa Céspedes Alvarado

Melissa Céspedes Alvarado
Candidata

Programa de Posgrado

DEDICACIÓN

A la memoria de mis abuelos Haydée Rodríguez Rodríguez y Carlos Antonio Alvarado Umaña, quienes me proporcionaron una niñez llena de alegrías y buscaron en todo momento lo mejor para mí, alentándome en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Estatal a Distancia por el apoyo económico brindado en aras del fortalecimiento del capital humano de la institución. Dentro de esta agradecer de manera especial a don Oscar Bonilla Bolaños y Sra. Valeria Corrales Araya, quienes me facilitaron su apoyo ante las dependencias correspondientes.

Al profesor Sergio Velásquez Mazariegos, quien a pesar de las múltiples vicisitudes vividas durante esta maestría nos apoyó y alentó para enfrentar los contratiempos de la mejor forma.

Al asesor del Trabajo Final de Graduación el profesor Alejandro Imbach, fue un honor trabajar con un profesional tan renombrado y querido por la comunidad de estudiantes del CATIE.

Al grupo de compañeros y compañeras de la primera promoción 2015-2017 de la Maestría en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas (modalidad virtual) quienes, de manera unida, logramos afrontar toda la problemática suscitada de forma continua ante aquellas personas que intentaron cortarnos las alas.

A todos los pobladores del Territorio Indígena de Boruca quienes con su paciencia, picardía y alegría compartieron conmigo numerosas experiencias que me permitieron ser mejor persona.

Finalmente, pero no menos importante a la familia Lázaro-Morales los cuales me brindaron mucho cariño y energía para continuar mi crecimiento personal, académico y profesional.

BIOGRAFIA

La autora nació en la provincia de San José, Costa Rica el 26 octubre de 1988. Se graduó en la Escuela Centroamericana de Ganadería con el título de Diplomado en Educación Superior Parauniversitario en Manejo Forestal y Vida Silvestre en el año 2007, posteriormente cursó el grado de Bachiller en Manejo y Protección de Recursos Naturales en la Universidad Estatal a Distancia. Durante sus estudios, realizó una pasantía en la Universidad of Koblenz-Landau en Alemania sobre evaluación del riesgo ecotoxicológico mediante el uso de software libre. En el año 2015 inicia sus estudios de maestría en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE en Turrialba, Costa Rica donde se graduó como Mag. en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas en setiembre del año 2017. Actualmente, desempeña el cargo de Asesora Académica en la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Estatal a Distancia.

LISTA DE CONTENIDOS

Dedicación.....	iii
Agradecimientos	iv
Biografía	v
Resumen.....	xii
Abstract	xiii
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo General	6
1.2.2 Objetivos Específicos y preguntas de investigación.....	6
Capítulo 2. Marco Referencial.....	7
Capítulo 3. Metodología.....	15
3.1 Etapa 1 Análisis de la metodología LFA.....	15
3.2 Etapa 2 Revisión sistemática de fuentes de información.....	16
3.2.1 Estrategia de búsqueda	16
3.2.2 Extracción de datos.....	17
3.3 Etapa 3. Comprobación de la metodología	18
3.3.1 Validar el modelo en campo	18
Capítulo 4. Resultados y Análisis.....	22
4.1 Descripción de la metodología LFA.....	22
4.1.1 Descripción detalla de los pasos a seguir en la metodología FLA	24
4.1.1.1 Fase exploratoria	24
4.1.1.2 Determinar la configuración geográfica del sitio de estudio.....	24
4.1.1.3. Caracterización de la organización horizontal a escala de ladera	25

4.1.1.4. Evaluación de la superficie del suelo.....	26
4.1.1.5. Evaluación de la dinámica de la vegetación.....	27
4.1.2 Indicadores y criterios de interpretación	30
4.1.2.1 Procesamiento de los datos	37
4.2 Análisis comparativo del uso método LFA con relación a técnicas similares desarrolladas en Costa Rica y a nivel mundial.....	39
4.2.1 Estudio sobre funcionalidad de ecosistemas desarrollados en Costa Rica	39
4.2.2 Ventajas y limitaciones que posee LFA.....	43
4.2.3 Aplicación de la metodología LFA a nivel mundial	44
4.3. Verificación de la factibilidad de aplicación de la metodología LFA.....	49
4.3.1 Aplicación de LFA en campo en un paisaje neotropical en Costa Rica	49
Capítulo 5. Conclusiones.....	56
Capítulo 6. Recomendaciones.....	57
Capítulo 7. Literatura citada.....	58
Capítulo 8. Anexos.....	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Clasificación de los servicios ecosistémicos	9
Cuadro 2 Principales conceptos propuestos de ecosistema	13
Cuadro 3 Indicadores de evaluación de la superficie del suelo	28
Cuadro 4 Tabla de interpretación de indicadores de LFA	30
Cuadro 5 Indicadores para índice de estabilidad	37
Cuadro 6 Indicadores para índice de infiltración	37
Cuadro 7 Indicadores para índice de reciclado de nutrientes.....	38
Cuadro 8 Estudios relacionados con la ecología funcional desarrollados en Costa Rica	41
Cuadro 9 Aplicación de LFA a nivel mundial	47
Cuadro 10 Organización del Paisaje Finca Caú Sha [^] s	50
Cuadro 11 Organización del Paisaje Finca Laguna.....	51
Cuadro 12 Índices de LFA generados en el poblado de Boruca	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema efecto-respuesta.....	11
Figura 2 Transectos de estudio Finca Caú Sha [^] s y Finca Laguna.....	19
Figura 3 Evaluación de vertedero en Finca Laguna	20
Figura 4 Ejemplo de ingreso de datos en hoja de cálculo prediseñada	20
Figura 5 Diagrama de flujo del proceso metodológico para la implementación de LFA.....	23
Figura 6 Dirección de flujo de recursos en un paisaje para ubicación de transecto.....	25
Figura 7 Distribución de parches y vertederos	26
Figura 8 Curva de crecimiento sigmoïdal.....	38
Figura 9 Mapa de aplicación de LFA a nivel mundial.....	48
Figura 10 Identificación de tipos de parches en sitio análogo del bosque tropical	49
Figura 11 Presencia de hojarasca en sitios evaluados.....	52
Figura 13 Toma de datos en sitio de alta pendiente.....	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Instrumento de recolección de datos sobre descripción del sitio en estudio.....	69
Anexo 2 Herramientas y equipo de trabajo para LFA.....	70
Anexo 3 Instrumento de recolección de datos para la identificación de parches y vertederos	71
Anexo 4 Instrumento de recolección de datos para la evaluación de la superficie del suelo	72
Anexo 5 Instrumento de recolección de datos “método de los cuadrantes centrados en un punto” ...	73
Anexo 6 Datos de LFA colectados en campo	74

LISTA DE ACRONIMOS

CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
DTRP	Desencadenante-Transferencia-Reserva-Pulso
EEM	Evaluación de Ecosistemas del Milenio
EFA	Ecosystem Functional Analysis
FAO	Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
LFA	Landscape Function Analysis
MA	Millennium Ecosystem Assessment
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
TEC	Tecnológico de Costa Rica
TIB	Territorio Indígena de Boruca
UCR	Universidad de Costa Rica
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales
UNED	Universidad Estatal a Distancia

RESUMEN

Landscape Function Analysis (LFA) es una metodología de origen australiana enfocada en el estudio de la funcionalidad de los ecosistemas áridos, semiáridos o seco sub-húmedos, esta proporciona indicadores de alerta temprana, los cuales tienen como la finalidad determinar cómo inciden los procesos de transformación de los paisajes naturales según los flujos de energía presentes.

LFA permite identificar la distribución espacial de parches y vertederos en un mosaico específico, mediante la evaluación de 11 indicadores que se obtienen mediante procesos de observación sistemáticos, estos se encuentran categorizados por una serie de rangos los cuales generan los índices de estabilidad, infiltración y reciclado de nutrientes.

El marco conceptual de la metodología facilita el estudio de los procesos de degradación, determinando umbrales críticos en los ecosistemas edáficos, convirtiéndose en una herramienta con un alto potencial que permite un análisis integral del recurso suelo.

Según lo anterior, el propósito de este trabajo consistió en analizar la factibilidad técnica para la implementación de LFA en un paisaje tropical de Costa Rica, mediante una evaluación de las prácticas realizadas en el país en torno al tema de la ecología funcional. Así mismo, se realizó una búsqueda intensiva de los principales resultados obtenidos a nivel mundial para contar un panorama general del abordaje que se ha realizado bajo otros contextos.

Se verificó en dos sitios Finca Caú Sha[^]s (transecto análogo) y Finca Laguna (transecto degradado) del poblado de Boruca en Buenos Aires, Puntarenas el potencial de la aplicación en campo de LFA mediante la modificación del protocolo técnico adaptado a las condiciones imperantes en la localidad.

Se determinó que la implementación de LFA es viable en ecosistemas tropicales, pese a esto se requieren efectuar modificaciones en los sitios de referencia pues estos no poseen una delimitación clara, así mismo, la clasificación de las distintas categorías requiere de validaciones mediante pruebas de laboratorio que permitan definir claramente los rangos para la estimación de los índices.

Palabras claves: LFA, funcionalidad del ecosistema, parche, vertedero, estabilidad, infiltración, reciclado de nutrientes.

ABSTRACT

Landscape Function Analysis (LFA) is an Australian origin methodology, focused on the study of the functionality of the ecosystems in arid, semi-arid and dry sub-humid, it provides early warning indicators, which have the purpose to determine, how is the impact of the processes of transformation of the natural landscapes, according to the flows of energy present.

LFA allows to identify the spatial distribution of patches and inter-patches in a specific tile, through the evaluation of 11 indicators that are obtained through systematic observation processes, these are categorized by a series of ranges which generate the indexes of stability, infiltration and nutrient recycling.

The conceptual framework of the methodology facilitates the study of the degradation processes, identifying critical thresholds in ecosystems, becoming a tool with a high potential that allows an integral analysis of the landscape.

According to the above, the purpose of this work was to analyze the technical feasibility for the implementation of LFA in the tropical landscape of Costa Rica, through an evaluation of the practices carried out in the country on the issue of functional ecology. In addition, it was conducted an intensive search of the main results achieved at global level in order to get an overview of the approach which has been accomplished under other contexts.

It was verified in two farms: Caú Sha[^]s (similar transect) y Finca Laguna (gradient transect) of the village of Boruca in Buenos Aires, Puntarenas, the potentiality of the field application of the LFA by modifying the technical protocol adapted to the prevailing conditions on the locality.

It was determined that LFA have a great potential for its implementation in tropical ecosystems, although this requires modifications in the reference sites because they do not have a clear delimitation, and the classification of the different categories requires validations through tests of Laboratory that allow to define clearly the ranges for the estimation of the indices.

Keywords: LFA, functionality of the ecosystem, patch, landfill, stability, infiltration, recycling of nutrients.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema complejo formado por material no consolidado, mismo que se compone de una mezcla de partículas en constante cambio debido a la influencia de factores activos y pasivos; como ente natural organizado e independiente es el nexo entre lo inorgánico y lo orgánico. La formación o regeneración de este es muy lenta, debido a ello, se considera un recurso no renovable, el cual en la actualidad sufre múltiples presiones que están originando la escasez del mismo (Gardi *et al*, 20114).

Cabe señalar, que este recurso es el medio que define el régimen hídrico de las cuencas hidrográficas debido a que incide en la escorrentía superficial definiendo la evapotranspiración, infiltración, retención de agua y la cubierta vegetal que capta humedad; lo anterior, define los caudales punta o base y la recarga de acuíferos. Así mismo, la calidad del agua está relacionada con la carga de sedimentos, nutrientes, calidad bacteriológica, sustancias químicas, salinidad y régimen térmico presentes en el suelo (FAO, 2002).

Por tanto, es necesario comprender la influencia de los procesos físicos, químicos y biológicos asociados al suelo, ya que estos indican directamente en el flujo de agua requerida para el mantenimiento de las poblaciones humanas, quienes desarrollan distintas actividades que modifican el recurso edáfico, produciendo efectos acumulativos producto de la combinación de estas intervenciones y su alternancia o similitud a través del tiempo, por ejemplo, un evento de precipitación extrema tiene efectos acumulativos que pueden generar erosión o inundaciones (Blanco, 2017).

Por consiguiente, cualquier alteración en la superficie del suelo tiene un impacto en la cuenca hidrográfica; tomando en cuenta que en la actualidad gran porcentaje de las tierras son modificadas por actividades antrópicas que inciden de forma negativa en la calidad de este recurso, es necesario implementar acciones de manejo que aseguren el uso sostenible de la capa edáfica.

Sin embargo, en la actualidad no basta con efectuar acciones de conservación pasivas del suelo en áreas representativas, ya que el aumento de la población a nivel mundial está generando presión en los ecosistemas, con la finalidad de abastecer sus múltiples requerimientos.

Dado que, la degradación y destrucción de los ecosistemas es hoy en día una realidad la cual reduce la calidad los servicios ecosistémicos que permiten el mantenimiento de las poblaciones

humanas, se ha generado la necesidad de efectuar acciones tendientes a la recuperación o restauración de los ecosistemas degradados, pues de lo contrario, las amenazas en los paisajes naturales tenderán a aumentar de forma desacelerada y, por tanto, las afectaciones al ser humano también se acrecentarán.

De manera que, en caso de presentarse una presión excesiva en un determinado ecosistema se puede generar una degradación que atraviese el umbral de recuperación limitando la provisión de los servicios que proporciona el suelo. Por lo tanto, conocer los atributos de resiliencia (la capacidad de un sistema para absorber la perturbación y reorganizarse durante el cambio de manera que todavía conservan esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentación), adaptabilidad (capacidad para manejar la resiliencia) y transformabilidad (crear un sistema o ambiente nuevo) son indispensables dentro de los sistemas socio-ecológicos (Walker *et al* 2004).

Sobre el tema, Newton y Tejedor (2011) señalan que, en aquellos paisajes con altos niveles de degradación existen una serie de limitantes que, impiden el restablecimiento de sitios perturbados, tales como: la inexistencia de una fuente de propágulos, impedimento para la germinación o establecimiento de plántulas y perturbaciones que ocasionan una alta mortalidad de especies vegetales en crecimiento; bajo estas condiciones es necesario implementar métodos de restauración activa en donde se identifiquen sitios con una mayor probabilidad de regeneración natural, para lo cual se requiere tomar en cuenta la funcionalidad ecológica asociada al suelo.

Al respecto conviene decir que, debido al aumento de ecosistemas degradados y la escasez de fondos destinados al manejo de los recursos naturales; la identificación de las áreas y componentes o funciones del ecosistema que requieren recuperación se ha convertido en un desafío para la comunidad científica. De esta manera surge la necesidad de contar con métodos innovadores, los cuales permitan la obtención de información sobre las zonas que requieren procesos de restauración o del estado de degradación de un ecosistema como tal, mediante la identificación de umbrales ecológicos (Maestre y Cortina, 2004).

De acuerdo con lo mencionado, surge la necesidad de contar con indicadores fiables que permitan la obtención de datos los cuales permitan la toma de decisiones, es así como, estos indicadores de calidad del suelo deben poseer características tales como: describir procesos del ecosistema, integrar las propiedades del suelo, reflejar atributos medibles, ser sensitivos a las variaciones del ambiente, accesibles a muchos usuarios, aplicables en condiciones de campo, de fácil

comprensión y reproducción y en la medida de lo posible, que permitan la integración con bases de datos existentes (Bautista, Etchevers, del Castillo y Gutiérrez, 2004).

Una metodología basada en indicadores que posee las características anteriormente descritas es Landscape Function Analysis o LFA desarrollada por David Tongway y colaboradores en Australia, la cual, permite evaluar la funcionalidad del suelo generando información sobre variables biofísicas lentas, las cuales permiten determinar la capacidad productiva del recurso edáfico (Maestre, 2011).

Esta herramienta de estudio permite identificar aquellos elementos del paisaje que interrumpen, desvían o absorben la escorrentía superficial y materiales transportados, es a partir de lo anterior que, se logran identificar zonas de ganancia relativa de recursos (sumideros) y zonas de pérdida relativa (vertederos), lo que contribuye a identificar aspectos importantes de la organización del paisaje. Posteriormente, cada zona es caracterizada por medio de 11 indicadores de la superficie del suelo, lo cuales al combinarse generan información sobre la funcionalidad de este, mediante los índices de estabilidad o resistencia a la erosión, infiltración o capacidad para almacenar agua y reciclaje de nutrientes (Maestre, 2011; Asian Development Bank, 2013).

Conocer estas características dentro de una cuenca hidrográfica, permite determinar el grado de pérdida o retención de recursos en un área específica, por medio, del análisis basado en la interacción entre la vegetación y el suelo, esto reflejará el estado de procesos ecosistémicos base para el mantenimiento de las poblaciones humanas, de esta forma la datos obtenidos mediante la aplicación de LFA pueden convertirse en el insumo principal para realizar acciones tendientes al manejo sustentable del recurso edáfico o la implementación de procesos de restauración ecológica pasiva o activa.

LFA se basa en los principios de la ecología del paisaje o estudio de las interacciones entre los aspectos temporales y espaciales, así como, de sus componentes bióticos, abióticos y culturales; determinando de las características estructurales y morfológicas de un territorio en un momento específico y como su evolución a lo largo del tiempo incide a nivel de la funcionalidad ecológica (Forman y Godron 1986).

Esta área de estudio enfatiza en tres características principales: la estructura, la funcionalidad y el cambio, lo cual, de manera integral se traduce en como los componentes de un determinado

paisaje que poseen relaciones entre ellos y otras unidades paisajísticas operando de forma conjunta a través del tiempo (Vila et al. 2006).

Dentro del marco de la configuración de la ecología del paisaje, existe un referente teórico fundamental llamado "la teoría de la dinámica metapoblacional", la cual señala que una determinada población se encuentra dividida en subpoblaciones que poseen una relativa independencia, pero al mismo tiempo están conectadas por procesos de emigración o inmigración; estos intercambios de flujos de individuos mantienen un equilibrio, sin embargo, si esta relación se rompe la población tenderá a disminuir su tamaño y, por tanto, tendrá mayores posibilidades de extinguirse (Levins 1969).

Partiendo de los supuestos anteriores, Pulliam (1988) establece la dinámica metapoblacional del tipo fuente-vertedero, abordada por LFA, la cual establece que en algunas poblaciones los individuos ocupan fragmentos de diferentes calidades, aquellas subpoblaciones que se desarrollan en áreas productivas donde localmente el éxito reproductivo es mayor que la mortalidad se le considera fuente, mientras que los fragmentos menos productivos con una alta tasa de mortalidad son vertederos, mismos que están propensos a sufrir extinción de las poblaciones si no existe procesos demográficos de inmigración de especies.

Hansen (2011) indica que el concepto de fuente-vertedero en la dinámica de la población tiene gran relevancia, ya que esto define si existe viabilidad de las poblaciones presentes en los ecosistemas naturales. Lo cual permite generar información fundamental para la toma de decisiones enfocada a generar esfuerzos para la restauración o protección de paisajes claves que permitan a la comunidades presentes y futuras la obtención de bienes y servicios ambientales.

Uno de los conceptos que articula los aspectos anteriores, es el de desencadenante-transferencia-reserva-pulso o "DTRP" en entidades biofísicas, el cual indica que existe un desencadenante (lluvia o viento), el cual inicia procesos de transferencia (escorrentía o erosión) en donde se redistribuyen recursos como el agua, la materia orgánica o las semillas, sin embargo, algunos de estos recursos se pierden o son almacenados como reserva los cuales pueden producir un pulso de mineralización de nutrientes y crecimiento vegetal (Ludwig y Tongway 2007).

Sin embargo, los estudios que han tomado como base la metodología LFA basada en los criterios de DTRP, se han centrado en el análisis de paisajes áridos, semiáridos o seco subhúmedos, ya que esta fue diseñada específicamente para este tipo de ecosistemas, de ahí que esta técnica ha

permitido evaluar los procesos de desertificación mediante la comparación de sitios con distintos grados de degradación o la evaluación de los cambios a través del tiempo en áreas de baja precipitación.

Debido a la importancia de la valoración de los aspectos funcionales a nivel de suelo considerados por el LFA, es necesario valorar si su implementación es viable bajo las condiciones de paisajes tropicales o señalar posibles modificaciones o adaptaciones que se requieran, de modo tal, que se generen datos concluyentes que permitan el manejo de los recursos edáficos existentes.

Por tanto, la finalidad de este estudio de tipo exploratorio es analizar de la factibilidad técnica para la aplicación de la metodología LFA, como una forma novedosa para identificar los rasgos funcionales de la capa edáfica antes señalados (estabilidad, infiltración y reciclaje de nutrientes) de paisajes naturales del trópico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Analizar de la factibilidad técnica para la aplicación de la metodología Landscape Function Analysis en Costa Rica para determinar los rasgos funcionales de los ecosistemas a nivel edáfico mediante los índices de estabilidad, infiltración y reciclaje de nutrientes.

1.2.2 Objetivos Específicos y preguntas de investigación

OE1- Describir la metodología LFA para establecer el protocolo técnico a utilizar en condiciones tropicales.

- ✓ ¿Cuáles son los pasos a seguir en la metodología?
- ✓ ¿Cuáles son las variables del diseño a registrar en campo?

OE2- Elaborar un análisis comparativo del uso de LFA en relación a técnicas similares desarrolladas en Costa Rica y a nivel mundial.

- ✓ ¿Cuáles herramientas de estudio sobre funcionalidad de ecosistemas se han desarrollado en Costa Rica?
- ✓ ¿Cuáles estudios costarricenses contienen aspectos similares a los de LFA?
- ✓ ¿Cuáles son los principales resultados obtenidos en la aplicación de la metodología a nivel mundial?

OE3- Verificar en un paisaje natural la factibilidad de aplicación de la metodología propuesta.

- ✓ ¿Cuáles es el resultado de la aplicación de la metodología LFA en campo en un paisaje tropical?
- ✓ ¿Cuáles son los elementos de LFA que requieren adaptarse para las condiciones ambientales del Neotrópico de Costa Rica?

CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL

El Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (1992) define la biodiversidad como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente y los complejos ecológicos de los que forman parte; recientemente se reconoce la importancia dentro de este concepto del uso de los recursos y las transformaciones derivadas de estos organismos (Salgado y Paz 2016).

Otra definición importante es la de ecosistema, sin embargo, no hay un único consenso que sea capaz de indicar de forma puntal este concepto (ver tabla 2). Un trabajo de análisis del término realizado por Armenteras *et al.* (2015) concluye que la aproximación de "conjunto de organismos y su medio físico interactuando en un lugar" facilita el entendimiento de los sistemas naturales con un alto grado de organización, además, tiene la ventaja de ser globalmente aplicable y flexible pues no está supeditado a una escala temporal ni espacial y puede adaptarse casi a cualquier situación.

Para los ámbitos de este estudio se destaca también la definición de ecosistema realizada por la EEM (2003), la cual menciona que este es un complejo dinámico de comunidades de flora y fauna con el medio inorgánico, los cuales interactúan como una unidad funcional y dentro del cual el ser humano es parte integral.

Comprender esta relación de heterogeneidad y disturbios en los espacios naturales es el objetivo principal de la ecología del paisaje, la cual plantea una serie de interrogantes basadas en ¿cómo los organismos responden a múltiples escalas de heterogeneidad en sus ambientes?, ¿cómo la heterogeneidad del paisaje afecta la propagación de los disturbios naturales y antrópicos? y ¿cómo los organismos responden a múltiples escalas de disturbios? (Vargas 2002).

La arquitectura biofísica de un ecosistema tiene una composición de especies que la configuran, esto es entendido como la estructura ecosistémica, mientras que cualquier cambio o reacción que ocurre en los ecosistemas, ya sea física, química o biológica (descomposición, producción, ciclos de nutrientes y flujos de nutrientes o energía) corresponde a un proceso ecosistémico (TEEB 2010).

Las funciones del ecosistema son el subconjunto de las interacciones entre la estructura del ecosistema y los procesos que sustentan la capacidad de estos para proporcionar bienes y servicios, los bloques de construcción de las funciones del ecosistema son las interacciones entre la estructura y los procesos, que pueden ser físicos (infiltración de agua, movimiento de sedimentos), productos químicos (reducción, oxidación) o biológica (fotosíntesis y desnitrificación) (TEEB 2010).

Cardinale *et al.* (2011) señala que cuando mayor sea la riqueza de especies mayor es la magnitud de algunos procesos del ecosistema, así mismo, Quijas *et al.* (2010) indica que existe una relación inversamente proporcional entre la riqueza de especies con la capacidad de provisión de servicios.

Así mismo, la Organización Mundial de la Salud (2005) indica que los ecosistemas que tienen mayor diversidad se consideran generalmente más estables, productivos y resistentes a la invasión y a otros tipos de alteraciones. En base a lo anterior, es esencial comprender el rol de la biodiversidad sobre el funcionamiento de los ecosistemas pues la biota es la protagonista principal en el ciclado y flujo de energía (Flombaum y Sala 2011).

Según la EEM (2005 a) los servicios ecosistémicos (ver cuadro 1) son los beneficios que los seres humanos obtienen directa e indirectamente de los ecosistemas. Mientras que las funciones de son definidas como la capacidad de determinado paisaje para proveer servicios que satisfagan a la sociedad, lo cual, implica una dimensión social desde una perspectiva antropocéntrica, pues estas solo existen si hay alguien en algún lugar que se beneficia (Martín-López *et al*/2007).

Dentro de los servicios que ofrecen los ecosistemas destacan los servicios de soporte los cuales mantienen los procesos de los ecosistemas y permiten la provisión del resto de los servicios (Sánchez-Gómez y Rocha-Gil, 2014). Por tanto, un desequilibrio en estos genera fuertes afectaciones a las poblaciones humanas las cuales logran percibir la problemática cuando, por lo general, el estado de degradación se encuentra avanzado.

Así mismo, el suelo es el recurso base para generar los servicios de soporte, por cuanto, es indispensable para la generación de los ciclos biogeoquímicos, es el mayor sumidero de carbono, producen biomasa, almacenan y filtran el agua, es fuente de materias primas siendo el soporte de las actividades humanas, es la reservas más importantes de biodiversidad por el elevado número de organismos que viven en la superficie y en el interior del mismo, es el depósito del patrimonio geológico o arqueológico y es el entorno físico y cultural para la humanidad (Burbano-Orjuela, 2016).

No obstante el cambio en el uso del suelo como producto del crecimiento demográfico mundial genera que los servicios ecosistémicos se encuentren en un estado de declive, estos procesos de cambio de los sistemas naturales para sustentar los modos de vida cada vez más sofisticas y confortables de las sociedades humanas en constante aumento, se han acentuado durante la segunda

mitad del siglo XX, periodo en el cual se experimenta un nivel de interferencia con la maquinaria del planeta de grandes dimensiones (MA 2005 b).

Cuadro 1 Clasificación de los servicios ecosistémicos

Servicios de suministro	Servicios de regulación	Servicios culturales	Servicios de base
<i>Productos obtenidos de los ecosistemas</i>	<i>Beneficios obtenidos de la regulación de procesos</i>	<i>Beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas</i>	<i>Servicios necesarios para la producción de otros servicios</i>
Alimentos	Regulación de clima	Espiritual y religioso	Formación de suelos
Agua dulce	Regulación de enfermedades	Recreativo y turístico	Reciclaje de nutrientes
Leña	Regulación y saneamiento del agua	Estético	Producción primaria
Fibras	Polinización	Inspirativo	
Bioquímicos		Educativo	
Recursos genéticos		Identidad del sitio	
		Herencia cultural	

Fuente: Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005 a)

Si bien es cierto los sistemas ecológicos están sometidos a cambios ambientales de escala espacial y temporal variable, no es posible explicar estas transformaciones únicamente por la dinámica climática y los regímenes naturales de perturbación, más aún, cuando existen actividades antrópicas que son agentes poderosos de modificación (Gurrutxaga y Lozano 2008).

Son diversas estas presiones y cambios de origen antropogénico que se viven en la actualidad, algunas de estas son:

-Aumento de las áreas de cultivos: cerca de un cuarto de la superficie de las tierras del planeta está bajo este sistema de producción de alimentos, para lo cual se ha utilizado fertilizantes manufacturados que contienen elevadas cantidades de nitrógeno y fósforo, que han llegado a las fuentes de agua incentivando la desaparición de la vida acuática e incrementando la aparición de plagas. Además, los altos requerimientos de agua que necesitan los cultivos han cambiado el flujo de los diversos reservorios.

-Introducción de especies exóticas: en la medida que existen mayor cantidad de opciones para el traslado de las personas se ha propiciado intercambios de especies, lo cual puede cambiar drásticamente los sistemas locales y los servicios que estos proveen.

- Cambio del clima: el uso de fuentes de energía como carbón, petrolero y gas natural liberan grandes cantidades de carbono que son retenidas en la atmósfera atrapando más cantidad de calor del sol transformando los regímenes climáticos de forma acelerada, generando que sea más difícil para las especies trasladarse a zonas más adecuadas o adaptarse a las nuevas condiciones mediante el desarrollo de mecanismos apropiados para su supervivencia.

- Reducción en la variedad de especies: la conversión de los suelos ha creado un paisaje menos diversificado que excluye a muchas de las especies que antes ocupaban estos espacios, el ritmo global de las extinciones es de hasta 1000 veces mayor con respecto al ritmo "natural" típico de los largos períodos de la historia de la Tierra y las proyecciones indican que a futuro las extinciones serán diez veces mayor que el ritmo actual (MA 2005 a).

Este tipo de presiones pueden generar cambios catastróficos de forma repentina que conviertan los paisajes en sistemas homogéneos como respuesta a estas tensiones externas, repercutiendo en los ecosistemas irregulares que frecuentemente muestran un comportamiento dinámico no lineal (Rietkerk *et al* 2004).

En relación con lo mencionado, se encuentra una dimensión que se encarga de definir el grado de diferencia de rasgos funcionales entre y dentro de las especies conocido como diversidad funcional (Mason *et al.* 2013), por lo tanto, contar con índices que describan el estado de un determinado sitio

es fundamental para conocer cómo se encuentran los procesos de ensamblaje de las comunidades (Mason *et al.* 2008).

Estos rasgos pueden ser morfológicos, fisiológicos o fenológicos y se obtienen a través de medidas a nivel individual sin referencia al ambiente o cualquier otro nivel de organización, esto permitirá descubrir como los mismo impactan el éxito biológico a través de sus relaciones con el crecimiento, reclutamiento y mortalidad (Violle *et al.* 2007).

Un ejemplo de lo anterior, fue en estudio realizado por Miranda *et al.* (2013) el cual permitió definir los efectos de los rasgos morfológicos y ecofisiológicos de árboles neotropicales en la transferencia de agua y nutrientes al suelo, dentro los principales resultados se identificó que rasgos funcionales como fue el tamaño o fuerza tensil del área foliar y la longitud del pecíolo de las especies se correlacionaron positivamente con la diferencia entre el contenido de nutrientes en el agua recogida bajo y fuera de la copa.

Salgado y Paz (2016) indican que los individuos con rasgos de respuesta adecuados para sobrevivir y reproducirse bajo ciertas condiciones ambientales determinarán la composición y dominancia relativa de las especies en la comunidad, misma que se alterará impactando los procesos del ecosistema vía cambios en la representación de los rasgos de efecto (ver figura 1).

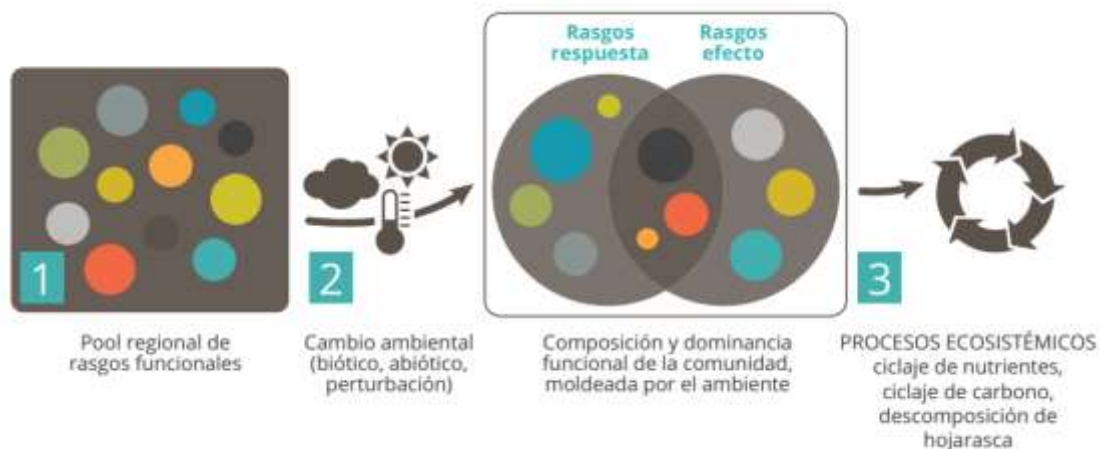


Figura 1 Esquema efecto-respuesta

Fuente: Salgado y Paz 2016

Si bien es cierto, la clasificación de especies según sus atributos funcionales no es nueva, el desarrollo teórico de como los organismos responden al cambio ambiental y sus impactos en los procesos del ecosistema no siempre conto con un esquema conceptual definido (Salgado y Paz 2016).

Tomando en cuenta que, el sistema edáfico es el principal medio por el cual se viabiliza el retorno de nutrientes a la vegetación que a su vez mantienen otros organismos circunstante, el ciclaje y nutrientes del suelo en los paisajes naturales son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas, por lo tanto, la interrupción de estos procesos generan desequilibrios que inciden en la funcionalidad ecológica (Nilsson *et al.* 1995).

Dado que la precipitación fluye a través de las vías de circulación rápida o macroporos del suelo originados principalmente por raíces muertas y la actividad animal, minimizando las vías de circulación capilar (Moreno *et al.* 1996). Las concentraciones de elementos en la precipitación constituyen los valores referenciales para evaluar las modificaciones del agua a su paso por el bosque, mismas que varían entre coberturas a medida que dicho flujo atraviesa el dosel, cae al piso forestal y se infiltra en el suelo. Las concentraciones de la solución que alcanzan el suelo dependen de la calidad de la precipitación y de los procesos que ocurren durante su transferencia al dosel (Ranger, Marques y Jussy 2001).

Así mismo, la composición del suelo es el resultado de entradas de elementos ya sea a través de procesos hídricos o eólicos, por tanto, la producción interna de elementos por mineralización de la materia orgánica del suelo y la meteorización dependerá de la intensidad de diversos factores (profundidad del suelo, movilidad de las soluciones, requerimientos del rodal, entre otros) y los mecanismos individuales que dificultan la identificación de interacciones entre ellos (Ranger, Marques y Jussy 2001).

La FAO (2011) prevé que las lluvias aumentarán en los trópicos y latitudes más altas, sin embargo, disminuirán en las zonas que ya tienen carácter seco y semiárido o en el interior de los grandes continentes, por lo tanto, se espera que eventos hidrometeorológicos como sequías e inundaciones se produzcan con mayor frecuencia, lo anterior afectará de dinámica de los ecosistemas a nivel global.

La adaptación en base a los ecosistemas facilita: el manejo integrado del recurso hídrico reconociendo el rol de las cuencas hidrográficas, los bosques y la vegetación asociada en la regulación de los flujos de agua; reduce el riesgo de desastres mediante la restauración de hábitats (por ejemplo, manglares); contribuye a asegurar la provisión de alimentos frente a condiciones climáticas cambiantes mediante la sinergia de conocimiento local y la diversidad genética de los cultivos y evita los incendios forestales mediante el manejo de matorrales y arbustos (UICN 2012).

Cuadro 2 Principales conceptos propuestos de ecosistema

Año	Concepto	Autoría
1942	Sistema integrado de procesos físicos, químicos y biológicos dentro de una unidad espacio-temporal de cualquier magnitud.	Lindeman
1954	Cualquier parte de la superficie terrestre donde la biocenosis se mantiene uniforme, como también lo hacen las partes correspondientes de la atmosfera, litosfera, hidrosfera y pedosfera.	Soukatchev
1956	Unidad básica tan importante para la ecología como lo es la especie para la taxonomía.	Evans
1961	Unidad topográfica, objeto geográfico, extendido sobre una parte específica de la superficie de la Tierra por un tiempo determinado. Esto lo hace único en el espacio y en el tiempo.	Rowe
1971	Unidad que incluye todos los organismos en un área determinada que interactúan con el ambiente físico, y por lo tanto el flujo de energía define de manera clara las estructuras tróficas, la diversidad biótica y los ciclos de materiales dentro del sistema o el ecosistema. El ecosistema es la unidad básica fundamental en la ecología.	Odum
1973	Sistema interactivo, conformado por los organismos bióticos y su ambiente abiótico.	Ellenberg
1980	Biocenosis homogénea desarrollada dentro de un ambiente homogéneo.	Duvigneaud
1981	Un ecosistema consiste en organismos vivos en un ambiente abiótico, que se comportan como un sistema debido a que existen relaciones dinámicas específicas entre estos componentes. Además, tiene una característica cibernética ya que existe una coordinación, regulación, comunicación, y el control de estas relaciones.	McNaughton y Coughenour
1981	Un ecosistema consiste de componentes bióticos y abióticos que cambian y evolucionan juntos, este término implica una unidad de coevolución.	Jordana
1992	Complejos que las entidades individuales, tales como células, organismos, entidades inorgánicas, etc., forman con su entorno. Los ecosistemas son un todo cuyas partes incluyen a los vivientes y no vivientes, procesos y su asociado biogeográfico y físico-químico, energético, materiales y parámetros de información dentro de un tiempo y espacio, junto con porciones de los alrededores de estas unidades.	Jorgensen, Patten y Straskraba
1992	Un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos, y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional, y en el que el hombre se considera como parte integral (Artículo 2, CDB).	CDB
1993	La comunidad y el ambiente abiótico funcionan conjuntamente como un sistema ecológico o ecosistema.	Odum
1993	Un ecosistema es una estructura de interacción de los organismos y su medio inorgánico, que es abierto y, en cierta medida, capaz de autorregularse.	Klötzli

1994	Componentes bióticos y abióticos de relevancia ecológica directa e indirecta son parte del ecosistema y tienen un carácter jerárquico en la estructura y los procesos, lo que significa que hay dependencia entre los componentes. Además, los ecosistemas se pueden distinguir a diferentes escalas.	Klijn y Udo de Haes
1997	Una unidad que comprende a una comunidad (o comunidades) de organismos y su ambiente físico y químico, a cualquier escala (especificada), en la que hay flujos continuos de materia y energía	Willis
1997	No son entidades identificadas y definidas por límites. Son ensamblajes que exhiben patrones característicos sobre un rango de escalas de tiempo y espacio, y organización compleja.	De Leo y Levin
2000	Un ecosistema es una comunidad biológica y su medio ambiente que hacen parte de un único sistema, en este sentido, el ecosistema es el primer nivel en el orden jerárquico tradicional de los sistemas biológicos y se ha utilizado ampliamente para describir una unidad relativamente discreta de la naturaleza.	Blair, Collins y Knapp
2000	Sistema biótico y funcional, capaz de mantener la vida incluyendo todas las variables biológicas. Donde la escala espacial y temporal no se especifica a priori, sino basado en los objetos de estudio del ecosistema.	Jorgensen y Muller
2001	Sistemas abiertos que intercambian materia, energía y organismos entre ellos, diferenciándose arbitrariamente.	Noss
2011	Sistema integrado por una comunidad de {0...n} sistemas bióticos dentro de un único sistema físico conocido como la arena.	Gignoux, Davies, Flint y Zucker

Fuente: Armenteras *et al.* (2015)

CAPÍTULO 3. METODOLOGIA

El presente trabajo tuvo un alcance de tipo exploratorio, pues su eje central consistió en examinar el uso de la metodología LFA en el contexto de paisajes tropicales, de esta forma se identificaron las potencialidades en el uso de indicadores de fácil aplicación que permitan analizar qué efectos ejercen ciertas prácticas humanas sobre fenómenos o condiciones que se desarrollan dentro de los ecosistemas naturales con especial atención en la capa edáfica.

Debido a que el tema en estudio ha sido poco explorado bajo el contexto tropical, se empleó un enfoque de índole cualitativa para explorar la adaptabilidad de LFA en la zona intertropical húmeda, ya que la metodología fue elaborada inicialmente para el estudio de paisajes áridos o semiáridos.

La técnica de observación se basó en la búsqueda de elementos conceptuales que permitieran comprender cómo se logra la obtención, procesamiento y análisis de datos de LFA. También, se realizó un proceso de comparación de las metodologías aplicadas en Costa Rica hasta la actualidad y finalmente se verificó el éxito obtenido en la aplicación bajo otras condiciones ambientales a nivel internacional.

Se exploraron diversos documentos relacionados con el tema central, estos se organizaron en bases de datos en donde a cada unidad encontrada se le asignó una descripción de los principales aspectos relacionados con la funcionalidad de los ecosistemas edáficos, para determinar patrones en el uso y así lograr vincular la información para generar una interpretación.

Se realizó un análisis bajo un enfoque sistémico, mismo que consistió en entender el objeto de estudio como un conjunto de elementos en interacción constante, por lo tanto, el proceso metodológico se conformó por las siguientes etapas de observación:

3.1 Etapa 1 Análisis de la metodología LFA

Se procesó la información contenida en las metodologías LFA (Tongway, 1995) o EFA (Tongway, Hindley y Setyawan, 2003), con el fin de determinar los principales componentes y como estos se relacionan para generar información, bajo determinados mecanismos que aseguren la toma de datos de forma sistemática y así verificar una situación en un determinado espacio mediante el análisis racional.

LFA cuentan con un proceso de clasificación basado en 11 indicadores, los cuales se encuentran divididos en una serie de rangos que evalúan la superficie del suelo, las referencias actuales de estos se basan en las condiciones imperantes en ecosistemas áridos o semiáridos, por lo cual, se analizaron las tablas actuales y se evaluó la factibilidad de aplicación o las modificaciones requeridas de las distintas clases, acordes de los ecosistemas tropicales.

Posteriormente, se inspeccionaron los instrumentos de recolección de datos en campo preexistentes (plantillas) tanto para la descripción de los transectos con sus respectivos parches y vertederos, como de las utilizadas en la evaluación a nivel de suelo mediante los indicadores, esto permitió la validación del protocolo técnico adaptado a las condiciones imperantes en condiciones tropicales.

Así mismo, se valoró si las aplicaciones ofimáticas diseñadas para el procesamiento de datos funcionan con los cambios que se requieran ejecutar para sintetizar información que permita la toma de decisiones.

3.2 Etapa 2 Revisión sistemática de fuentes de información

Se recopiló información bibliográfica sobre procesos enfocados al análisis del paisaje funcional de los ecosistemas mediante la consulta de fuentes de distintos autores y localidades, estos registros de información se obtuvieron de diversas fuentes documentales o sociedades científicas dedicadas al estudio del tópico principal de este trabajo.

3.2.1 Estrategia de búsqueda

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda a través de los portales o bases de datos de índole científica como:

- Biblioteca Conmemorativa Orton IICA/CATIE
- CAB Direct
- Centro de Información, Documentación y Recursos Bibliográficos (UNED)
- Dialnet
- EBSCO Industries
- Elsevier
- Google Académico
- JStor

- ProQuest
- ResearchGate
- Sistema de Biblioteca, Documentación e Información (UCR)
- Sistema de Bibliotecas del TEC
- Sistema de Información Documental de la Universidad Nacional
- Thomson Reuters

En todos los repositorios se buscaron trabajos finales de graduación, documentos técnicos y artículos científicos publicados por diferentes sociedades y asociaciones profesionales.

Se realizaron dos búsquedas con límite de fecha del año 2000 al 2017 e incluyendo artículos tanto en inglés como en español, tomando como base la siguiente estrategia de búsqueda avanzada de descriptores y operadores booleanos:

"ecología del paisaje" in TX texto completo AND Costa Rica in TX texto completo

"Landscape Function Analysis" in TX texto completo AND "Tongway" in TX texto completo NOT "Tongway" in AU Autor

3.2.2 Extracción de datos

Durante la búsqueda inicial se localizaron la mayor cantidad de recursos posibles con información referente al tema, para luego excluir aquellos que no fueron relevantes para el objetivo de esta revisión, esta selección se basó en la exploración de los resúmenes y conclusiones de cada documento y en caso necesario se realizó una revisión total, con el fin de discernir si la información estaba relacionada con procesos atinentes a la funcionalidad de los ecosistemas edáficos.

Se diseñó una herramienta a modo de base de datos que permitió la comparación de las diversas investigaciones desarrolladas en Costa Rica hasta el momento, en donde se contemplaron aspectos como:

- Año de publicación
- Ubicación geográfica
- Método de estudio utilizado
- Tipo de fuente (nota técnica, artículo científico, tesis, libro)
- Autor
- Resultados principales
- Repositorio

Se procedió bajo los mismos conceptos de búsqueda, con el fin de identificar los sitios a nivel mundial en donde se ha empleado LFA unificando aquellos elementos relacionados con ecosistemas áridos que permitan su adaptabilidad hacia otras zonas con características distintas.

3.3 Etapa 3. Comprobación de la metodología

3.3.1 Validar el modelo en campo

Se realizó una visita inicial durante el mes de noviembre 2016 al poblado de Boruca, Buenos Aires, Puntarenas sitio que cuenta con características socio-ambientales complejas en donde converge un modelo de desarrollo basado en el uso de los recursos naturales como fuente de vida de los pobladores. En este sitio se realizaron recorridos que permitieran la identificación de posibles sitios de estudio, una vez identificados se procedió a describir las características generales para delimitar los paisajes presentes (ver anexo 1).

De esta forma se seleccionaron dos sitios de estudio, a saber:

Sitio 1. Sitio análogo con bosque secundario y presencia de un estrato arbóreo asociado a una pendiente cercana a fuentes de agua.

Sitio 2. Ladera asociada a actividades humanas con una pendiente pronunciada y afectada por procesos erosivos.

El sitio 1 correspondió a la Finca Caú Sha[^]s la cual presenta una extensión aproximada de 15 ha. ubicada en el centro del poblado indígena, posee una fuente natural de agua que brota de la tierra espacio que ha sido protegido, por tanto, cuenta con bosque secundario y presencia de diversas especies de fauna, pues al contar con

agua durante todo el año es considerado como un paso de gran importancia para animales silvestres.

El sitio 2 se ubica en la Finca Laguna al costado sur del poblado de Boruca tienen una extensión aproximada de 50 ha., lugar en donde se realizan una serie de actividades de alto impacto a los ecosistemas como siembra de pastos para la ganadería, cultivos básicos, tala ilegal y procesos de restauración ecológica asistida en etapa inicial. Además, tiene gran importancia cultural pues la finca fue un paso ancestral de indígenas, por lo tanto, es posible encontrar objetos arqueológicos aún no descritos.

En ambos sitios se realizó un transecto lineal asociado a una pendiente utilizando una cinta métrica (ver figura 2) e identificando el punto de inicio y fin con un GPS, posteriormente se clasificaron y midieron los tipos de parches y vertederos (ver anexo 3) existentes mediante un proceso de demarcación.



Figura 2 Transectos de estudio Finca Caú Sha[^]s y Finca Laguna

Una vez determinada la configuración de los transectos se inició el proceso de validación de los 11 indicadores a nivel de la superficie de suelo (ver anexo 4) en cada tipo de parches y vertedero identificado (ver figura 3).



Indicadores del vertedero

- I1 Ninguna protección ante el golpeo de gotas de lluvia 1
- I2 Poca o ninguna cobertura basal 1
- I3 Baja presencia de materia orgánica 2tn (transportada, nula)
- I4 Suelo arenoso o no se observa una cubierta estable 0
- I5 No existe costra biológica 0
- I6 Pedestalizante moderado 2
- I7 Muy poca cantidad de material depositado aluvial 4
- I8 Superficie poco rugosa o pedregosa la cual muestra signos mínimos de retención de recursos 2
- I9 Superficie arenosa 1
- I10 Suelos arenosos 0
- I11 Arcilla arenosa margas de arcilla arenosa 2

I= Indicador

Figura 3 Evaluación de vertedero en Finca Laguna

Seguida de la fase de campo se ingresaron los datos correspondientes a todos los parches y vertederos en la hoja de cálculo en Excel, al cual posee un formato prediseñado en donde se generan de forma automática los índices correspondientes (ver figura 4).

<u>Soil Surface Assessment</u>			
<u>Location:-</u>	Buenos Aires, Puntarenas		
<u>Zone:-</u>	Vegetacion Leñosa		
Features	Max score	Rep1	Rep 2
Soil Cover	5	4	2
Per. basal / canopy cover	4	3	2
Litter cover, orig & incorp.	10	3ln	4ls
Cryptogam cover	4	0	0
Crust broken-ness	4	0	0
Erosion type & severity	4	2	2
Deposited materials	4	4	2
Soil surface roughness	5	3	3
Surface resist. to disturb.	5	1	1
Slake test	4	0	0
Texture	4	2	2

Figura 4 Ejemplo de ingreso de datos en hoja de cálculo prediseñada

Tomando de http://members.iinet.net.au/~lfa_procedures/

Finalmente se evaluó si la información obtenida corresponde a los supuestos del marco referencial de LFA, analizando posibles modificaciones tanto en las plantillas de recolección de datos en campo, categorización de los indicadores y de la hoja electrónica.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Descripción de la metodología LFA

El procedimiento metodológico para la aplicación de LFA contempla una serie de actividades y procedimientos, mismos que requieren seguir un orden específico (ver figura 5) para obtener datos concluyentes. Entre los pasos a seguir se contempla:

- 1- Fase exploratoria para esta actividad se requiere utilizar una hoja de campo que permita la descripción inicial del sitio en estudio y así determinar el contexto general que influye en el estado actual del ecosistema.
- 2- Determinación la configuración geográfica a nivel de pendientes en donde se ubicarán transectos.
- 3- Caracterización de la organización horizontal a escala de ladera en donde se identificarán los parches y vertederos, esta información se recopilará de igual forma en una hoja de campo, estos datos permitirán la generación de índices referente a la estructura de los parches y la organización general de los transectos.
- 4- Evaluación de la superficie del suelo proceso mediante el cual se evalúa la capa edáfica y la vegetación mediante 11 indicadores que se incorporan en una base de datos, generando tres indicadores claves: estabilidad del suelo, infiltración del agua de lluvia y reciclaje de nutrientes
- 5- Evaluación de la dinámica de la vegetación aplicando el método de los cuadrantes centrados en un punto que permite determinar la estructura y composición de la vegetación.
- 6- Finalmente, se elabora un informe del estado de la capa edáfica y los elementos que inciden en esta, mediante los resultados generados de forma automática en una hoja de Excel prediseñada.

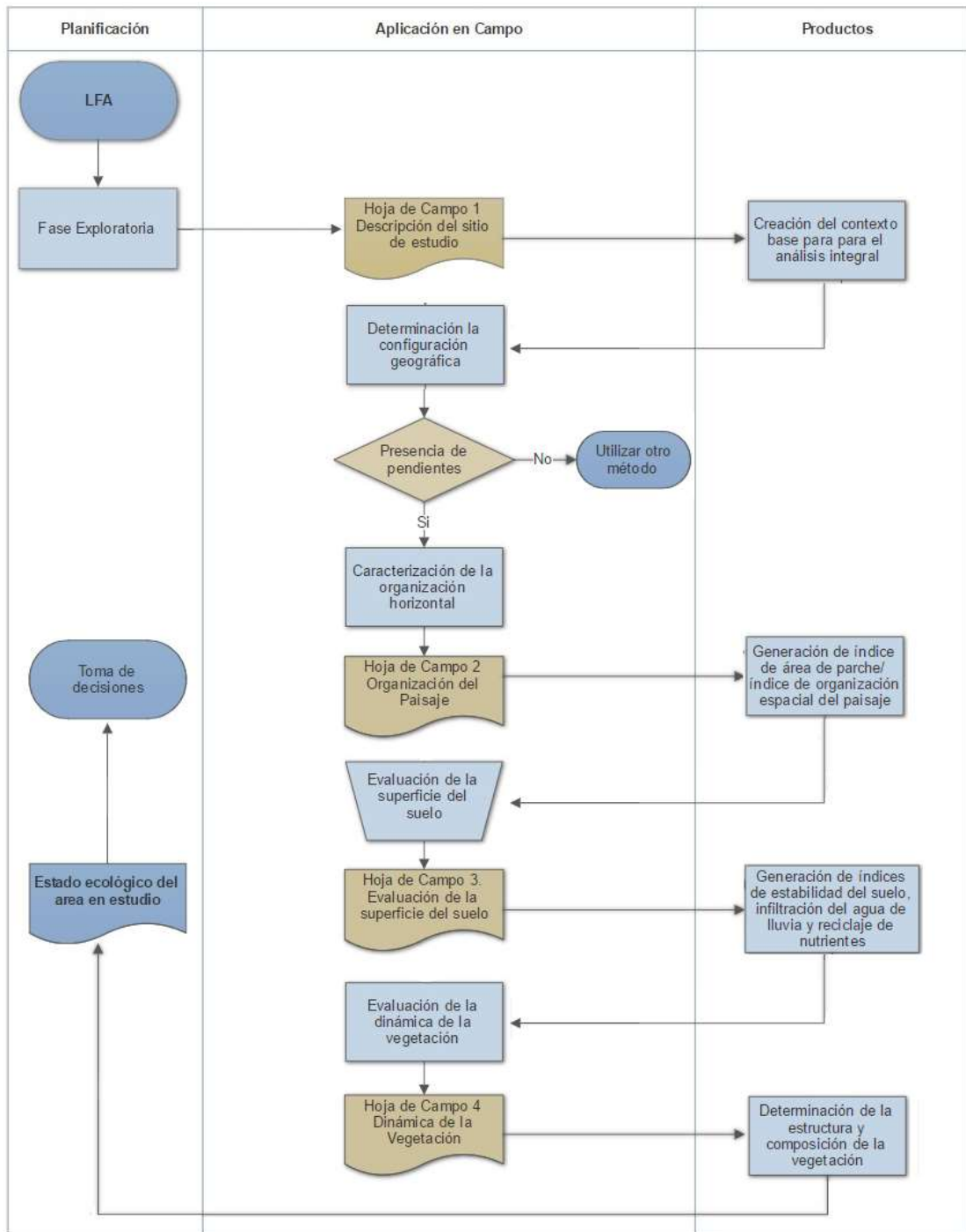


Figura 5 Diagrama de flujo del proceso metodológico para la implementación de LFA
Fuente: elaboración propia

4.1.1 Descripción detalla de los pasos a seguir en la metodología LFA

4.1.1.1 Fase exploratoria

Elaborar cartografía básica de la zona de estudio, en donde, se determinen aspectos topográficos como pendientes máximas y mínimas, cuencas, zonas con afectaciones debido perturbaciones (deforestación, quemas, entre otros) señalando posibles puntos de importancia.

Generar información base en campo, mediante visitas en las cuales se obtengan datos básicos por medio de la observación directa, lo anterior, tiene como finalidad la identificación de zonas homogéneas en donde se establecerán transectos.

Se recomienda realizar acercamientos con informantes claves de la localidad quienes conozcan el sitio y así realizar de forma conjunta recorridos dentro de las posibles zonas de estudio.

Es necesario definir sitios que a posterior permitan la comparación de datos, por tanto, se recomienda realizar evaluaciones en donde se obtenga una perspectiva de las unidades de paisaje por medio de una descripción general (ver anexo 1), estableciendo áreas de estudios según grados de perturbación (sitio análogo o la mejor representación de la condición deseada, sitio con perturbación moderada y sitio con perturbación elevada), esto permitirá el establecimiento de parámetros comparativos.

4.1.1.2 Determinar la configuración geográfica del sitio de estudio

Antes de iniciar esta fase se debe verificar que el equipo humano conozca cómo manejar las herramientas de trabajo (ver anexo 2), esto asegura una toma de datos exitosa, así mismo, se recomienda hacer pruebas de uso antes de llegar a la zona de estudio.

LFA se basa en el análisis de flujo de energía relacionado a pendientes, por lo tanto, se deben ubicar sitios con pendiente moderada en donde existan procesos de escorrentía hídrica o eólica, esto permitirá la evaluación de la diferencia de almacenamiento de agua o nutrientes necesario para determinar la acumulación o pérdida de recursos (ver figura 6).



Figura 6 Dirección de flujo de recursos en un paisaje para ubicación de transecto

Fuente: Asian Development Bank, 2013

Una vez definidas las pendientes a analizar, se ubicarán transectos según la fisiografía del terreno y las características propias de la cobertura vegetal, este se trazará tomando como referencia la línea máxima de pendiente.

Se georreferenciará el punto de inicio y con el uso de la brújula se obtendrá el rumbo en grados esto permitirá marcar el eje del transecto, de forma simultánea se realizará el recorrido con la cinta métrica de agrimensor para medir la longitud al finalizar se tomará el punto final con GPS.

En caso de presentarse un cambio en la dirección del flujo de recursos en la pendiente, se deberá crear una curva o punto de inflexión y nuevamente definir el rumbo con la brújula. En base a lo anterior, se requiere de observación detallada en campo, para determinar la influencia de los procesos hídricos o eólicos y así definir con exactitud las secciones en donde exista mayor paso de energía.

4.1.1.3. Caracterización de la organización horizontal a escala de ladera

Definido el transecto con la cinta métrica tensa mediante puntos de inicio y fin claramente establecidos, se procederá a la identificación de los parches y los vertederos que señala la línea previamente demarcada (ver figura 7).

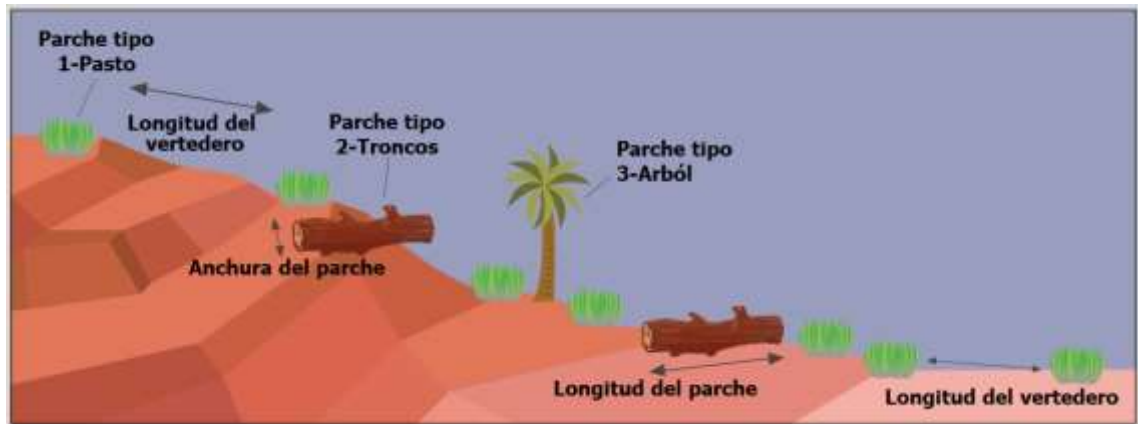


Figura 7 Distribución de parches y vertederos

Fuente: Asian Development Bank, 2013

El material aluvial o basura facilitará el reconocimiento de los parches ya que estos se encargan de detener el flujo de agua de la escorrentía favoreciendo el filtrado de sedimentos y materia orgánica.

Para la caracterización de la organización horizontal se medirán los siguientes parámetros (ver anexo 3):

- 1- Cantidad de obstrucciones por unidad de longitud de la línea de transecto
- 2- Distancia media e intervalo de los parches
- 3- Anchura de los parches que se encuentran perpendicular a la línea del transecto
- 4- Identificación de la composición de parches y vertederos
- 5- Observaciones generales de parches y vertederos
- 6- Toma de fotografía hacia abajo de la línea de transecto de cada parche y vertedero

4.1.1.4. Evaluación de la superficie del suelo

Todo parche o vertedero identificado en el transecto requiere la valoración de las propiedades de la superficie del suelo (ver cuadro 3 y 4) sobre la base lineal evitando mirar el transecto en su conjunto pues esto puede introducir un sesgo de sitios "interesantes", esta debe estar compuesta por un mínimo de cinco ejemplos de cada parche o vertedero, en caso que, el terreno no lo permita se necesita otra zona de consulta que lo permita.

4.1.1.5. Evaluación de la dinámica de la vegetación

La metodología de Tongway se complementa con el método de los cuadrantes centrados en un punto creado (ver anexo 5) por el Laboratorio de Ecología Vegetal de Wisconsin, la cual permite determinar parámetros de disposición espacial, horizontal y la abundancia de la vegetación una zona en específico (Cámara y Díaz, 2013).

Cuadro 3 Indicadores de evaluación de la superficie del suelo

Indicador	Significado	Índice	Descripción
1-Cobertura total del suelo	Estima la vulnerabilidad a la erosión por golpeo de las gotas de lluvia	Estabilidad	Vegetación perenne de 0.5 m de altura, rocas mayores de 2 cm, material leñoso mayor a 1 cm de diámetro u otro material inamovible que cubra el suelo (se excluye vegetación efímera, plantas de alturas mayores a los 0.5 m y material en descomposición)
2- Cobertura basal de especies herbáceas y arbustivas	Evalúa la contribución de la biomasa subterránea de las raíces de plantas perennes en los procesos de reciclaje de nutrientes	Infiltración Reciclaje de nutrientes	Determinará la cobertura de la vegetación perenne incluyendo gramíneas perennes y arbustos. La contribución de las plantas anuales se considera funcionalmente como mantillo.
3-Cobertura de hojarasca, origen y grado de descomposición	Indica la disponibilidad de materia orgánica superficial para la descomposición y el reciclaje de nutrientes	Infiltración Reciclaje de nutrientes	Se requiere medir tres propiedades de la hojarasca: Cobertura (1-10) cuando la presencia del material abarque toda el área se requiere medir la profundidad comprimiendo el material con la palma de la mano para evitar medir aire o espacios vacíos. Origen: Local (l) derivado de plantas que crecen muy cerca del área de consulta y no muestra signos de transporte o deposición por corrientes de viento o de agua Transportado (t) material en descomposición que tiene signos claros de ser lavada o soplada a la ubicación actual. Grado de descomposición: Nula (n): la materia orgánica está dispersa sobre la superficie con pocos signos de descomposición e incorporación. Leve (s): la materia orgánica se descompone en pequeños fragmentos y se encuentra en contacto con el suelo, algunos fragmentos pueden estar parcialmente enterrados. Moderada (m): existen varias capas distintas de materia orgánica y alguna de estas presenta ataque fúngico es visible, así mismo la capa próxima al suelo se encuentra algo húmeda. Extensiva (e): existe al menos 3 capas de materia orgánica en descomposición, presencia de material fresco en la parte superior, a partir de los 20 mm hay presencia de humedad con dificultad para identificar fragmentos del material, el suelo mineral puede tener un oscurecimiento orgánico.
4-Cobertura de costra biológica (formada por cianobacterias, musgos y líquenes)	Indicador de la estabilidad de la superficie del suelo, resistencia a la erosión y disponibilidad de nutrientes	Reciclaje de nutrientes	Cobertura de algas, hongos, líquenes, musgos o hepáticas en la zona de estudio

5-Grado de fragmentación de la costra	Mide la cantidad de costra superficial disponible para la erosión hídrica o eólica	Estabilidad	Modificaciones físicas del sustrato en donde exista una relación de organismos no vasculares y a su interacción con las capas más superficiales del suelo mediante la formación de grietas
6-Tipo y grado de erosión	Estima la naturaleza y severidad de los procesos erosivos actuales	Estabilidad	<p><u>-Pedestalizante:</u> eliminación de suelo a una profundidad mayor de varios cm, pudiendo estar el nivel del suelo original protegido y fijado por las raíces de las plantas supervivientes (normalmente leñosas) que forman una columna de suelo al nuevo nivel</p> <p><u>-Terrazas:</u> paredes verticales que caen de 1 a 10 cm y que están alineados al contorno de la dirección de la pendiente.</p> <p><u>-Surcos:</u> son canales cortados por flujo de agua. Los canales son menores de 300 mm, mientras que los barrancos son mayores con 300 mm.</p> <p><u>-Escaldante:</u> es el resultado de una pérdida importante de material del horizonte superficial del suelo.</p> <p><u>-Laminar:</u> eliminación progresiva de capas muy finas a lo largo de áreas extensas.</p>
7-Materiales depositados	Evalúa la naturaleza y cantidad de material aluvial transportado y depositado en la zona de consulta	Estabilidad	Presencia o ausencia de material aluvial depositado el cual puede ser transportado por procesos hídricos o eólicos
8-Microtopografía	Indicador de la rugosidad de la superficie del suelo en base a su capacidad para retener agua, sedimentos y semillas	Infiltración Reciclaje de nutrientes	Aspereza superficial del suelo que permite evaluar la rugosidad de la superficie (incluye material rocoso), es necesario tomar en cuenta que las depresiones en la superficie son (la mayor parte del tiempo) consideradas como regiones que permiten la captura de recursos dentro del paisaje
9- Resistencia a la perturbación	Estima la probabilidad de perder suelo por una perturbación mecánica	Estabilidad	Evaluación que se realiza únicamente en suelo seco, se debe tomar en cuenta que una superficie de terreno muy dura implica una elevada resistencia mecánica pero una muy baja infiltración debido a su baja porosidad
10-Test de durabilidad	Evalúa la estabilidad/dispersión de los agregados del suelo cuando está húmedo	Estabilidad Infiltración	Prueba Slake: evalúa la resistencia a la abrasión de fragmentos al medir el porcentaje de material que se pierde al colocar una muestra de suelo de 1 cm x1 cm en un tamiz de 1 mm x1 mm y sumergirla en agua destilada durante 1 min (la prueba se realiza en suelo seco, en caso de encontrarse húmeda se requiere secar al aire libre)
11-Textura	Indicador de la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua	Infiltración	Método de textura superficial del suelo: tomar una muestra de suelo entre los 0-5 cm de profundidad suficiente como para llenar la palma de la mano se procede a humedecerla formando una bolita la cual se amasará por 1-2 min y se evalúa la cohesión entre las partículas

Fuente: Tongway y Hindley, 2004; Tomás, y Gil, 2011; Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad de las Filipinas Los Baños.

2014.

4.1.2 Indicadores y criterios de interpretación

LFA consta de 11 indicadores, los cuales a su vez se encuentran categorizados bajo una serie de parámetros, mismos que se logran obtener en campo mediante la interpretación de las condiciones ambientales del sitio en estudio, lo anterior, permitirá la determinación de una serie de rangos (ver cuadro 4) compuesto por números ordinarios que facilitará la toma de datos en campo, la información obtenida se colocará en una hoja en Excel¹ la cual permite procesar los datos, así se generarán los índices de escorrentía, infiltración y reciclaje de nutrientes que permitan definir el estado funcional del ecosistema.

Cuadro 4 Tabla de interpretación de indicadores de LFA

Indicador	Categoría	Interpretación	Rango
	1% o menos	Ninguna protección ante el golpeo de gotas de lluvia	1
1-Cobertura total del suelo	Del 1 al 15%	Baja protección ante el golpeo de gotas de lluvia	2
	Del 15 al 30%	Moderada protección ante el golpeo de gotas de lluvia	3
	30 a 50%	Alta protección ante el golpeo de gotas de lluvia	4
	Más del 50%	Muy alta protección ante el golpeo de gotas de lluvia	5

¹ LFA hojas de recolección de datos en campo en idioma ingles y hoja en Excel para procesamientos de datos http://members.iinet.net.au/~lfa_procedures/

Indicador	Categoría	Interpretación	Rango
2- Cobertura basal de especies herbáceas y arbustivas	1% o menos	Poca o ninguna cobertura basal	1
	1% a 10%	Leve cobertura basal	2
	10% al 20%	Moderada cobertura basal	3
	Más del 20%	Alta cobertura basal	4
		Ninguna presencia de materia orgánica	
	< 1%-10%	Baja presencia de materia orgánica	1
	10-25 %	Moderada presencia de materia orgánica	2
	25-50 %	Alta presencia de materia orgánica	3
	50-75 %	Muy alta presencia de materia orgánica	4
	75-100 %	Muy alta presencia de materia orgánica	5
3- Cobertura de hojarasca, origen y grado de descomposición	100% cubierta y entre 0-20mm de espesor	Muy alta presencia de materia orgánica y espesor de 0-20 mm	6
	100% cubierta y entre 21-70mm de espesor	Muy alta presencia de materia orgánica y espesor de 21-70 mm	7
	100% cubierta y entre 70-120mm de espesor	Muy alta presencia de materia orgánica y espesor de 70-120 mm	8
	100% cubierta y entre 120-170mm de espesor	Muy alta presencia de materia orgánica y espesor de 120-170 mm	9
	100% cubierta y más de 170mm de espesor	Muy alta presencia de materia orgánica y espesor mayor a 170 mm	10

Indicador	Categoría	Interpretación	Rango
4- Cobertura de costra biológica	No aplicable	Suelo arenoso o no se observa una cubierta estable o la superficie del suelo está cubierta por materia orgánica	0
	1% o menos	No hay costra biológica pero hay suficiente corteza estable para que los criptogramas se establezcan	1
	1% a 10%	Poca presencia de costra biológica	2
	10% a 50%	Moderada presencia de costra biológica	3
	Más del 50%	Alta presencia de costra biológica	4
5- Grado de fragmentación de la costra	Sin costra biológica	No existe costra biológica (no aplica si hay presencia de suelo arenoso o suelto, suelo arcilloso auto quebrante, el suelo se encuentra cubierto de por vegetación perenne)	0
	Corteza presente elevadamente fragmentada	Grandes grietas poligonales con bordes definidos	1
	Corteza presente moderadamente fragmentada	Corteza estable con grietas curvadas evidentes	2
	Corteza presente ligeramente fragmentada	No hay evidencia de formación grietas, existe presencia de criptógamas que muestra que la corteza es estable	3
	Corteza presente poco o nada fragmentada	Suelo liso con algún registro de formación de grietas pero sin bordes definidos	4

Indicador	Categoría	Interpretación	Rango
6- Tipo y grado de erosión	Pedestalizante severo		1
	Terraza severa		1
	Surco severo		1
	Escaldante severo		1
	Pedestalizante moderado		2
	Terraza moderada		2
	Surco moderado		2
	Laminar ligera		3
	Laminar insignificante		4
		Más de un 50 % de material depositado	Una cantidad significativa de material aluvial depositado (suelo) con varios centímetros de profundidad se ha asentado en la zona de consulta y se encuentra disponible para ser transportado por escorrentía superficial
7-Materiales depositados	Entre 20% a 50% de material depositado	Una cantidad considerable de material aluvial de pocos centímetros de profundidad se ha depositado entre material rocoso	2
	Entre 5%20% de material depositado	Una cantidad baja de material aluvial fino depositado	3
	Entre 0-5% de material depositado	Muy poca cantidad de material depositado aluvial dentro de la zona de consulta está disponible para ser arrastrado por erosión	4

Indicador	Categoría	Interpretación	Rango
	Menos de 3 mm de rugosidad	Superficie lisa con poca o ninguna presencia de asperezas en la superficie del suelo	1
	De 3-8 mm de rugosidad o depresiones someras	Superficie poco rugosa o pedregosa la cual muestra signos mínimos de retención de recursos	2
8-Microtopografía	De 8-25 mm de rugosidad o depresiones profundas	Superficie moderadamente rugosa que permite una retención baja de recursos	3
	De 25-100 mm de rugosidad o depresiones con una base visible de retención de recursos	Superficie altamente rugosa que permite una retención alta de recursos debido a depresiones hechas por rocas y partes donde la superficie del suelo está elevada	4
	De más de 100 mm de rugosidad con depresiones o rocas que permiten la retención prolongada de recursos	Superficie muy altamente rugosa que permite una retención alta de recursos de forma permanente	5

Indicador	Categoría	Interpretación	Rango
	Corteza de arena suelta	Superficie arenosa la cual se rompe fácilmente con los dedos hasta la segunda articulación de los nudillos	1
	Corteza fácil de romper	La superficie se rompe fácilmente con los dedos hasta la primera articulación de los nudillos	2
	Corteza moderadamente dura y quebradiza	Se requiere de un implemento plástico para romper la superficie (no es capaz de romperse con los dedos)	3
9- Resistencia a la perturbación	Corteza es muy dura y quebradiza	Se requiere de un implemento metálico para romper la superficie (no es capaz de romperse con los dedos) ya que esta es muy dura debido a la remoción completa de la capa superficial	4
	Corteza no quebradiza	Se caracteriza por ser una superficie elástica cuando es presionada, generalmente se encuentra en un bosque secundario en donde se visualiza una capa organiza (Horizonte A), la superficie no presenta corteza física	5

Indicador	Categoría	Interpretación	Rango
	No aplicable	Suelos arenosos	0
	Suelo muy inestable	La muestra se desintegra en menos de 5 segundos (puede surgir burbujas muy finas)	1
10- Test de humectación	Suelo inestable	La muestra se desintegra en 5-10 segundos; una superficie delgada de la corteza no se desintegra	2
	Suelo moderadamente estable	La muestra permanece intacta con algún grado de desintegración, pero este no es mayor al 50%	3
	Suelo muy estable	La muestra permanece intacta (pueden surgir burbujas de gran tamaño)	4
	Muy lenta tasa de infiltración	Arcilloso limoso con arcilla pesada	1
11- Textura	Lenta tasa de infiltración	Arcilla arenosa margas de arcilla arenosa	2
	Moderada tasa de infiltración	Limo arcilloso	3
	Alta tasa de infiltración	Arenas o arenas arcillosas	4

Fuente: Tongway y Hindley, 2004; Tomás, y Gil, 2011; Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad de las Filipinas Los Baños. 2014.

4.1.2.1 Procesamiento de los datos

La metodología LFA cuenta con una herramienta en Excel que procesa los datos obtenidos en campo de forma automática. Como primer paso es necesario comprender cuales indicadores son utilizados para generar los índices de estabilidad (ver cuadro 5), infiltración (ver cuadro 6) y reciclado de nutrientes (ver cuadro 7).

Cuadro 5 Indicadores para índice de estabilidad

# de indicador	Índice de Estabilidad	Valor máximo
1	Cobertura total del suelo	5
3	Cobertura de hojarasca	10
4	Cobertura de costra biológica	4
5	Grado de fragmentación de la costra	4
6	Tipo y grado de erosión	4
7	Materiales depositados	4
9	Resistencia a la perturbación	5
10	Test de humectación	4
Total		40

Fuente: Tongway y Hindley, 2004

Estos índices se generan mediante la variación porcentual o media aritmética que proporcionan los distintos valores obtenidos en campo, con respecto a los valores de referencia que posee cada indicador.

Cuadro 6 Indicadores para índice de infiltración

# de indicador	Índice de Infiltración	Valor máximo
2	Cobertura basal de especies herbáceas y arbustivas	4
3	Cobertura de hojarasca, origen y grado de descomposición	30
8	Microtopografía	5
9	Resistencia a la perturbación	10
10	Test de humectación	4
11	Textura	4
Total		57

Fuente: Tongway y Hindley, 2004

Para el índice de estabilidad el indicador numero 8 correspondiente a cobertura de hojarasca no toma en cuenta el origen y grado de descomposición, mientras que para los indicadores de infiltración y reciclado de nutrientes si se toman en cuenta mediante los siguientes factores: origen transportado (t) y descomposición nula (n) factor 1, origen local (l) factor 1,5, descomposición leve factor 1,3, descomposición moderada factor 1,7 y descomposición extensiva factor 2,0 (Tongway y Hindley, 2004).

Cuadro 7 Indicadores para índice de reciclado de nutrientes

# de indicador	Índice de Infiltración	Valor máximo
2	Cobertura basal de especies herbáceas y arbustivas	4
3	Cobertura de hojarasca, origen y grado de descomposición	30
4	Cobertura de costra biológica (formada por cianobacterias, musgos y líquenes)	4
8	Microtopografía	5
Total		43

Fuente: Tongway y Hindley, 2004

Para el análisis de los resultados obtenidos se procede a interpretar la curva sigmoideal (ver figura 8), en donde los valores más elevados representan una alta funcionalidad del paisaje mientras los inferiores señalan que las condiciones del sitio se encuentran en riesgo.

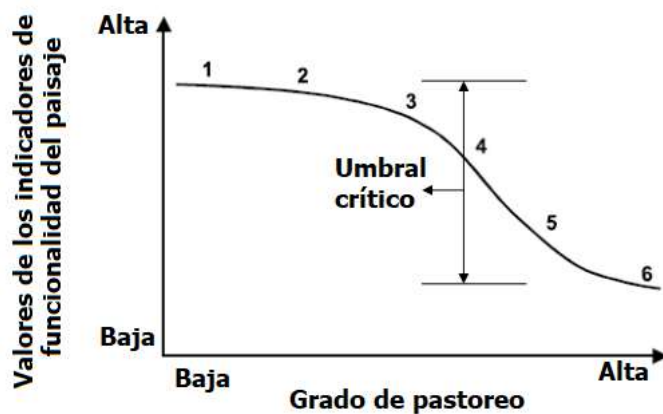


Figura 8 Curva de crecimiento sigmoideal

Fuente: Tongway y Hindley, 2004

Los valores del umbral critico de cada índice de calculan mediante la ecuación: $CT = [(valor\ más\ alto - valor\ más\ bajo) / 2] + valor\ más\ bajo.$

4.2 Análisis comparativo del uso método LFA con relación a técnicas similares desarrolladas en Costa Rica y a nivel mundial

4.2.1 Estudios sobre funcionalidad de ecosistemas edáficos desarrollados en Costa Rica

LFA busca establecer las relaciones entre las características edáficas y de organismos vegetales determinando como estos componentes del paisaje transforman un determinado ambiente propiciando una serie respuestas ante procesos de cambio.

Con base a lo anterior, se procedió a realizar una búsqueda de estudios con acciones desarrolladas en Costa Rica (ver cuadro 8) orientadas a evaluar ciertos rasgos de las comunidades biológicas.

Se encontraron 19 documentos relacionados con el tópico en estudio, todos estos poseen ciertos componentes que de forma aislada se encuentran relacionados con la funcionalidad de los ecosistemas, sin embargo, específicamente no mencionan procesos desarrollados ampliamente el área de la ecología funcional. Tomando como base la fecha de publicación de estos es posible observar que es hasta inicios del año 2000 mayoritariamente, que en el país se genera discusión de índole científica bajo preceptos afines a la funcionalidad del paisaje, lo cual permite inferir que las interrogantes en este ámbito son de carácter reciente.

Un elevado porcentaje de los procesos de investigación desarrollados en Costa Rica se enfocan en realizar una descripción de la composición vegetal o en el comportamiento de una única especie. Sobre el tema Martín-López *et al* (2007) señala que los procesos que regulan el funcionamiento de los ecosistemas son difícilmente asignables a una especie particular, ya que no se puede definir la contribución relativa de cada especie en un proceso concreto, pues no se logran establecer relaciones causales entre las características de los organismos presentes y los procesos en los paisajes.

Con respecto, a los sitios de aplicación es posible notar que se han realizado estudios generales a nivel nacional, mientras que de forma específica la provincia de Puntarenas es el área geográfica en donde se han ejecutado mayores procesos de investigación, de igual forma, resalta el hecho que en la capital no se registran acciones que promuevan la generación de nuevo conocimiento en el tópico del estado de los paisajes naturales, pese a que es San José una de las áreas más degradadas a

nivel país por los procesos de cambio del suelo presentados producto de la urbanización.

Destaca en las metodologías de estudio aplicadas, el uso de Sistemas de Información Geográfica, como medio para la generación de gran cantidad de datos y análisis de información de diversa índole, lo cual proporciona insumos gráficos que facilitan la comprensión de los estudios ejecutados.

Así mismo, los estudios en el país resaltan el uso de equipo diverso caracterizado por ser sofisticado y específico para la toma, el procesamiento o análisis de los datos; situación que genera una gran variedad de datos únicos en regiones diversas del país. Lo anterior, no permite la integración de la información, por tanto, son procesos de investigación aislados que no permiten la articulación de los esfuerzos de exploración realizados por los diversos especialistas.

La experiencia efectuada en el bosque seco de Costa Rica para restaurar un paisaje degradado mediante la incorporación de la cáscara seca de naranja en un pastizal, lo cual propicio la atracción de diversas especies de insectos y de forma paulatina de otras especies de fauna, es una práctica innovadora que fomenta el uso de desechos de empresas procesadoras de frutas para aumentar la dinámica de la diversidad biológica cercana al sitio en estudio.

Este tipo de investigaciones caracterizadas por tener un enfoque experimental e incorporar alternativas de solución para mejorar la calidad del paisaje natural, se convierte en una experiencia replicable para subsanar los problemas existentes en diversos espacios degradados en el territorio nacional, utilizando recursos de fácil adquisición que en ocasiones son catalogados como improductivos dentro del sector productivo.

Cuadro 8 Estudios relacionados con ecología funcional desarrollados en Costa Rica

ID	Año	Autor	Sitio	Método de estudio utilizado	Tipo de fuente
1	1999	Clark, D.B y Clark, D. A	Heredia	Inventario forestal determinando el efecto que ejerce la pendiente, el tipo de suelo y el almacenamiento de carbono en la estructura vegetal	Artículo científico
2	2003	Harvey et al	Guanacaste	Inventario de la composición florística según la estructura y arreglo espacial de las cercas vivas	Artículo científico
3	2006	Murrieta, E	Cartago	Caracterización de la vegetación según la relación entre variables ambientales y tipos de bosque	Tesis M. Sc
4	2008	Céspedes et al	Puntarenas	Alternativas de conectividad estructural usando por software Arcview 3.3, Erdas Imagine 8.5 y ENVI 4.0.	Artículo científico
5	2008	Arias, E et al	Costa Rica	Diseño de rutas de conectividad según el nivel de dificultad de desplazamiento de especies usando ArcView 3.3	Artículo científico
6	2009	Morera, C	Puntarenas	Uso de fotografías aéreas e indicadores métricos utilizando Arcview 3.3 para definir la estructura del paisaje.	Artículo científico
7	2009	Estrada- Carmona, N	Costa Rica	Identificación de áreas prioritarias en la oferta de servicios ecosistémicos	Tesis M. Sc
8	2009	Brenes, C. F	Costa Rica	Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo	Tesis M. Sc
9	2009	Chain, A	Puntarenas	Parcelas temporales de vegetación a lo largo de un gradiente altitudinal correlacionando los datos con variables edáficas-ambientales y análisis espacial por medio de ArcView 3.2 y ArcGis 9.2.	Tesis M. Sc
10	2010	Villate, R et al	Alajuela y Heredia	Proyecto de conservación a escala de paisaje funcional para la conservación de lapa verde (Ara ambiguus)	Nota científica

ID	Año	Autor	Provincia	Método de estudio utilizado	Tipo de fuente
11	2010	Chassot, O	Alajuela, Heredia y Limón	Análisis de cobertura de uso del suelo mediante el uso de imágenes satelitales Landsat TM con resolución de 30 m2 con clasificación supervisada estableciendo patrones de vegetación.	Tesis PhD
12	2012	Losada-Prado, S	Costa Rica	Estudio del comportamiento de <i>Myrmeciza exsul</i> por medio de radio-telemetría y anillamiento para determinar el patrón de movimiento del ave utilizando ArcView	Tesis PhD
13	2013	Veintimilla, D	Limón	Relación de la composición florística con variables ambientales y de suelo	Tesis M. Sc
14	2013	Ortega-Rivera, M y Vílchez- Alvarado, B	Alajuela	Análisis de la composición florística según la estructura horizontal y vertical	Artículo científico
15	2013	Powers, J	Guanacaste	Análisis de imágenes de satélite para estimar la edad de la regeneración de parches de bosque y mediciones detalladas del crecimiento de los árboles.	Nota científica
16	2014	Odio, F	Cartago y Limón	Uso de los estándares de principios, criterios e indicadores (PC&I) para determinar el estado de los sistemas de manejo	Tesis M. Sc.
17	2014	Loría, M	Puntarenas	Método de bolsas de malla para hojarasca de una especie de mangle	Tesis Lic.
18	2016	Sánchez, H.A y Solís, O. A	Limón	Fotointerpretación	Tesis Lic.
19	2017	Jiménez, G	Guanacaste	Manejo y tratamiento natural de cáscaras de naranja en espacios degradados evaluando el impacto en la composición florística y edáfica	Nota científica

4.2.2 Ventajas y limitaciones que posee LFA

Algunas ventajas que posee LFA con respecto a estos métodos de estudio, en el ámbito de los rasgos funcionales a nivel edáfico son:

- 1- No se requiere de equipo especializado para la obtención de los datos en campo, debido a que los indicadores son de fácil medición mediante escalas visuales delimitadas bajo conceptos sencillos.
- 2- Es fácil de aplicar, lo cual beneficia que personas sin amplio conocimiento en el área de las ciencias puedan ser capacitada para la obtención de datos en campo, favoreciendo que las comunidades puedan evaluar su propio entorno si se logran procesos de capacitación y concientización apropiados.
- 3- Los resultados obtenidos no se basan en el análisis de la presencia o ausencia de una única especie en específico, por tanto, LFA facilita el análisis de los componentes de un paisaje natural como conjunto dinámico y en constante evolución.
- 4- Es una metodología que permite generar modificaciones o adaptaciones según los contextos locales en los cuales se desee aplicar.
- 5- En comparación con otros el método de Togway permita una evaluación integrar de los atributos biofísicos y como los procesos socioeconómicos inciden en los paisajes naturales.
- 6- Posee indicadores de "alerta temprana" permitiendo anticipar eventos altamente vulnerables que puedan cruzar umbrales de degradación a niveles irreversibles (Fernández *et al.*, 2002).
- 7- La base conceptual se base en la capacidad de los ecosistemas en perder o retener recursos identificando procesos de resiliencia de las comunidades biológicas.
- 8- Permite obtener información relacionada con variables lentas la cuales son determinantes críticas de la dinámica de los sistemas (Maestre, 2011).
- 9- Existe gran potencial para desarrollar estudios sobre LFA utilizando imágenes satelitales, lo cual permitiría realizar análisis de áreas de mayor tamaño sin la necesidad de realizar muestreos de campo (Maestre, 2011).

Algunas limitaciones de la aplicación de metodología LFA son:

- 1- No existe control entre las variables (indicadores) en estudio a diferencia de los procesos de experimentación.
- 2- Debido a que es un procedimiento basado en la observación es posible que el grado de interpretación personal de cada colector varíe propiciando juicios subjetivos.
- 3- LFA fue creada para ecosistemas áridos, semiáridos o seco-subhúmedos, por tanto, se requiere validar la efectividad según zonas de vida para la región tropical.
- 4- No toma en cuenta las variables ambientales de temperatura, humedad y precipitación factores que indiquen fuertemente en los procesos de flujo de recursos en el trópico.
- 5- La metodología como tal no visualiza el efecto que tienen la fauna silvestre en los intercambios de energía en sistemas con alta entropía como los tropicales.

4.2.3 Aplicación de la metodología LFA a nivel mundial

De igual forma se procedió a definir los estudios realizados a nivel mundial en donde se aplicó la metodología LFA, descartando aquellos que mencionarán aspectos propios de los elementos conceptuales (ver cuadro 9).

Inicialmente los estudios se enfocaron en validar los resultados de LFA con procedimientos de las propiedades químicas y físicas del suelo, señalando que ambos procesos de análisis son consistentes, por tanto, la base conceptual de LFA permite obtener resultados concluyentes (Rezaei, Gilkes, y Andrews, 2004).

Así mismo, Maestre y Cortina (2004) señalan que la metodología fue desarrollada para un ecosistema semiárido en Australia, por tanto, se debe utilizar con cierta cautela en otras regiones del mundo y destacan la necesidad de realizar procesos de validación de la misma bajo otras condiciones ambientales para comprobar si los índices reflejan adecuadamente los procesos y funciones de diversos sitios con características diferentes a los de ecosistemas con bajas precipitaciones.

Furniss (2008) menciona que sitios de alta perturbación tienen valores bajos de LFA en contraposición de los sitios de baja perturbación, los cuales tienen altos valores, este patrón concuerda con lo que se espera de la metodología, pese a lo

anterior, se presentaron excepciones de este patrón en dos áreas: pastizales no rocosos y pastizales húmedos producto la poca cantidad de pruebas realizadas en estos sitios.

El artículo científico de García-Gómez y Maestre (2011), realiza un proceso de análisis de diversos casos aplicados en Australia, Indonesia, Libia, Marruecos y Túnez, señalando que LFA tiene limitaciones ya que solo se pueden monitorear pequeñas áreas, pese a esto, las complicaciones pueden ser superadas mediante el uso de sistemas de teledetección que permitan establecer programas en áreas grandes.

Tomando como referencia lo anterior, destaca un estudio que utiliza imágenes espectrales para determinar la figura de un objeto en función de la longitud de onda que esté refleja, como medio para mapear los índices de LFA de forma remota, lo cual permite el análisis de áreas de mayor tamaño y abarata costos por concepto de visitas de campo (Lau, Hewson, Ong y Tongway 2008).

LFA también es usado como un mecanismo que permite contar con información que facilite las acciones para el control de inundaciones, en especial valorando como influyen las dimensiones de los parches en los procesos de infiltración del agua de lluvia como lo indica Forouzeh y Sharafatmandrad (2012).

Se recomienda utilizar LFA como herramienta para la evaluación de los resultados obtenidos en procesos de restauración en minas de carbón a cielo abierto o por la construcción de obras que generan gran impacto ecológico, ya que por medio de la caracterización de los tipos de parches se pueden identificar diferentes comportamientos ecohidrológicos (Oyarzábal, 2013; Dojo, Cativí y Tongway, 2013).

Solías y Sjarmidi (2014) realizaron un estudio en Indonesia en una zona de tierras mineras en donde el análisis arrojó que el sitio se encuentra en un estado crítico, lo anterior, debido a que los diversos índices presentaron bajos resultados. En estabilidad de la tierra se obtuvo un 33,24%, en infiltración de agua 37,2% y en reciclado de nutrientes un 15,28%, por lo que se determinó, que los procesos de regulación, el hábitat y la producción de biomasa eran deficientes, por tanto, se requieren realizar acciones enfocadas a la restauración ecológica.

En Irán se efectuó un proceso de investigación el cual consistió en realizar una comparación de LFA con respecto a métodos tradicionales de evaluación de los ecosistemas, en donde se menciona que la relación de regresión lineal es positiva con

respecto a datos obtenidos en laboratorios, así mismo el estudio señala que este es aplicable en una amplia gama de condiciones climáticas, confirma que este método se desarrolla en menor tiempo y costo con gran precisión en relación a las técnicas de muestreo en campo que se analizan en laboratorio (Isa y Gholamali, 2015).

Dentro del manejo de cuencas es necesario evaluar el estado de los ecosistemas, sobre el tema Demiroglu (2016) realizó un mapa de permeabilidad total y riesgo a la erosión para definir el estado de la cuenca Sivas en Turquía, basado en un análisis de los datos de LFA, con los cuales determinó la necesidad de realizar acciones para la protección de los ecosistemas asociados pues únicamente un 7.78% de estos posee un alto nivel de funcionalidad.

El proyecto "Conservation for culture and livelihoods – Angas Downs, Northern Territory" se enfoca en mantener la cultura de la comunidad indígena de Anangu por medio de la gestión los recursos naturales, los cuales han sufrido deterioro en el pasado por prácticas inadecuadas de producción ganadera, por tanto, se proporcionó a la comunidad una forma fácil para monitorear el hábitat en miras de aumentar el número de especies silvestres utilizadas tradicionalmente, se capacitó a la población para que estos aplicarán la metodología LFA y así monitorear los resultados de los procesos de restauración que se han puesto en práctica.

No se encontraron procesos de investigación realizados bajo condiciones tropicales en las cuales se utilizará la metodología LFA (ver Figura 9). A nivel del continente americano solo se reporta la aplicación de en la Región Patagónica, en donde el estudio señala, nuevamente, la necesidad de realizar procesos de validación para lograr que los datos reflejan adecuadamente los procesos y funciones de estos ecosistemas en a nivel local, ya que algunos indicadores generados fueron poco sensibles ante los cambios de estado del ecosistema (Gaitán, López, y Bran 2009).

La mayor cantidad de procesos de validación se han realizado en Australia lugar en el cual surgió la metodología, seguido por España (ver Figura 9) en donde existe el Laboratorio de Ecología de Zonas Áridas y Cambio Global² de la Universidad Rey Juan Carlos mismo que es liderado por el científico Fernando Maestre quien ha trabajado en el estudio y evaluación de la desertificación por medio de la aplicación de LFA.

² <http://maestrelab.com/es/>

Cuadro 9 Aplicación de LFA a nivel mundial

#	Año	Autor	Título
1	2004	Tongway, D.J; Cortina, J y Maestre F.T (2004)	Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos
2	2004	Rezaei, S.A; Gilkes, R.J y Andrews, S. S	A minimum data set for assessing soil quality in rangelands
3	2004	Maestre, F.T, y Cortina, J	Insights into Ecosystem Composition and Function in a Sequence of Degraded Semiarid Steppes
4	2008	Furniss, D.G.	Can Indices of Landscape Function Analysis (LFA) be Derived from Ground-Based Spectroscopy? A case study from gold mines on the Highveld of South Africa
5	2008	Lau, I.C; Hewson, R.D; Ong, C.C.H y Tongway D.J.	Remote mine site rehabilitation monitoring using airborne hyperspectral imaging and Landscape Function Analysis (LFA)
6	2009	Gaitán, J.J; López, C.R y Bran, D. R	Efectos del pastoreo sobre el suelo y la vegetación en la Estepa Patagónica
7	2011	García-Gómez, M y Maestre, F	Remote sensing data predict indicators of soil functioning in semi-arid steppes, central Spain
8	2012	Forouzeh, M.R y Sharafatmandrad, M	The effect of water spreading system on the functionality of rangeland ecosystems
9	2012	EBS Ecology	Kanmantoo Mine LFA Monitoring – Autumn 2012
10	2013	Oyarzábal, J.A.	Aplicación del método Landscape Function Analysis (LFA) para evaluar el estado de las restauraciones mineras: el caso de la minería de carbón a cielo abierto en Utrillas (Teruel)
11	2013	Dowo, G.M; Kativu, S y Tongway, D. J	Application of ecosystem function analysis (EFA) in assessing mine tailings rehabilitation: an example from the Mhangura Copper Mine tailings, Zimbabwe
12	2014	Sholihah, A.R.F. y Sjarmidi, A	Ecosystem evaluation of post sand mining land in Cimalaka, Sumedang
13	2015	Isa Jafari footami y Gholamali Heshmati	A Comparison of the performance of LFA method with Traditional assessment methods of soil properties in summer rangeland ecosystems, Hezar Jerib, North of Iran
14	2016	Demiroglu, D	Evaluation of natural process in watershed planning: 4 Eylül dam watershed in Sivas, Turkey
15	2016	Sarbijan M.A, Ebrahimi, M y Ajorloo, M	Effect of Micro-Catchment on Indices of Rangeland Health Using Landscape Function Analysis Method
16	2017	Putra, H.F.; Sulistijorini y Aryanti, N.S.	Landscape Function of Post Tin-Mining Land After Reclamation in Bangka, Indonesia
17	s.f.	Mayor, A.G; Bautista, S y Bellot, J	Análisis de la dinámica fuente-sumidero en el flujo de agua a varias escalas en una zona semiárida
18	s.f.	Wilson, G y Smits, J	Conservation for culture and livelihoods – Angas Downs, Northern Territory

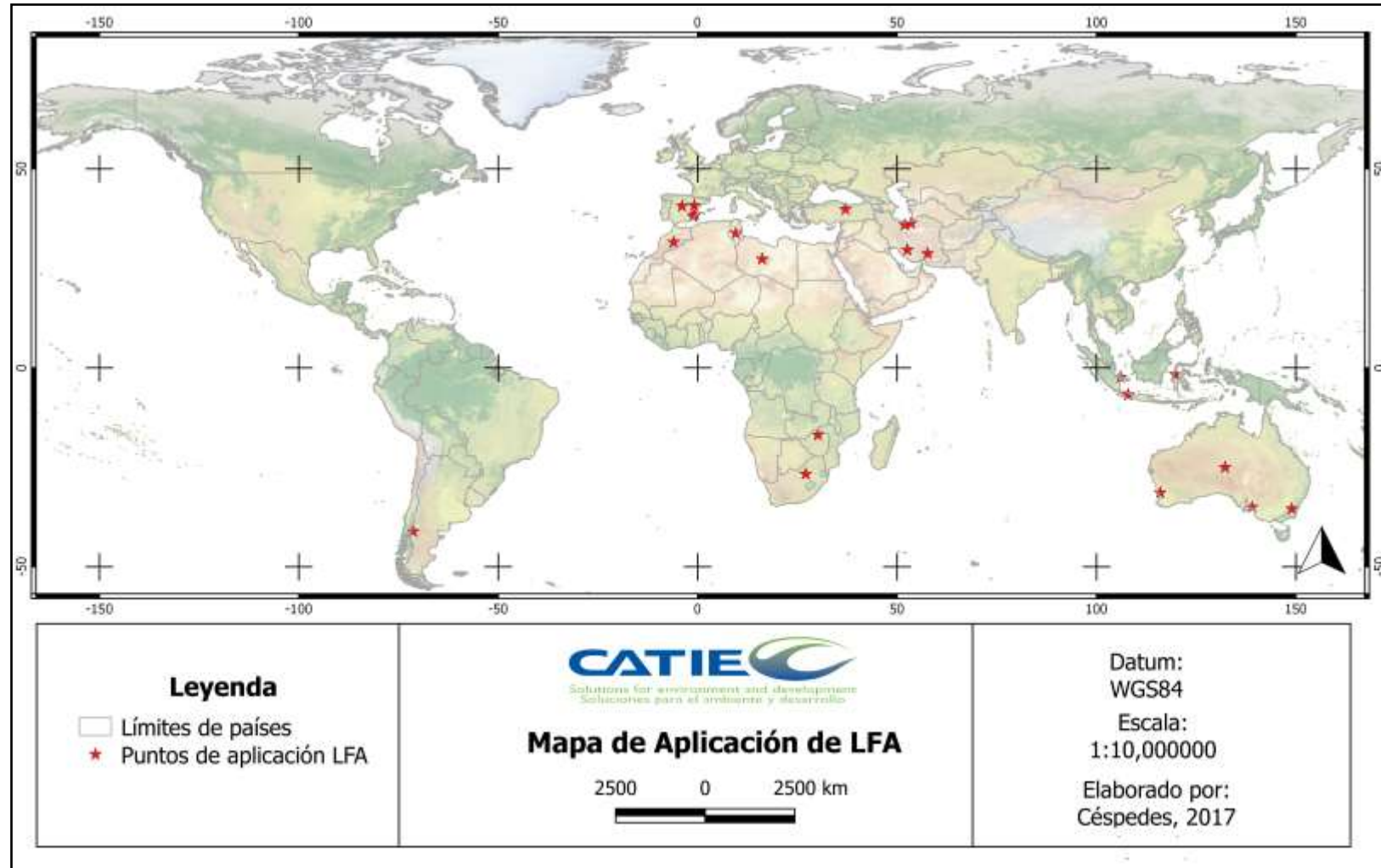


Figura 9 Mapa de aplicación de LFA a nivel mundial

Fuente: elaboración propia

4.3. Verificación de la factibilidad de aplicación de la metodología LFA

4.3.1 Aplicación de LFA en campo en un paisaje neotropical en Costa Rica

Durante la fase de campo enfocada en la evaluación de los indicadores a nivel del suelo se determinó que la delimitación de parches y vertederos en el sitio análogo no era posible, debido a la presencia de una gran riqueza y variedad de especies vegetales que no poseen una formación de crecimiento homogéneo.

Sobre el tema Sesnie (2006) menciona que la distribución de especies en los bosques tropicales se presenta de forma no aleatoria según la gradiente edáfica, así mismo señala, que cambios abruptos en las condiciones del suelo también generan variaciones en la composición de la vegetación.

Con base a lo anterior, se generó la necesidad de delimitar a grandes rasgos la formación de la cobertura vegetal del área análoga, de esta forma se establecieron dos grandes clasificaciones que permitieran la aplicación de LFA.

Mediante el proceso de observación, se definió que el patrón de organización de la vegetación se podría establecer mediante la identificación basada en el ciclo de crecimiento de las plantas, de esta forma se determinó la conveniencia de generar la agrupación por vegetación leñosa y herbácea (ver figura 10).

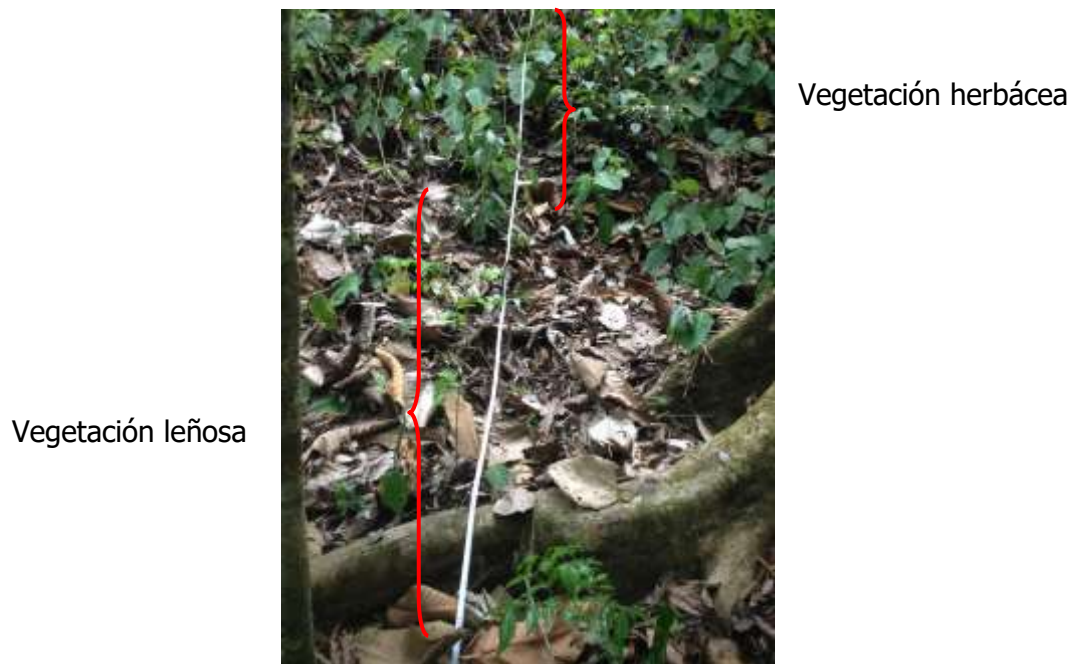


Figura 10 Identificación de tipos de parches en sitio análogo del bosque tropical

Fuente: propia

Esto por cuanto en el aporte de materia orgánica, los procesos de filtración del agua por medio de las raíces, la retención de recursos que aportan energía, la redistribución de las gotas de lluvia y el impacto de procesos eólicos varían dependiendo del tipo de plantas según su ciclo del crecimiento.

Así mismo, debido a que en el sitio análogo no existen vertederos producto de la dinámica de la vegetación, la delimitación de los parches en el paisaje de un ecosistema tropical no es posible debido al crecimiento propio de la vegetación, según esto una forma de expresar la organización de las especies vegetales es por medio de las mediciones en forma vertical (ver cuadro 10) tomando como base la altura del conglomerado, lo anterior por cuanto, el papel del viento y el flujo de agua dependerá de las obstrucciones según su tamaño.

Cuadro 10 Organización del Paisaje Finca Caú Sha[^]s

Distancia (m)	Altura del parche (cm)	Tipo de parche
0		
8,2	80	Vh
9,6	1000	VI
16,1	100	Vh
19,6	1500	VI
35,4	120	Vh
36,2	400	VI

Vh=vegetación herbácea VI=Vegetación leñosa

En cuanto al sitio que presentaba un grado de perturbación por efectos de prácticas humanas, se logró identificar los parches y vertederos según los descrito en LFA, por tanto, en este caso no se realizaron modificaciones en la clasificación ya establecida (ver cuadro 11).

Una vez determinada la configuración geográfica de los sitios en estudio se procedió con la evaluación de la superficie del suelo (ver cuadro 12) bajo los indicadores ya definidos en la metodología de Tongway.

Cuadro 11 Organización del Paisaje Finca Laguna

Distancia (m)	Ancho del parche (cm)	Tipo de parche o vertedero
0		
1,2	100	VI
1,6		Sd
4,6	200	Vh
6,1		Sd
8,7	300	VI
10,2		Sd
12,2	200	VI
14		Sd
19,8	400	VI
20,9		Sd
25	250	VI
30		Sd

Vh=Vegetación herbácea VI=Vegetación leñosa Sd= Suelo desnudo

Finalizado lo anterior, se procedió con el ingreso de los datos de campo en las hojas prediseñados que facilitan el procesamiento de la información para generar de los diversos gráficos e índices fundamentales para el análisis general que permite la toma de decisiones.

Los datos obtenidos en las dos áreas identificadas arrojan indicios de que el marco conceptual de LFA facilita el análisis de las respuestas de las especies vegetales ante cambios del paisaje (ver

Cuadro 12 Índices de LFA generados en el poblado de Boruca

Nombre del Sitio	Zona	Índice de Estabilidad	Índice de Infiltración	Índice de Reciclado de Nutrientes
Finca Caú Sha[^]s	Vegetación herbácea	58%	64%	53%
	Vegetación leñosa	81%	68%	72%
Finca Laguna	Vegetación herbácea	53%	40%	24%
	Vegetación leñosa	44%	45%	30%
	Suelo desnudo	36%	32%	13%

Según estos datos, es posible observar que el resultado de los índices de infiltración, estabilidad y reciclado de nutrientes son mayores en las áreas de vegetación leñosa, pese que esta zona solo representa el 13,8 % del total de la organización general del paisaje en el sitio análogo.

Geissert *et al* (2012) señala que los arboles propician la intercepción de la lluvia ya que la dirigen hacia el tronco concentrando el agua en la base, en donde el sistema radicular que extrae del suelo el agua funciona como una vía rápida de infiltración del líquido previamente concentrada por el tronco.

Así mismo, la cobertura forestal propicia la generación de hojarasca, la cual al descomponerse libera nutrientes de forma acelerada, impidiendo la pérdida por lixiviación edáfica o por volatilización, contribuyendo en procesos claves que garantizan el adecuado funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos (Castellanos-Barliza y León, 2011). Esto genera altos niveles en el reciclado de nutrientes en los parches con presenta de cobertura vegetal.

Un elemento importante que influyó en los datos obtenidos fue la presencia de hojarasca entre los sitios pues la distribución varió considerablemente incidiendo en el porcentaje de cada índice. En la zona de vegetación leñosa del sitio análogo se encontró un elevado porcentaje de hojas en descomposición en comparación con vertederos de la Finca Laguna (ver figura 11).



Figura 11 Presencia de hojarasca en sitios evaluados

Con respecto al índice de estabilidad, Suarez (2009) indica que el entramado mecánico de las raíces de árboles y arbustos aportan resistencia cohesiva en los mantos del suelo, así mismo, señala que la longitud de las raíces es mayor en suelos granulares que en suelos arcillosos, debido a la necesidad de la vegetación de buscar agua en caso de que existe un buen drenaje.

4.3.2 Adaptaciones de LFA para su aplicación en condiciones tropicales

Ajustes de los indicadores de evaluación de la capa edáfica

Mediante la comprobación en campo se utilizaron los instrumentos requeridos para la toma de datos en dos paisajes naturales del Territorio Indígena de Boruca, en donde se determinó que, pese a que a las hojas de campo son potencialmente útiles, es necesario realizar modificaciones en la clasificación de los indicadores pues algunos rangos no se ajustan al contexto de los paisajes tropicales, a continuación, se realiza referencia a las modificaciones propuestas.

- Cobertura basal de especies herbáceas y arbustivas: incluir la categoría "más de 50%" con la interpretación muy alta cobertura basal y cambiar la categoría "más del 20%" por "20% al 50%". Lo anterior debido a que en ecosistemas áridos no existe una alta presencia de vegetación leñosa en comparación con las zonas tropicales y esto puede incidir en la cobertura de la hojarasca.
- Cobertura de costra biológica (formada por cianobacterias, musgos y líquenes): sobre este tema Belnap (2006) señala que en los ecosistemas áridos y semiáridos la costra biológica del suelo posee un mayor desarrollo, por tanto, se considera necesario realizar mayores evaluaciones sobre la influencia que posee este factor en el contexto tropical.
- Grado de fragmentación de la costra: así mismo, Castillo-Monroy y Maestre (2011) indican que la costra biológica del suelo está ampliamente distribuida especialmente en aquellos lugares donde la luz alcanza la superficie del suelo, debido a ello existe predominio de la misma en zonas áridas, semiáridas, alpinas y polares. Según lo anterior, se debe considerar que dentro del bosque tropical la compleja estructura vegetal puede evitar

que la luz solar incida sobre la capa edáfica, lo cual incide en la interpretación de este indicador.

- Textura: se recomienda hacer una valoración de los órdenes de suelos presentes en Costa Rica, con la finalidad de evaluar si se requieren incluir mayor número de categorías que generen datos que coincidan con las condiciones del país.

Variaciones en la fase de toma de datos en campo

Así mismo, las condiciones para el ingreso a los sitios de muestreo del trópico, difiere enormemente a los paisajes áridos, esto por cuanto la configuración de los elementos biológicos puede resultar peligroso para el grupo humano que se encuentre trabajando en zonas de alta pendiente (ver figura 12).



Figura 12 Toma de datos en sitio de alta pendiente

Fuente: propia

En la figura anterior, es posible observar una pendiente fuertemente ondulada con presencia de rocas expuestas propensas a deslizamientos y con un alto grado de inestabilidad de los suelos.

Otro factor que puede incidir en los resultados al aplicar LFA es la variabilidad climática presente en la zona intertropical, por tanto, se requiere evaluar la efectividad del método en las diversas épocas del año con la finalidad de determinar si los datos difieren significativamente entre la época seca y la lluviosa para analizar si estos factores inciden en la obtención de datos acordes a las regiones.

La alta diversidad biológica que presenta el país hace que sea necesario determinar si las especies de fauna silvestre pueden ejercer cambios significativos dentro de las unidades biológicas en estudio con respecto a la funcionalidad de los ecosistemas y así determinar si es posible la incorporación de este elemento en los procesos de análisis.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

LFA posee un protocolo técnico basado en mediciones visuales a nivel de la capa edáfica, en donde se evalúa la interacción o impacto de la vegetación mediante el análisis integral de aquellos elementos que inciden en la funcionalidad de los ecosistemas.

Pese a que el método fue creado para ambientes distintos a los tropicales, el marco conceptual permite adaptaciones, debido a que la clasificación que posee para la toma de datos en campo se encuentra en supercategorías que a su vez contienen subcategorías específicas con descripciones simples, facilitando la transformación de los conceptos.

De acuerdo con lo anterior, la metodología de Tongway y colaboradores tiene un gran potencial para su aplicación en ecosistemas tropicales, pues los datos obtenidos en el proceso de validación en campo concuerdan con los supuestos esperados según el marco conceptual.

A diferencia de otros métodos de estudio, LFA tiene características que le permiten a cualquier individuo con un entrenamiento en el tópico, una toma de datos fiable, si bien es cierto, es necesario especialistas que apoyen el proceso, la herramienta tiene un carácter inclusivo, ya que su fácil aplicación y los pocos recursos que requiere son elementos que facilitan la integración con personas de las comunidades como miembros activos de la evaluación en campo.

Los procesos de búsqueda sobre información científica en el área de la funcionalidad de los ecosistemas en Costa Rica se encuentran enfocados en el análisis de la influencia de una especie o la distribución de la cobertura vegetal, sin identificar la interacción de diversos elementos del entorno natural como un conjunto dinámico en constante evolución.

Unir esfuerzos con grupos de investigación a nivel mundial permitirá generar avances en el ámbito de la ecología del paisaje relacionado con el suelo, pues de no cambiar la visión y estrategia país hacia un modelo más versátil que permita adaptaciones según las condiciones imperantes generando mecanismos más eficientes para el manejo y protecciones de los bienes y servicios ambientales, las condiciones de los habitantes tenderán sufrir consecuencias de diversa índole.

CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES

Se requiere de mayores procesos de validación de la metodología con la finalidad de identificar si es posible la aplicación en todas las zonas de vida del país, ya que variables como la vegetación, clima, temperatura, altitud, entre otros pueden incidir en la correcta aplicación de LFA.

Tomando como referente los múltiples procesos de validación realizados a nivel internacional por medio de pruebas de laboratorio, es imperante iniciar procesos experimentales a nivel de la región, que permitan determinar si los índices de estabilidad, infiltración y reciclado de nutrientes obtenidos por medio de procesos de observación sistémicos concuerdan con procesos de experimentación, los cuales permiten abstraer aquellos rasgos distintivos que deban ser considerados en la implementación de LFA.

Se debe tener cautela en los datos a obtener es los sitios análogos, los cuales presentan un alto funcionamiento y son autosustentable, por tanto, es necesario validar el método en bosques secundarios o primarios en donde la delimitación de los parches y vertederos no se encuentra claramente definida.

Formar individuos en la región en el ámbito de la funcionalidad de los ecosistemas edáficos que sean capaces de implementar programas de monitoreo mediante el uso de las nuevas tecnologías emergentes, es el primer paso que se requiere para lograr un éxito manejo de los recursos naturales.

Contar con una actitud positiva ante los cambios mediante regulaciones eficientes que aseguren una mejor calidad de los servicios ecosistémicos con grupos que trabajen de forma coordinada evitando la réplica de esfuerzos es imperativo para lograr un programa nacional o regional con miras a un manejo y protección del recurso suelo.

CAPÍTULO 7. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Hincapié, C.F. 2010. Capital natural crítico y función de hábitat como aproximación a la complejidad ambiental. *Revista Lasallista de Investigación* 7 (2): 132-156. (en línea). Consultado 12 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/Revista/vol7n2/132-149.pdf>
- Álvarez, L y Bonilla, M. 2007. Arrecifes coralinos, selvas tropicales. *Ciencias* 85: 14-17. (en línea). Consultado 08 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/85/B1/arrecifes%20coralinos.pdf>
- Armenteras, D; González, T.M.; Vergara, L.K.; Luque, F.J; Rodríguez, N y Bonilla M.A. 2015. Revisión del concepto de ecosistema como "unidad de la naturaleza" 80 años después de su formulación. *Ecosistemas* 25(1): 83-89. (en línea). Consultado 15 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/1110/935>
- Asian Development Bank, 2013. Assessing adaptation options for climate change: A guide for coastal communities in the Coral Triangle of the Pacific (Landscape Function Analysis). (en línea). Consultado 15 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/305734373>
- Ballesteros, J y Pérez-Torres, J. 2016. Diversidad funcional: un aspecto clave en la provisión de servicios ecosistémicos. *Revista Colombiana Ciencia Animal* 8(1):94-111. (en línea). Consultado 08 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/304495422>
- Blanco, J.A. 2017. Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas* 26(2): 1-9. (en línea). Consultado 03 de ago. 2017. Disponible en: <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1476>
- Bautista, A; Etchevers, J.; del Castillo, R.F. y Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2): 90-97. (en línea). Consultado 03 de ago. 2017. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572/541>
- Burbano-Orjuela, H. 2016. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas* 33(2):117-124. (en línea). Consultado 06 de jul. 2017. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>

- Cámara, R y Díaz, F. 2013. Muestreo en transecto de formaciones vegetales de fanerófitos y caméfitos (I): fundamentos metodológicos. Estudios Geográficos Vol. LXXIV (en línea). Consultado 09 de may. 2017. Disponible en: <http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/download/392/392>
- Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. U., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M. I., Gonzalez, A. 2011. The functional role of producer diversity in ecosystems. American Journal of Botany 98:572-592. (en línea). Consultado 15 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/51165789>
- Castellanos-Barliza, J y León, J.D. 2011. Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. Revista de Biología Tropical 59 (1): 113-128. (en línea). Consultado 06 de jul. 2017. Disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v59n1/a09v59n1.pdf>
- Castillo-Monroy, A y Maestre, F.T. 2011. La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. Revista Chilena de Historia Natural 84 (1): 1-21. (en línea). Consultado 25 de jun. 2017. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v84n1/art01.pdf>
- Chapin, F. S; Matson P, y Matson H. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. (en línea). Consultado 08 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.crc.uqam.ca/Publication/Principles%20of%20terrestrial%20ecosystem%20ecology.pdf>
- Chassot, O. 2010. Diseño de un paisaje funcional de conservación para el Caribe Norte de Costa Rica. (en línea). Consultado 23 de abril. 2017. Disponible en: <http://docinade.com/wp-content/uploads/2014/10/Olivier-Chassot-Labastrou.pdf>
- Demiroglu, D. 2016. Evaluation of natural process in watershed planning: 4 Eylül dam watershed in Sivas, Turkey. <https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLSE%3ARN605915837/Evaluation-of-Natural-Process-in-Watershed-Planning/>
- Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad de las Filipinas Los Baños. 2014. Landscape Function Analysis Field Guide: guidelines for application in mine sites and land rehabilitation projects in the Philippines. (en línea). Consultado 12 de mar. 2017. Disponible en: http://forestry.denr.gov.ph/pdf/ref/LFA_FIELD_GUIDE.pdf

- Devictor, V., D. Mouillot, C. Meynard, F. Jiguet, W. Thuiller y N. Mouquet. 2010. Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need for integrative conservation strategies in a changing world. *Ecology Letters* 13:1030-1040. (en línea). Consultado 08 de nov. 2016. Disponible en: http://nicolasmouquet.free.fr/publications/Devictor_et_al_2010_EcoLett.pdf
- Dowo, G.M; Kativu, S y Tongway, D.J. 2013. Application of ecosystem function analysis (EFA) in assessing mine tailings rehabilitation: an example from the Mhangura Copper Mine tailings, Zimbabwe. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 133: 923-930. en línea). Consultado 24 de jun. 2017. Disponible en: https://www.academia.edu/12001088/Application_of_ecosystem_function_analysis_EFA_in_assessing_mine_tailings_rehabilitation_an_example_from_Mhangura_Copper_Mine_tailings_Zimbabwe
- Dramstad, W; Olson, J y Forman, R.T.T. 1996. *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*. Washington, E.E.U.U: Island Press. 80 págs.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2003. *Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación*. (en línea). Consultado 30 de jul. 2017. Disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.3.aspx.pdf>
- _____. 2005 a. Estamos gastando más de lo que poseemos. (en línea). Consultado 15 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.440.aspx.pdf>
- _____. 2005 b. Ecosystems and human well-being. (en línea). Consultado 15 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- FOA. 2002. *Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales*. (en línea). Consultado 03 de ago. 2017. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/AGLW/docs/lw9s.pdf>
- _____. 2011. *Climate change, water and food security*. (en línea). Consultado 16 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/i2096e/i2096e.pdf>
- Fernández, R. J.; Archer, E. R.; Ash, A. J.; Dowlatabadi, H.; Hiernaux, P. H.; Reynolds, J. F.; Vogel, C. H.; Walker, B. H. y Wiegand, T. (2002). Degradation and recovery in socio-ecological systems: a view from the household/farm level. en Reynolds, J. F. y Stafford Smith, M., eds.: *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?*. (en línea). Consultado 30 de jun. 2017. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/245856223>

- Fisher, B; Turner, R.K y Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Elsevier 68 (3): 643-653. (en línea). Consultado 16 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/222682960>
- Flombaum, P, y Sala, O. 2011. Efectos de la biodiversidad sobre el funcionamiento de los ecosistemas. En Conservación Biológica: perspectivas desde América Latina (eds. J, Simonetti y R, Dirzo). Editorial Universitaria: Santiago de Chile. 49-62 págs.
- Forster, J.R. 1778. Observations made during a voyage round the world. University of Hawaii Press, Hawaii, Estados Unidos. 446 págs.
- Forman, R.T.T y Godron, M 1986. Landscape Ecology. Nueva York: Wiley and Sons. 4-8 págs.
- Forouzeh, M.R y Sharafatmandrad, M. 2012. The effect of water spreading system on the functionality of rangeland ecosystems. Journal of Arid Land. 4(3): 292–299 (en línea). Consultado 24 de jun. 2017. Disponible en: <http://jal.xjegi.com/EN/article/showArticleFile.do?attachType=PDF&id=150>
- Furniss, D.G. 2008. Can Indices of Landscape Function Analysis (LFA) be Derived from Ground-Based Spectroscopy? A case study from gold mines on the Highveld of South Africa. World Applied Sciences Journal 32 (5): 986-991. (en línea). Consultado 24 de jun. 2017. Disponible en: [https://www.idosi.org/wasj/wasj32\(5\)14/33.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj32(5)14/33.pdf)
- Gaitán, J.J; López, C.R y Bran, D.R. 2009. Efectos del pastoreo sobre el suelo y la vegetación en la Estepa Patagónica. Ciencia del suelo, 27(2), 261-270. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672009000200013&lng=es&tlng=es
- García-Gómez, M y Maestre, F.T.2011. Remote sensing data predict indicators of soil functioning in semi-arid steppes, central Spain. Ecological Indicators 11 (2011) 1476–1481. (en línea). Consultado 24 de jun. 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Maestre/publication/251678848_Remote_sensing_data_predict_indicators_of_soil_functioning_in_semi-arid_steppes_central_Spain/links/0c960536857a4f3a0c000000.pdf
- Gardi, C.; Angelini, M.; Barceló, S.; Comerma, J.; Cruz-Gaistardo, C.; Encina-Rojas, A.; Jones, A.; Krasilnikov, P.; Mendonça Santos Brefin, M.L.; Montanarella, L.; Muñiz Ugarte, O.; Schad, P.; Vara-Rodríguez, M.I. y Vargas, R. (eds), 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg. (en línea). Consultado

06 de set. 2017, Disponible en: <http://www.fao.org/3/contents/7ef41d70-68b2-4362-892b-15af355f5c11/av050s.pdf>

Geissert, D; Gómez-Tagle CH,A; Gómez-Tangle R, A y Guevara, M. 2012. Funciones ecohidrológicas del suelo y su importancia para la conservación y el desarrollo. CONABIO. Biodiversitas 105:10-12. (en línea). Consultado 09 de jul. 2017, Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv105art3.pdf>

Gitay, H; Suárez, A; Watson, R y Jon Dokken, d. (eds). 2002. Cambio climático y biodiversidad (en línea). Consultado 23 de oct. 2016. Disponible en: www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf

Gurrutxaga, M ; Lozano, P. 2008. Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. (en línea). Estudios Geográficos LXIX265: 519-543. Consultado 24 de oct. 2016 Disponible en: <http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/97/94>

Hansen, A. J. 2011. Contribution of source-sink theory to protected area science. En Sources, Sinks, and Sustainability across Landscapes (Eds. J. Liu, V., Hull, A. Morzillo, and J. Wiens) Cambridge University Press. 339-360 págs.

Isa, J y Gholamali, H. 2015. A Comparison of the performance of LFA method with traditional assessment methods of soil properties in summer rangeland ecosystems, Hezar Jerib, North of Iran. Journal of Soil Environment 1 (2015) 28-34 (en línea) Consultado el 25 jun. 2017. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/305597546>

Levins, R. 1969. Some genetic and demographic consequences of environmental heterogeneity for biological control. Bulletin of the Entomological Society of America, 15:237-240. (en línea) Consultado el 09 may 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/216860906>

Lhumeau, A y Cordero, D. 2012. Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático. UICN, Quito, Ecuador. (en línea) Consultado el 16 nov. 2016. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2012-004.pdf>

Lau, I.C; Hewson, R.D; Ong a, C.C.H y Tongway D.J. 2008. Remote mine site rehabilitation monitoring using airborne hyperspectral imaging and Landscape Function Analysis (LFA). The International Archives of the Photogrammetry,

- Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXXVII (B7) 325-330 (en línea). Consultado el 24 jun. 2017. Disponible en: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7_pdf/3_WG-VII-3/20.pdf
- Ludwig, J. A. y Tongway, D. J. 2007. Landscape Function as a Target for Restoring Natural Capital. En *Semiarid Australia* (eds. Aronson, J; Milton, S.J y Blignaut, J.N.). Washington, E.E.U.U: Island Press (en línea) Consultado el 13 nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/40777470>
- Maestre, F.T. 2011. Avances recientes y retos en el estudio y evaluación de la desertificación: de la teoría a la práctica. *Cuides 7*: 37-60. (en línea). Consultado el 30 de jun. 2017. Disponible en: http://maestrelab.com/wp-content/uploads/2015/10/Cuides_2011.pdf
- Maestre, F.T y Cortina, J. 2004. Insights into Ecosystem Composition and Function in a Sequence of Degraded Semiarid Steppes. *Restoration Ecology* 12 (4): 494-502. (en línea). Consultado el 24 de jun. 2017. Disponible en: <http://maestrelab.com/wp-content/uploads/2015/10/Restecol2004.pdf>
- Martín-López, B; González, J.A.; Díaz, S.; Castro, I. y García-Llorente, M. 2007. Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas* 16 (3): 69-80. (en línea). Consultado 02 de ago. 2017. Disponible en: <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/94>
- Mason, N. W. H., de Bello, F.; Mouillot, D.; Pavoine, S. y Dray, S. 2013. A guide for using functional diversity indices to reveal changes in assembly processes along ecological gradients. *Journal of Vegetation Science* 24:794-806. (en línea). Consultado 16 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/249994537>
- Mason, N.W.H., Irz, P., Lanoiselee, C., Mouillot, D. & Argillier, C. 2008. Evidence that niche specialization explains species –energy relationships in lake fish communities. *Journal of Animal Ecology* 77: 285–296. (en línea). Consultado 16 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/5669887>
- Miranda, J.M; Rusch, G; Casals, P; Declerck, F; Ibrahim, M; Casanoves, F y Jiménez, F.2013. Efectos de las rasgos morfológicos y ecofisiológicos de árboles neotropicales en la transferencia de agua y nutrientes al suelo. *Agroforestería en las Américas* (50): 69-75. (en línea). Consultado 16 de nov. 2016. Disponible en: <http://bco.catie.ac.cr/portal-revistas/index.php/RAFA/article/view/54/93>
- Mora, C; Frazier, A; Longman, R; Dacks, R; Walton, M; Tong, E; Sanchez, J; Kaiser, L; Stender, Y; Anderson, J; Ambrosino, C; Fernandez-Silva, I; Giuseffi, L;

- Giambelluca, T. 2013. The projected timing of climate departure from recent variability. *Nature* (en línea). Consultado 05 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/257598710>
- Moreno, G.; Gallardo, J. F.; Schneider, K. y Ingelmo, F. 1996. Water and bioelement fluxes in four *Quercus pyrenaica* forest along a pluviometric gradient. En: *Annales des Sciences Forestières*. 53: 625-639. (en línea). Consultado 05 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/41704434>
- Newton, A.C. y Tejedor, N. (Eds.). 2011. Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina. Gland, Suiza: UICN y Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas. (en línea). Consultado 02 de set. 2017. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2011-017-Es.pdf>
- Nilsson, L. O.; Hüttl R. F.; Johansson, U. T. y Jochheim, H. 1995. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems-present status and future research directions. En: *Plant and Soil*. Vol. 168-169 (1) 5-13. (en línea) Consultado el 16 nov. 2016 Disponible en: <https://bookshop.europa.eu/en/nutrient-uptake-and-cycling-in-forest-ecosystems-pbCG9095429/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2009. La economía de los ecosistemas y la biodiversidad. (en línea). Consultado el 30 de jul. 2017. Disponible en: http://www.teebweb.org/media/2009/11/National-Executive-Summary_Spanish.pdf
- Pulliam, H.R. 1988. Sources, Sinks and Population Regulation. *The American Naturalist*, 132(5): 652-661. Consultado 24 de oct. 2016 Disponible en: <http://www.jstor.org.talamanca.uned.ac.cr/stable/2461927>
- Organización Mundial de la Salud. 2005. Ecosistemas y bienestar humano: síntesis sobre Salud. (en línea) Consultado 08 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/MA-Health-Spanish.pdf>
- Ortega, S. 2009. Propuesta de red de conectividad ecológica entre remanentes de bosque y cacaotales en dos paisajes Centroamericanos. (en línea) Consultado 23 de abr. 2017. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3064e/A3064e.pdf>
- Ortega-Rivera, M y Vílchez-Alvarado, B. 2013. Ecología del paisaje y caracterización de la cobertura forestal de la microcuenca del Río La Balsa, Costa Rica. (en línea) Consultado 23 de abr. 2017. Disponible en: <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/1372/1268>
- Oyarzábal, J.A. 2013. Aplicación del método Landscape Function Analysis (LFA) para evaluar el estado de las restauraciones mineras: el caso de la minería de

- carbón a cielo abierto en Utrillas (Teruel). Trabajo de Graduación. (en línea). Consultado 23 de abr. 2017. Disponible en:
<https://zagan.unizar.es/record/12541/files/TAZ-TFG-2013-909.pdf>
- Quijas, S.; Schmid, B. y Balvanera, P. 2010. Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. *Basic and Applied Ecology* 11:582–593. (en línea) Consultado 15 de nov. 2016. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/224832147>
- Ranger, J.; Marques, R. y Jussy, J. 2001. Forest soil dynamics during stand development assessed by lysimeter and centrifuge solutions. En: *Forest Ecology and Management*. 144 (1-3) 129-145. (en línea). Consultado 16 de nov. 2016. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112700003662>
- Rezaei, S.A; Gilkes, R.J y Andrews, S.S. 2004. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma* 136:163-174. (en línea). Consultado 24 de jun. 2017. Disponible en:
<http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco13/PAPERS%20R-Z/REZAER.pdf>
- Rietkerk, M.; Dekker, S. C.; de Ruiter, P. C. y van de Kopel. J. 2004. Self-organized patchiness and catastrophic shifts in ecosystems. *Science* 305:19. (en línea). Consultado 09 de nov. 2016. Disponible en:
<http://eaton.math.rpi.edu/csums/papers/Ecostability/rietkirkself.pdf>
- Salgado, B y Paz, H. 2016. Escalando de los rasgos funcionales a procesos poblacionales, comunitarios y ecosistémicos. En: *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (en línea). Consultado 23 de oct. 2016. Disponible en:
www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/download/295_b4df225b6e12f5b7c1b0940e12e278b5
- Sánchez-Gómez, N y Rocha-Gil, Z.E. 2014. La evaluación de servicios ambientales de soporte. *Investigación, Innovación y Tecnología* (2): 102-127. (en línea). Consultado 06 de jul. 2017. Disponible en:
<http://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/download/67/69>
- Sesnie, SE. 2006. A geospatial data integration framework for mapping and monitoring tropical landscape diversity in Costa Rica’s San Juan – La Selva biological corridor. Tesis Ph.D. University of Idaho. (en línea). Consultado 03 de jul. 2017. Disponible en:

http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/43/A_geospatial_data_integration_framework_for_mapping.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sholihah, A.R.J y Sjarmidi, A. 2014. Ecosystem evaluation of post sand mining land in Cimalaka, Sumedang. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 1 (2): 75-78. (en línea) Consultado 25 de nov. jun. Disponible en: <http://www.jdmlm.ub.ac.id/index.php/jdmlm/article/download/31/28>
- Suarez, J. 2009. *Deslizamientos tecnicas de remediacion*. Bogota, Colombia, Universidad de Santander. 417 p.
- TEEB. 2010. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. En *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. (en línea) Consultado 15 de nov. 2016. Disponible en: <http://www.teebweb.org/our-publications/teeb-study-reports/ecological-and-economic-foundations/>
- Tomás, F y Gil, M. 2011. Avances recientes y retos en el estudio y evaluación de la desertificación: de la teoría a la práctica. *Cuides* (7):37-60 (en línea). Consultado 13 de nov. 2016. Disponible en: http://maestrelab.com/wp-content/uploads/2015/10/Cuides_2011.pdf
- Tongway, D.J y Hindley, N.L. 2004. *Landscape Function Analysis: Procedures for Monitoring and Assessing Landscapes – with Special Reference to Mine sites and Rangelands* (en línea). Consultado 13 de nov. 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/238748160>
- Varga, D y Vila, J. 2005. Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea. Una aproximación metodológica al caso de los valles d’Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa. Girona). *Revista Internacional de Ciencias Sociales* 25:59-72. (en línea). Consultado 13 de nov. 2016. Disponible en: <http://revistas.um.es/areas/article/view/128011/119251>
- Vargas, O. 2002. Disturbios, patrones sucesionales y grupos funcionales de especie en la interpretación de matrices de paisaje en los páramos. *Perez-Arbelaezia* 13:73-89. (en línea) Consultado 23 de oct. 2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Orlando_Vargas2/publication/260437814_Disturbios_patrones_sucesionales_y_grupos_funcionales_de_especies_en_la_intepretacion_de_matrices_de_paisaje_en_los_paramos/links/00b4953150eba77721000000.pdf
- Vila, J; Varga, D; Llausàs, A y Ribas, A. 2006. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology): una interpretación desde la geografía.

Doc. Anál. Geogr. 48: 151-166. (en línea) Consultado el 12 nov. 2016
Disponible en:
http://web2.udg.edu/aigua/material/Conceptos%20y%20m%C3%A9todos%20fundamentales%20en%20ecolog%C3%ADa%20del%20paisaje_DAG_48_2006.pdf

Violle, C., Navas, M. L.; Vile, D.; Kazakou, E.; Fortunel, C.; Hummel, I. y Garnier, E. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116:882-892. (en línea) Consultado el 12 nov. 2016 Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/227972388>

Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R. y Kinzig, A. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9:5. (en línea) Consultado el 12 nov. 2016 Disponible en:
<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>

CAPÍTULO 8. ANEXOS

Anexo 1 Instrumento de recolección de datos sobre descripción del sitio en estudio

Hoja de Campo 1. Descripción del sitio de estudio		
N° de sitio: _____	Nombre del sitio: _____	Fecha (dd/mm/aa): ____/____/____
Distancia: _____	Dirección o grados: _____	
Provincia: SJ__Alj__Hd__Cart__Lim__Gte__Ptr__	Cantón: _____	Distrito: _____ Pueblo: _____
Coordenadas: ____° ____' ____" Longitud	____° ____' ____" Latitud	Nombre de Observador: _____
Posición del transecto en el paisaje: _____		
Litología: _____		
Pendiente: _____	Aspecto: _____	
Tipo de Vegetación: _____		
Uso del Suelo: _____		
Estado de la superficie del suelo: _____		
Observaciones:		

Fuente: Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad de Filipinas Los Baños (2014)

Anexo 2 Herramientas y equipo de trabajo para LFA

#	Descripción	Cantidad
1	Banderas de replanteo (dos colores)	50
2	Botella de 1 litro con agua desionizada (prueba de estabilidad del suelo)	1
3	Brújula lensática	1
4	Brújula planimétrica	1
5	Cámara fotográfica	1
6	Cinta métrica de agrimensor de 50 m-100 m	1
7	Clavija de acero para sostener la cinta métrica	2
8	Conjunto de hojas de campo	Varias
9	GPS para localización de los sitios de estudio	1
10	Plato Petri	1
11	Tamiz o cedazo de 1 mm de apertura (prueba de textura del suelo)	1

Fuente: Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad de Filipinas Los Baños (2014)

Anexo 3 Instrumento de recolección de datos para la identificación de parches y vertederos

Hoja de Campo 2. Organización del Paisaje				
Fecha (dd/mm/aa): ____/____/____			# de consecutivo _____	
Nombre del Sitio: _____		Nombre de Observador: _____		
		Transecto: _____		
#	Distancia (m)	Ancho de Parche (cm)	Identificación Parche/Vertedero	Observaciones
1	0			
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Identificación: SD=Suelo Desnudo M=Matorral A=Arbustos AA=Arboles

Fuente: Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad de Filipinas Los Baños (2014)

Anexo 4 Instrumento de recolección de datos para la evaluación de la superficie del suelo

Hoja de Campo 3. Evaluación de la superficie del suelo																					
Fecha (dd/mm/aa): ____/____/____											Nombre de Observador: _____ # de consecutivo _____										
Nombre del Sitio: _____											Transecto: _____										
Características de la superficie		Rango de los indicadores																			
#	# Parche o Vertedero																				
	Indicador																				
1	Cobertura total del suelo (1-5)																				
2	Cobertura basal de especies herbáceas y arbustivas (1-4)																				
3	Cobertura de hojarasca, origen y grado de descomposición (1-10)																				
4	Cobertura de costra biológica (0-4)																				
5	Grado de fragmentación de la costra (0-4)																				
6	Tipo y grado de erosión (1-4)																				
7	Materiales depositados (1-4)																				
8	Microtopografía (1-5)																				
9	Resistencia a la perturbación (1-5)																				
10	Test de humectación (0-4)																				
11	Textura (1-4)																				

Anexo 5 Instrumento de recolección de datos "método de los cuadrantes centrados en un punto"

Hoja de Campo 4. Dinámica de la Vegetación								
Nombre del Sitio: _____					Transecto: _____			
Fecha (dd/mm/aa): ____/____/____				Nombre de Observador: _____				
#	Cuadrante	Especie	Distancia	Ancho del dosel (m)	Altura del dosel (m)	Altura Total (m)	Altura hasta el dosel (m)	Densidad del dosel (%)
1	1a							
2	1b							
3	1c							
4	1d							
5	2a							
6	2b							
7	3c							
8	3d							
9	3a							
10	3b							
11	3c							
12	3d							
13	4a							
14	4b							
15	4c							
16	4d							
17	5a							
18	5b							
19	5c							
20	5d							
21	6a							
22	6b							
23	6c							
24	6d							
25	7a							
26	7b							
27	7c							
28	7d							

Fuente: Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad de Filipinas Los Baños (2014)

Anexo 6 Datos de LFA colectados en campo

Características	Valor máximo	Finca Laguna Vh	Finca Laguna VI	Finca Laguna VI	Finca Laguna Sd	Finca Caú Sha[^]s Vh	Finca Caú Sha[^]s VI
1-Cobertura total del suelo	5	3	4	2	1	4	5
2- Cobertura basal de especies herbáceas y arbustivas	4	3	3	2	1	3	4
3- Cobertura de hojarasca, origen y grado de descomposición	10	3ln	3ln	4ls	2tn	6lm	7le
4- Cobertura de costra biológica	4	0	0	0	0	1	1
5- Grado de fragmentación de la costra	4	0	0	0	0	3	0
6- Tipo y grado de erosión	4	4	2	2	2	0	0
7- Materiales depositados	4	4	4	2	4	1	5
8- Microtopografía	5	2	3	3	1	4	5
9- Resistencia a la perturbación	5	1	1	1	1	2	4
10- Test de humectación	4	0	0	0	0	4	4
11- Textura	4	2	2	2	2	4	4