



Indicadores ambientales



BIODIVERSIDAD

Dinámica y composición del bosque seco tropical de Guanacaste a partir de parcelas permanentes de muestreo (PPM)

Autores: M.Sc. Luis Gustavo Hernández; Lic. Juan José Jiménez; M.Sc. Mauricio Sánchez; M.Sc. Víctor Meza; M.Sc. Albert Morera y Lic. Milena Gutiérrez

Imagen:



Descripción: En concordancia con la iniciativa del Observatorio Ambiental el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), a través del área cognitiva de Manejo Integrado de Bosques Naturales, ha propuesto la implementación de indicadores ambientales en relación al tema de diversidad forestal. En este sentido se han propuesto indicadores que infieran sobre el estado de los bosques respecto a la estructura, composición y tasas de recambio del bosque seco tropical. La generación de los indicadores es posible gracias a la presencia de la Universidad Nacional en los bosques secos de Guanacaste con el monitoreo continuo de parcelas permanentes de muestreo (PPM). A pesar de que el INISEFOR monitorea otros ecosistemas del país a través de las PPM, la presencia institucional prácticamente es única en el bosque seco y en bosques de altura, de ahí la importancia de dichos indicadores ya que prácticamente la UNA sería institución referente para suministrar dichos indicadores. En el presente informe no se presentan indicadores de bosques de altura debido a que no se han realizado mediciones recientes, evidenciando la necesidad y la oportunidad de actualizar las mediciones de las PPM, con la iniciativa del Observatorio Ambiental.

El objetivo del presente informe es el facilitar indicadores de biodiversidad para la evaluación del estado actual de los bosques secos del país. Indicadores que permitan evaluar el estado de salud de los bosques secos, tanto primarios como secundarios.

Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM)

Las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son áreas de bosque permanentemente demarcadas que son medidas periódicamente. Deben ser mantenidas al menos durante cinco años pero frecuentemente muchas de ellas exceden este periodo, proveen estimaciones de cambios en el volumen, composición y métricas básicas de los rodales (Alder y Synnott, 1992). Las PPM de muestreo utilizadas en este estudio son de 1 hectárea (100 x 100 m), y están subdivididas en subparcelas 20 x 20 metros. Cada subparcela está delimitada por tubos de PVC en los vértices marcados de acuerdo con el sistema cartesiano de coordenadas. A cada parcela se le registra el azimut de las dos líneas perpendiculares. El montaje de las parcelas se realiza de acuerdo con los métodos utilizados en topografía haciendo corrección de distancias por pendiente con el uso de una tabla de pendientes.

Referente a la medición de árboles dentro de las subparcelas, se incluyen todos árboles, palmas y helechos con diámetro a la altura del pecho (1,30 m) mayores o iguales a 10 cm, ubicándose cada árbol en coordenadas xy. Todos los individuos dentro de la parcela se encuentran numerados e identificados con una placa metálica. La medición del diámetro se realiza con cinta diamétrica, siguiendo las reglas establecidas por el *Protocolo de establecimiento y medición de Parcelas Permanentes de Muestreo en Bosque Natural* (Sánchez, 2010) y se marca el lugar de medición con pintura. Se identifica taxonómicamente cada uno de los individuos, colectándose muestras botánicas cuando existe desconocimiento o duda sobre la taxonomía de algún individuo en particular.

Estructura y composición de bosques naturales

La estructura horizontal de un bosque es el resultado de la respuesta de las plantas al ambiente y a las limitaciones y amenazas que este representa, puede ser descrita a través de la distribución del número de árboles por clase diamétrica y el área basal. La estructura vertical del bosque está determinada por la distribución de los árboles, arbustos y palmas a lo alto de su perfil. La composición de un bosque está determinada tanto por los factores ambientales, como posición geográfica, clima, suelos y topografía, como por la dinámica del bosque y la ecología de sus especies (CATIE, 2001). Como parte de este estudio, dentro de las parcelas permanentes se midieron los árboles, arbustos, palmas, helechos arborescentes y en algunas de ellas las lianas con diámetros mayores al mínimo evaluado.

Metodología del indicador

Para el presente informe se utilizaron tres mediciones de tres Parcelas Permanentes de Muestreo, de las cuales dos estaban ubicadas bosques secundarios de 32 y 52 años de edad y una en bosque primario intervenido en el Parque Nacional Guanacaste (Cuadro 1). Las mediciones empleadas fueron las de los años 1991, 2002 y 2008-2009. Las tres PPM fueron establecidas en el año 1991 y han sido medidas en seis oportunidades más desde su establecimiento.

A partir de la medición e identificación taxonómica de todos los árboles con diámetros mayores o iguales a 10 cm dentro de cada subparcela se calculan los diferentes valores para cada uno de los indicadores, resultando en indicadores de medición para cada año de medición. Los indicadores propuestos en el presente informe son: *i)* Indicadores de estructura horizontal del bosque: densidad de árboles por hectárea, área basal por hectárea; *ii)* Indicadores de composición florística: listado general de plantas por hectárea (género, especie, familia), índices de Shannon, Simpson.

Cuadro 1. Descripción general de parcelas permanentes de bosque húmedo premontano establecidas en el Parque Nacional Guanacaste.

Características del bosque	ACG 1	ACG 2	ACG 3
Zona de Vida según Holdridge	Bosque Húmedo Premontano Transición a Basal		
Tipo del bosque	Bosque Deciduo de Bajura	Bosque Deciduo de Bajura	Bosque Semideciduo de Bajura
Estado del bosque	Bosque Secundario	Bosque Secundario	Bosque Primario
Edad	32	52	Primario intervenido
Dap mínimo de medición	5,0 cm	10,0 cm	10,0 cm
No de mediciones	6	6	6
Año de última medición	2009	2008	2008
Ubicación	Pocosol	Pocosol	Cerro El Hacha
Topografía	Plana	Plana	Plana accidentada
Suelos	Entisoles	Entisoles	Inceptisoles

Indicadores de estructura horizontal del bosque

Dos de los indicadores más empleados para describir la estructura horizontal de un bosque son la densidad de individuos y el área basal. En el bosque secundario de 32 años ACG 1 se presentó una densidad de 535 individuos/ha con diámetros mayores a 10 cm para la medición más reciente en el 2009 (Cuadro 2). Valor muy similar al presentado en el bosque secundario ACG 2 en el año 1991 (529 individuos/ha), año en el cual el bosque ACG 2 presentaba una edad de 34 años. Podría asumirse que el número de individuos por hectárea es un indicador de la edad del bosque secundario en esta región.

Vale la pena indicar que el Bosque Secundario ACG 1 presentó una disminución en el número de individuos durante el año 2002 (381), en relación con lo observado en la medición de 1991 (463), para luego aumentar nuevamente en el año 2009 a 535 árboles por hectárea (Cuadro 2). Esta situación puede explicarse al menos preliminarmente con un posible incremento en la mortalidad de árboles que se observó en la medición del año 1998, año en el cual la zona y el país en general se vio afectado por un periodo seco bastante extenso provocado por el Fenómeno del Niño, aspecto que también pudo haber afectado el crecimiento de los individuos que estaban en el límite de ingreso a la primera clase diamétrica.

Las parcelas permanentes ubicadas en los bosques ACG 2 y ACG 3 presentaron un incremento en el número de individuos por ha en los tres años de medición (Cuadro 2), y además presentaron una menor mortalidad que el bosque secundario ACG 1, lo que podría indicarnos que los bosques primarios y secundarios de mayor edad puedan tener mayor capacidad de resistencia a periodos de sequías, que aquellos bosques secundarios jóvenes.

En todas las mediciones el número de individuos en el bosque ACG 2 fue superior al observado en el bosque ACG 1, lo cual reafirma el comportamiento normal de los bosques secundarios de temprana edad, pero que a medida que vayan madurando, deberán presentar características del bosque primario, que en este caso es un menor número de individuos por ha (477), con mayores áreas basales también por ha. El área basal de las PPM presenta una tendencia a aumentar en los dos bosques secundarios ACG 1 y ACG 2, pero tiende a mantenerse estable en 29 m² para el bosque primario ACG 3 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento de los indicadores relacionados con la estructura de los bosques secos tropicales, monitoreados durante 18 años de mediciones en PPM, establecidas en el Parque Nacional Guanacaste.

Código de la Parcela	ACG 1			ACG 2			ACG 3		
Tipo de bosque	Secundario deciduo			Secundario deciduo			Primario interv semideciduo		
Zona de vida	Bosque Húmedo Tropical tran			Bosque seco tropical			Bosque seco tropical		
Edad (años)	14	25	32	34	45	52	No determinada		
Año de medición	1991	2002	2009	1991	2002	2008	1991	2002	2008
	Indicadores de Estructura								
Densidad N/ha DAP > 10 cm	451	381	535	529	534	555	451	467	477
Área Basal M ² /ha DAP > 10 cm	20,162	20,144	21,669	20,512	21,294	22,152	29,279	27,472	29,613

El indicador de área basal nos permite determinar el estado de desarrollo de los árboles que componen un rodal, o bien, la proyección horizontal que es ocupada por los árboles. En términos generales los tres bosques presentaron un comportamiento creciente en términos de área basal. Además se mantuvo la condición de que a mayor edad de un bosque, mayor proporción de área basal ocupa el mismo. En la medición 2002, el bosque primario ACG 3 a pesar de mostrar un incremento en el número de individuos presentó una disminución de 2 m² de área basal, situación puede explicarse en ese periodo con una mortalidad de individuos las clases diamétricas superiores y un bajo reclutamiento.

Es importante seguir monitoreando el bosque primario ACG 3, ya que presentó una menor densidad de individuos que los bosques secundarios, con una tendencia a aumentar en los diferentes años de medición. Este bosque primario fue aprovechado en el

pasado, previo a la primer medición en 1991 y es posible que los incrementos en individuos por hectárea, puedan ser explicados por la recuperación del bosque post aprovechamiento. Con el monitoreo continuo podría establecerse un valor en el cual se considere que el bosque primario intervenido ha llegado a una fase de recuperación al aprovechamiento.

Este tipo de información puede generar parámetros importantes para determinar las actividades silviculturales que pueden desarrollarse especialmente en bosques secundarios de zonas similares a la estudiada. Aspecto que resulta de especial interés si se considera que los bosques secundarios de las zonas secas han venido presentando una importante recuperación, debido principalmente al abandono de tierras que anteriormente eran dedicadas a la ganadería.

Indicadores de composición florística

En términos generales puede indicarse que el número de familias presentes en cada tipo de bosque se mantiene estable a lo largo del periodo estudiado rondando siempre un promedio de 30 familias en cada tipo de bosque, donde las familias Rubiaceae, Flacourtiaceae, Fabaceae y Tiliaceae, son las familias que presentan un mayor número de géneros en los bosques secundarios (Cuadro 11). En el caso del bosque primario ACG 3, las familias con mayor representatividad de géneros son la Sapotaceae, Flacourtiaceae y Anacardiaceae. Existe una tendencia a aumentar el número de géneros por hectárea con forme se avanza en el estado de sucesión del bosque, estabilizándose en 48 géneros por hectárea en los bosques primarios (ACG 3). Similar sucede con el número de especies por hectárea, en donde el mayor número de especies lo presenta el bosque primario ACG con 59 especies por hectárea para la última medición (Cuadro 3).

Las diferencias presentadas en composición florística entre los bosques secundarios ACG 1 y ACG 2, podría deberse a aspectos relacionados con el tiempo que cada uno de estos ha estado bajo la condición de abandono, de las actividades agrícolas previas, condiciones de suelo, fuentes de semilla, etc., aspectos que deberán ser estudiados con mayor detalle para poder explicar adecuadamente estas diferencias. También es de esperarse que conforme los procesos de sucesión avancen, se vayan dando cambios en composición de las especies que vayan homologando la composición florística de bosques secundarios maduros y bosques primarios. Del estudio resulta especialmente interesante la determinación a priori de familias indicadoras de bosques secundarios y otras de bosques primarios, mismas que van incrementando su presencia o por el contrario van desapareciendo con forme se da el paso del tiempo (Cuadro 3).

A nivel de especies los análisis realizados no permiten determinar que existan cambios importantes entre las especies más representativas de estos ecosistemas, ya que durante el periodo estudiado las especies que presentan los mayores de Índices de Valor de Importancia se mantienen casi constantes (Cuadro 4). Una de las especies con mayores IVIs en las tres PPM fue *Quercus oleoides*, con valores de 9.6, 17.1 y 19.3 en los bosques secundarios ACG 1, ACG 2 y el bosque primario ACG3, respectivamente. La suma de los valores de abundancia, dominancia y frecuencia de esta especie podría ser tomada en cuenta como un indicador de madurez en estos tipos de bosque, ya que incrementa a razón de la edad de los bosques.

Cuadro 3. Comportamiento de los indicadores relacionados con la composición florística de los bosques secos tropicales, monitoreados durante 18 años de mediciones en PPM, establecidas en el Parque Nacional Guanacaste

Código de la Parcela	ACG 1			ACG 2			ACG 3		
	Secundario deciduo			Secundario deciduo			Primario interv. semi deciduo		
Tipo de bosque	Bosque Húmedo Premontano Transición a Basal								
Zona de vida									
Edad (años)	14	25	32	34	45	52	No determinada		
Año de medición	1991	2002	2009	1991	2002	2008	1991	2002	2008
Indicadores de composición Florística									
Cantidad de familias	26	32	27	29	32	33	32	30	33
Cantidad de Géneros	36	38	38	38	43	47	48	43	48
Cantidad de especies	40	42	42	44	44	44	56	52	59
Familias más representadas por género									
Rubiaceae	3	6	7	3	4	3	3	2	2
Flacourtiaceae	3	3	4	3	3	3	3	3	3
Moraceae		3	3				2	2	2
Fabaceae-Pap.	3	3	3	2	2	2	4	2	2
Fabaceae-M im.	2	4	3			2			
Tiliaceae	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sapindaceae		2	2			2			2
Malpighiaceae		2	2						
Bignoniaceae	2	2	2						
Anacardiaceae			2		2	2		2	3
Sapotaceae					2	2	3	4	4
Oleaceae				3	2	2			
Euphorbiaceae						2			
Meliaceae									2
Lauraceae					2		2	2	2
Annonaceae					2				
Celastraceae							2	2	
Familia más representadas por número de individuos									
Oleaceae							101	130	141
Myrsinaceae				133	88	90			
Sapotaceae				68	70	75	24	24	25
Flacourtiaceae	48	187	259	38	60	54	36	36	46
Tiliaceae	89	147	137	54	66	67			
Boraginaceae	38	103	84						
Rubiaceae	10	66	77	21	23	21			
Fabaceae-M im.	12	64	77	24	35	38			
Cochlospermaceae	84	98	75						
Verbenaceae	34	52	53	27	28	28			
Fagaceae	40	51	50	50	50	45	36	35	33
Fabaceae-Pap.	26	41	49				19	20	16
Annonaceae	9	35	29						
Fabaceae-Caes.	1	21	22				42	41	42
Lauraceae							35	32	29

A futuro, con la información recopilada deberían realizarse análisis por medio de la agrupación de las especies en grupos funcionales, esto con la intención de poder determinar si un grupo específico de especies (caducifolias, perennifolias, las dispersadas por aves, las que no tiene capacidad de rebrotar, las de maderas suaves, por citar ejemplos de posibles agrupaciones a realizar) responde en mayor o menor grado al incremento de edad del bosque, o a otros factores como el incremento de temperaturas, la ausencia de lluvias, etc. Un aspecto valioso de considerar en la serie de datos que se cuenta para este grupo de parcelas, es que existe una medición del año 1998, año en que se dio un periodo seco muy extenso, y en el cual se redujo el crecimiento y aumento la mortalidad de los árboles, aspecto que deberá ser estudiado con mayor detalle para determinar si la mortalidad y los ingresos se concentraron en ciertos grupos de especies. Un análisis de este tipo podría permitirnos identificar

cuales especies o grupos funcionales de especies están mejor adaptados a soportar fenómenos climáticos extremos y cuales por el contrario son más vulnerables, esto con la intención de prever futuros impactos en la diversidad forestal provocados por el cambio climático.

Cuadro 4. Índice de Valor de Importancia (IVI) para las principales especies dentro de las parcelas permanentes para el monitoreo de bosques en el Parque Nacional Guanacaste, Costa Rica.

Familia	Área basal absoluta (árb/ha)			Dominancia absoluta (G/ha)			Frecuencia absoluta			IVI (%)		
	1991	2002	2009	1991	2002	2008	1991	2002	2008	1991	2002	2008
ACG 1												
<i>Quercus oleoides</i>	40	44	50	5,1	5,6	6,2	19	18	21	14,3	14,1	9,6
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	84	86	75	3	3,1	2,6	22	22	23	14,2	13,5	6,8
<i>Luehea speciosa</i>	81	91	128	2,7	2,8	2,8	25	25	25	13,9	13,8	8,6
<i>Rehdera trinervis</i>	34	33	53	1,4	1,5	2	19	22	25	7,5	7,5	5,6
<i>Hemianthus excelsum</i>	31	34	107	0,9	0,9	1,2	14	15	21	5,7	5,7	6
<i>Lonchocarpus nigosus</i>	23	18	35	1,1	0,8	1	13	12	17	5,1	4,4	3,4
<i>Zuelania guidonia</i>	27	23	51	0,7	0,7	9,1	15	13	18	5,1	4,4	12,3
<i>Cordia alliodora</i>	18	22	25	0,3	0,4	0,4	14	16	13	3,8	4,2	2,2
<i>Cordia pamanensis</i>	20	27	53	0,3	0,7	0,5	10	13	20	3,3	4,6	3,8
<i>Xylocarpus excelsum</i>	15	25	141	0,3	0,5	0,9	9	14	19	2,9	4,2	6,6
<i>Lysiloma divaricatum</i>	10	16	73	0,5	0,7	0,9	8	11	22	2,7	3,7	4,8
ACG 2												
<i>Quercus oleoides</i>	50	50	45	8,5	8,2	8	22	21	20	19,7	18,6	17,1
<i>Ardisia revoluta</i>	133	88	90	2,4	1,5	1,6	21	20	22	15,1	10,4	10,3
<i>Manilkara chicle</i>	68	70	68	1,5	1,8	2	20	21	21	9,4	9,7	9,4
<i>Luehea speciosa</i>	50	62	62	1,2	1,5	1,5	20	20	21	7,8	8,6	8,4
<i>Rehdera trinervis</i>	27	28	28	1,4	1,5	1,6	17	17	17	6,2	6,2	6,1
<i>Lysiloma domo-stachys</i>	24	35	37	1,2	1,6	1,6	13	18	17	5,2	6,9	6,6
<i>Xylocarpus excelsum</i>	26	31	31	0,3	0,4	0,4	15	17	16	4,1	4,6	4,3
<i>Guettarda macrosperma</i>	19	20	19	0,6	0,7	0,9	13	13	12	3,9	4	3,8
<i>Lonchocarpus nigosus</i>	9	6	4	0,5	0,4	0,2	8	6	4	2,4	1,7	1
<i>Zuelania guidonia</i>	10	15	20	0,2	0,4	0,5	10	13	16	2,3	3,1	3,7
<i>Mabea occidentalis</i>	15	15	14	0,3	0,3	0,3	6	5	5	2,2	2	1,9
ACG 3												
<i>Quercus oleoides</i>	36	35	33	16,4	13,4	12,8	21	20	20	23,9	22,2	19,3
<i>Heisteria cyanocarpa</i>	101	130	141	1,3	1,6	4,6	23	25	25	11,8	14,5	18,2
<i>Hymenaea courbaril</i>	42	41	42	3	3,3	3,8	19	19	19	8,9	9,6	9,6
<i>Manilkara zapota</i>	21	19	19	1,6	1,4	1,5	15	13	13	5,3	4,8	4,7
<i>Ocotea veraguensis</i>	32	30	26	0,5	0,4	0,4	16	14	12	4,9	4,4	3,8
<i>Casearia sp.</i>	25	25	24	0,4	0,5	0,5	13	12	11	4	4	3,7
<i>Simarouba glauca</i>	18	11	11	0,3	0,2	0,3	13	10	10	3,3	2,4	2,4
<i>Brosimum alicastrum</i>	9	8	8	1,1	0,2	0,7	7	6	6	2,7	2,2	2,1
<i>Stemodia temiflora</i>	11	11	11	0,5	0,5	0,5	9	7	7	2,6	2,3	2,3
<i>Luehea speciosa</i>	9	10	11	0,6	0,5	0,6	8	8	8	2,3	2,4	2,5
<i>Lonchocarpus atropurpureus</i>	10	12	11	0,3	0,3	0,4	9	10	9	2,2	2,6	2,4

Interpretación del indicador

- Los indicadores de estructura y composición de bosques son herramientas importantes para la toma de decisiones y permiten comprender los procesos sucesionales en los bosques naturales.
- El monitoreo continuo a través de parcelas permanentes de muestreo permite la comprensión de efectos como el cambio climático sobre los ecosistemas naturales, especialmente cuando los monitoreos se realizan de manera periódica y constante.
- Es importante iniciar el monitoreo continuo en zonas del país donde se carezca de Parcelas Permanentes del Monitoreo para poder anticipar posibles cambios en la distribución de especies, estructura y composición de los bosques ante eventuales cambios climáticos, manejo inadecuado del bosque, fragmentación de bosques, entre otros.
- Este tipo de información puede generar parámetros importantes para determinar las actividades silviculturales que pueden desarrollarse especialmente en bosques secundarios de zonas similares a la estudiada en nuestro, aspecto que resulta de especial interés si se considera que los bosques secundarios de las zonas secas han venido presentando una importante recuperación, debido principalmente al abandono de tierras que anteriormente eran dedicadas a la ganadería.
- Del estudio resulta especialmente interesante la determinación a priori de familias indicadoras de bosques secundarios y otras de bosques primarios, mismas que van incrementando su presencia o por el contrario van desapareciendo con el paso del tiempo. Este aspecto también resulta especialmente interesante de ser estudiado con mayor detalle.
- Es importante realizar un estudio por medio de la agrupación de las especies en grupos funcionales, esto con la intención de poder determinar si un grupo específico de especies (caducifolias, perennifolias, las dispersadas por aves, las que no tiene capacidad de rebrotar, las de maderas suaves, por citar ejemplos de posibles agrupaciones a realizar) responden en mayor o menor grado al incremento de edad del bosque, o a otros factores como el incremento de temperaturas, la ausencia de lluvias, etc.
- Un aspecto valioso de considerar en la serie de datos que se cuenta para este grupo de parcelas, es que existe una medición del año 1998, año en que se dio un periodo seco muy extenso, y en el cual se redujo el crecimiento y aumento la

mortalidad de los árboles, aspecto que deberá ser estudiando con mayor detalle para determinar si la mortalidad y los ingresos se concentraron en ciertos grupos de especies.

- Este análisis podría permitirnos identificar cuáles especies o grupos funcionales de especies están mejor adaptados a soportar fenómenos climáticos extremos y cuáles por el contrario son más vulnerables, esto con la intención de prevenir futuros impactos en la diversidad forestal provocados por el Cambio Climático.

Bibliografía

ALDER, D.; SYNNOTT, T.J.1992. Permanent Sample Plot Techniques for Mixed Tropical Forest. Tropical Forestry Papers, Oxford Forestry Institute, University of Oxford. 124 p.

CATIE. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Eds. B. Louman, D. Quirós, M. Nilsson. Turrialba, C.R.: CATIE, 2001. 265p. (Serie técnica, Manual técnico / CATIE; no.46)

Fonseca, W; Chaves, E; Mora, F; Meza, VH. 2002. Dinámica y composición del bosque seco tropical. *In*. Ecosistemas Forestales de bosque seco tropical: Investigaciones y resultados en Mesoamérica. Instituto de Investigación y Servicios Forestales. 154 -162 p.

Sánchez, M. 2010. Protocolo de establecimiento y medición de Parcelas Permanentes de Muestreo en Bosque Natural: para la Red de Parcelas Permanentes de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (REDMEF). Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INSEFOR). *In press*.

Información de contacto

M.Sc. Luis Gustavo Hernández

Correo: gherna@una.ac.cr



Instituto de Investigación y

Servicios Forestales

Este indicador debe citarse de la siguiente forma:

Hernández, G., J. Jiménez, M. Sánchez, V. Meza, A. Morera & M. Gutiérrez. (2009). Dinámica y composición del bosque seco tropical de Guanacaste a partir de parcelas permanentes de muestreo (PPM). Universidad Nacional: Heredia-Costa Rica. Recuperado de: http://www.una.ac.cr/observatorio_ambiental/index.php?option=com_booklibrary&task=view&id=21&catid=44&Itemid=37