

Aporte de nutrientes por caída de hojarasca en plantaciones de *Tectona grandis* (Teca) en períodos de sequía

Nutrient contribution due to litterfall in Tectona grandis (Teak) plantations in drought periods

Franklin Arcos Alcívar¹, Ramón E. Jaimez^{2*}

¹Postgrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador, 120501; arcosfacu@gmail.com

²Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador, 130105

* Correspondencia: rjaimezarellano@gmail.com

Recibido 01 mayo 2020; Aceptado 23 mayo 2020; Publicado 01 junio 2020

Resumen: El objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica de caída de hoja de Teca (*Tectona grandis*), su aporte de macronutrientes en época de sequía y su relación con el contenido de nutrientes de las hojas en los árboles que permanecen en diferentes momentos del período de sequía. Usando un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones, se evaluó la textura de suelo, contenido de humedad del suelo en el periodo seco; caída de hojarasca y recolección de hojas frescas de árboles seleccionados para su posterior análisis de macroelementos. Los resultados muestran que para finales del período de sequía el contenido de agua en el suelo había bajado desde 40 % hasta 22 %. Esta disminución ocasionó la caída de más del 95 % de las hojas. Los aportes de nutrientes en orden decrecientes fueron: Ca>N>K>P>Mg y fueron de 88.4; 8.96; 46.7; 181.32; 6.46 kg/ha de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. En el período de siete meses de sequía la caída de hoja fue de 8 t/ha. N y P fueron los que se movilizaron desde las hojas a otras partes de la planta durante los primeros 5 meses del período seco, lo que demuestra una mayor eficiencia de utilización. En función de las recomendaciones de fertilización para Teca, el aporte de nutrientes a través de la hojarasca y los contenidos de los mismos en el suelo, se recomienda que sólo se deben realizar fertilizaciones con N y K en la zona en estudio.

Palabras clave: Déficit hídrico, descomposición de la hoja, dinámica de caída de hojas.

Abstract: *This work's objective was to study the leaf fall dynamics, its contribution of macronutrients in the drought period, and its relationship with the leaves' nutrients in the trees of Teak (Tectona grandis) at different times during the drought period. We used a randomized block design with four replications to evaluate soil texture, the soil moisture content in the dry period, leaf litterfall, and fresh leaf collection from selected trees for subsequent macro-element analysis. The results show that the soil's water content had dropped from 40% to 22% by the end of the drought. This decrease caused the fall of more than 95% of the leaves. The nutrient contributions in decreasing order were: Ca > N > K > P > Mg and were 181.32; 88.4; 46.7; 8.96; 6.46 kg/ha, respectively. In the seven-month dry period, the leaf drop was 8 t / ha. Nutrients N and P were mobilized from the leaves to other parts of the plant during the first five months of the dry period, demonstrating greater utilization efficiency. Based on the fertilization recommendations for Teak, the contribution of nutrients through its litter and nutrient contents in the soil, it is recommended that only N and K fertilization be carried out in the area under study.*

Keywords: *Dynamics of leaf fall, leaf decomposition, water deficit.*

1 Introducción

Se conoce que el cambio climático producirá un aumento de las temperaturas, ocasionando mayor frecuencia de sequías y aumento de la variabilidad climática en muchas regiones del mundo (Creutzig, *et al.*, 2018). En la actualidad, se prevé que el cambio climático cause daño a plantaciones forestales y mortalidad de árboles, particularmente en zonas sometidas a mayores períodos de déficit de agua (Allen, Macalady, Chenchouni, Bachelet, & McDowell, 2010; Sánchez-Salguero, 2012). La estacionalidad más que la cantidad de lluvia tiene un mayor efecto en determinar la cobertura vegetal.

Los parámetros como aumento de la tasa de mortalidad, cambios en la sucesión de las especies, disminución del crecimiento en altura y diámetro entre otros, son consecuencia del déficit hídrico; logrando reducir la productividad de sistemas forestales y bosques naturales (Lugo, Abelleira Martínez, Medina, Aymard, & Heartsill, 2020).

Desafortunadamente, también la tala indiscriminada de los bosques está ocasionando también su desaparición por lo que establecer sistemas agroforestales o plantaciones de árboles es una medida para amortiguar la extracción de los bosques y crear ambientes sustentables. Además, las plantaciones de árboles constituyen una estrategia para suplir las demandas futuras de madera.

En los bosques tropicales estacionalmente secos es común que las plantas queden expuestas a períodos de estrés hídrico (Hasselquist, Allen, & Santiago, 2010). En estos bosques dominan las especies caducifolias ya que están adaptadas para minimizar la pérdida de agua durante los períodos de baja disponibilidad (Murphy & Lugo, 1986). Dichas adaptaciones consisten en la abscisión foliar, disminución del potencial hídrico (Ψ) y almacenamiento de agua en sus órganos (Tyree, Vargas, Engelbrecht, & Kursar, 2002), pero dependiendo de la intensidad y duración del estrés hídrico éste influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo (Engelbrecht, 2001; Garau, Ghersa, Lemcoff, & Barañao 2009).

Dichos efectos debidos a la sequía, producidos por el cambio climático, más el desconocimiento de los requerimientos hídricos y edáficos de la especie forestal, conlleva a la selección de sitios no adecuado, incrementando costos de inversión para el establecimiento y mantenimiento silvicultural; influyendo en el crecimiento óptimo o calidad de la plantación.

En Ecuador existen actualmente cerca de 45000 hectáreas de Teca plantadas, y apunta a ser en corto plazo el primer productor regional de este recurso maderero. Aunque la Teca sólo se distribuye naturalmente en zonas con clima monzónico, también crece en las más variadas condiciones medio ambientales formando parte de los bosques secos deciduos, los cuales colindan con los matorrales espinosos áridos (Kollert & Cherubini, 2012). Esta especie tolera gran variedad de climas, pero crece mejor en condiciones tropicales húmedas y calientes; con una precipitación de 1300 a 2500 mm por año y una época seca de 3 a 5 meses (Kollert & Cherubini, 2012).

El estudio del ciclaje de nutrientes en bosques y plantaciones se realiza desde hace tiempo para entender el manejo nutricional y la productividad, pero en la última década se han enfocado en el efecto del cambio climático asociados a la sequía y altas temperaturas sobre el ciclaje de nutrientes (Johnson & Turner, 2019). Una parte de este ciclaje de nutriente, lo constituye la caída de hojas y su aporte de nutrientes a través de la descomposición de la hojarasca, que influye en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y contribuye en crecimiento de los árboles y la consecuente producción de madera (Thaiutsa & Granger, 1979). Las tasas de estos procesos involucrados en el reciclaje de nutrientes en los bosques están reguladas por las condiciones de temperatura y humedad (Prescott, Zabek, Staley, & Kabzems, 2000).

En el caso de plantaciones de Teca en Ecuador no existen investigaciones que evalúen la resiliencia a los cambios climáticos bruscos, siendo necesario estudios que permitan conocer cuál es la dinámica de caída de hoja y el aporte de nutrientes en los periodos de sequía. Además, conocer la relación de cantidad de nutrientes entre las hojas antes de caer con relación a las ya caídas permite estimar tasas de reciclaje y poder establecer programas de fertilización más precisos. Esto serviría como herramienta para mejorar los programas de enmiendas al suelo y fertilización, manejo silvicultural, y así asegurar un mejor aprovechamiento de la plantación.

Igualmente conocer la dinámica de caída de hojas permite también saber los momentos en el que el estrés hídrico comienza a afectar con mayor intensidad en función de la tasa de caída. No se sabe si la caída de hojas es igual en todos los meses o es variable y si esa variabilidad responde al contenido de agua en el suelo. Esto nos lleva a preguntarnos en esta especie caducifolia ¿cómo el estrés hídrico influye en la caída de hojas y en la aportación de nutrientes a través de la caída de esta?.

Este trabajo tiene como finalidad determinar la dinámica de caída de hoja, su aporte de macronutrientes en época de sequía y su relación con el contenido de nutrientes de las hojas en los árboles que permanecen en diferentes momentos del período de sequía.

2 Metodología

La plantación donde se realizó el estudio esta ubicada en el Cantón de Cascol, con coordenadas latitud Sur 1° 42'47.3" y longitud Oeste 80° 24'32.9" Provincia de Manabí. La región presenta una temperatura promedio entre 24 a 26 °C, precipitaciones de 1000 a 1250 mm. La estación seca es de seis meses entre los meses de junio a diciembre. El predio cuenta con una topografía ondulada, irregular con un promedio a nivel del mar de 210 m.s.n.m. El área total del rodal es de 15 hectáreas, con una edad de 4 años para el momento del estudio (año 2017). La densidad del rodal es de 800 plantas por hectárea. Las plantas están en bandas de tres hileras, la separación entre plantas es de 2 m por 3 m dejando callejones de 7 m. El material sembrado tiene procedencia del sector del Empalme provincia del Guayas; con características de suelo similares.

Se procedió a delimitar las parcelas al azar, obteniendo el número de parcelas de acuerdo con el procedimiento para un inventario forestal, tomando en cuenta la intensidad del muestreo a 1.5% del área neta de 12 ha. El total de parcelas establecidas fue de 4 (repeticiones) y fueron establecidas aleatoriamente en diferentes sectores de la plantación. La secuencia de la metodología empleada sintetizada en la figura 1.

Características físico químicos y textura del suelo

Las muestras de suelo, para el análisis físico y químico, fueron tomadas con un barreno a tres profundidades: 0-20, 20-40 y 40-60 cm aleatoriamente en cada una de las parcelas, donde se ubicaron las mallas de colecta de hojas. La muestra de suelo se tomó el 12 de junio de 2017 antes de iniciar la recolección de hojas caídas.

Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio INIAP Estación Experimental Tropical "Pichilingue" Quevedo, para su respectivo análisis de contenido de nutrientes (N, P, K, Ca, y Mg) y pH y la clase textural. La textura fue determinada usando el método de Boyoucos o del hidrómetro (Klein, 2008). Para la determinación de N, se empleó el método Kjeldahl modificado. La determinación de P se realizó por el método de Olsen. La determinación de K, Ca y Mg se realizó por espectrofotometría de absorción

atómica en un PerkinElmer 603 (PerkinElmer, Waltham, MA, EUA).

Contenido de humedad del suelo

Las muestras de suelo se recogieron cada mes, durante seis meses. Se colocaron en fundas de papel y se obtuvo el peso fresco con una balanza digital modelo CAMRY (Zhongshan Camry Electronic Co. Ltd. Guangdong, R. P. China). Luego se secaron en una estufa modelo MEMMERT (Memmert GmbH Co. Schwabach, Alemania) a 110 °C durante 78 h, para posteriormente determinar el peso seco.

Dinámica de caída de hojas y cantidad de nutrientes

Se recolectaron hojas secas caída de los árboles mediante colectores de 1 m², elaborados con mallas y distribuida al azar. Se colocaron 4 mallas colectoras por parcela a 30 cm del nivel del suelo. Cada 15 días durante 6 meses, se colectó la cantidad de hojas interceptadas que había caído en cada una de las mallas colectoras. Este procedimiento se implementó siguiendo la metodología propuesta por Jaimez & Franco (1999). También se recolectaron hojas de los árboles para análisis foliar de hojas frescas, escogiendo muestras de 5 árboles por parcela, estas muestras fueron tomadas cada fin de mes. Para la determinación de N, se empleó el método Kjeldahl modificado. La determinación de P, K, Ca y Mg se realizó a través de la mineralización de las muestras por digestión húmeda con mezcla nítrico-perclórica en relación 5:1 (Henríquez, Bertsch, & Salas, 1998), y luego se cuantificó P por colorimetría y la determinación de K, Ca y Mg se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados se expresan como porcentajes de materia seca.

Cantidad de nutrientes que se movilizan desde las hojas a otras partes de la planta

La cantidad que cae por cada nutriente se estimó de la multiplicación de la cantidad total (peso seco) de caída de hojas para los diferentes periodos por la concentración de cada elemento para el período correspondiente. Al determinar el contenido de nutrientes en la hojarasca (hojas secas) y las hojas frescas mediante los análisis de tejidos se determinó la dinámica de movilización de estos elementos y la proporción que queda de cada nutriente en la planta. También se determinó la dinámica de caída de nutrientes y sumando la cantidad de cada mes por nutriente se obtuvo la cantidad total aportado por la hojarasca en el periodo del estudio de cada nutriente, ver figura 1.

Cantidad de nutrientes que se necesita aportar a la plantación en función de los nutrientes en la hojarasca

Para estimar la cantidad de nutrientes que se necesita aportar a la plantación se utilizó como referencia las recomendaciones de fertilización que (Raigosa, 2009) ha estimado para Teca. En función de nutrientes obtenidos en el suelo por el análisis realizado y la cantidad de nutrientes aportado por la caída de hojas se calculó los requerimientos de fertilización necesarios para el desarrollo de la plantación.

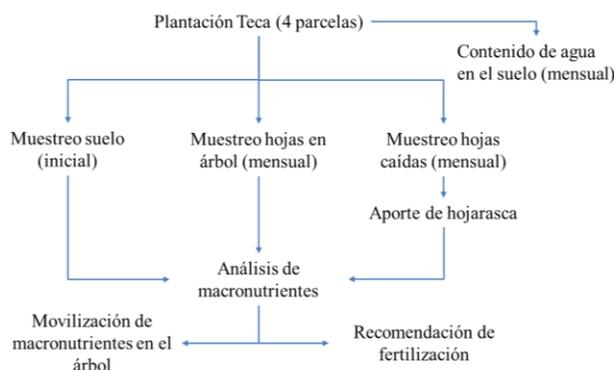


Figura 1: Esquema metodológico realizado para evaluar la dinámica de caída de hojas, su aporte de nutrientes, la distribución de nutrientes desde las hojas y su relación con contenidos de agua en el suelo en plantaciones de Teca de 4 años en periodo de sequía de 6 meses.

3 Resultados y Discusión

Características físicas y químicas del suelo

Considerando que el suelo donde se realizó el estudio es un suelo arcilloso hasta los 80 cm, ver tabla 1, es importante resaltar que los predomios de arcilla hasta esta profundidad constituyen una limitación para el crecimiento radicular. Además, las condiciones de este suelo de poca porosidad también son una limitación para la toma de agua en época de sequía y pueden llegar a momentos de inundación en época de lluvias, lo que también influye negativamente en el crecimiento de los árboles. Por ello, además de la condición de una estación seca de al menos 6 meses, que influye en una menor disponibilidad de agua, la condición arcillosa del suelo es otra limitante en el crecimiento. Los árboles de Teca para el momento y sitio del estudio tenían un promedio de 6.3 m de altura y 8.32 cm de diámetro a la altura del pecho (dap). Es decir, un incremento anual de 1.57 m en altura y 2 cm de dap. Con respecto a valores reportados por Mollinedo, Herrera, & Muñoz (2016) el crecimiento

en altura y diámetro anual en el sitio de estudio sería considerado como bajo. Estos autores han encontrado incrementos de altura entre 1.98 y 2.62 m por año y dap entre 2.2 y 2.8 cm anual, considerado para ellos altos.

En el rodal se ha visto ciertas partes afectadas por exceso de agua (inundación) en período de lluvias y en épocas de sequía se agrieta el suelo. Esto conlleva a problemas para lograr un buen desarrollo de la especie, perdiendo calidad comercial la plantación.

Con respecto a las características químicas del suelo, hasta los 80 cm de profundidad existe una tendencia de disminución del contenido de N a mayor profundidad, mientras que los otros elementos mantienen concentraciones similares. Los valores de N, P y K son valores considerados promedios y adecuados, mientras que los de Ca y Mg son altos para el tipo de suelo arcilloso, con un pH ligeramente ácido, que no constituye ninguna limitación para la toma de nutrientes. Altos valores de Ca y Mg en suelos de plantaciones de Teca también han sido reportados por Boley, Drew, & Andrus (2009) en Costa Rica, quienes además citan similares tendencias en plantaciones en la India.

Contenido de humedad en el suelo

Al comienzo del periodo de sequía, el contenido de agua era del 40% y fue disminuyendo paulatinamente en la medida que el periodo de sequía progresaba hasta llegar a valores de 22%, ver figura 2. Estos valores están dentro del rango teórico que se conoce para suelos arcillosos (Oosterveld & Chang, 1980). Para el mes de diciembre el suelo ya estaba en valores que teóricamente son levemente superiores al rango del punto de marchitez permanente, lo que indica un estrés alto para los árboles. Es decir, para finales de la época de sequía prácticamente no hay agua disponible y los procesos de descomposición se ven muy disminuidos. Esto también influye en una mayor caída de hojas con el resultado de árboles prácticamente sin hojas y descubiertos para evitar pérdidas de agua por transpiración y estar en un estado de mantenimiento mínimo. Tal situación conlleva a retrasos en el crecimiento. Al finalizar la época de lluvia (inicio de sequía), el porcentaje de agua disponible está en valores altos en referencia a los que se han medido para suelos arcillosos. Esto pudiera ocasionar ciertos momentos de anaerobiosis lo que reduce la transpiración y por ende menor toma de nutrientes.

Dinámica de caída de hojas

Los valores menores de caída de hojas (47-52 g/m²) se registraron al principio y final de la época seca. Al

principio de la época de sequía comienza a existir una leve disminución del contenido de agua y por ello los valores bajos de caída de hojarasca. Al final del período de sequía los valores menores corresponden a las últimas hojas que los árboles poseen y que caen producto del alto déficit hídrico. En el período entre la última semana de septiembre y última semana de octubre caen la mayor cantidad de hojas (entre 100 y 120 g/m²) cada 15 días y desde el principio de la sequía hasta mediados de septiembre, la caída de hojas es baja y relativamente estable (ver figura 3).

En el momento de mayor caída de hojas, el valor total de hojas sería aproximadamente 220 g/m² (2.2 t/ha) mensual que es equivalente a lo reportado por Ramachandra & Proctor (1997). Estos autores reportan valores entre 7.63 y 8.61 t/ha año de hojas caídas en un año, y que entre flores, frutos y ramas caen otras 3 t/ha en un año, Es decir, alrededor de 11 t/ha de materia seca cae en una plantación de Teca. Es posible que los valores

de caída de hojarasca en un año sean un poco más altos en nuestro estudio debido a que sólo se consideró el período seco.

Los valores de cantidad de hojas caídas pueden cambiar dependiendo de las condiciones edafoclimáticas de la localidad donde este la plantación, Por ejemplo, para Nigeria, Ojo, Kadebab, & Kayodec (2010) reportan 4.8 t/ha en plantaciones de Teca de 16 años en una región considerada húmeda tropical con precipitaciones anuales de 1500 mm, Estos autores mencionan otras reportes para Nigeria donde se obtuvieron en diferentes regiones 5 y 9 t/ha de caída anual de hojarasca en plantaciones de 17 y 8 años, respectivamente, En Matto Grosso, Brasil se han reportado una caída de 7.2, 6.7 y 6.2 t/ha en plantaciones de 7, 6 y 5 años (de Deus, Matos, & Gonçalves, 2015), Estos autores plantean que la cantidad de hojarasca caída también depende de la edad de la plantación siendo mayores en plantaciones de mayor edad.

Tabla 1: Promedios de porcentajes de arena, limo y arcilla, pH concentración de N, P, K, Ca y Mg a diferentes profundidades. Promedio de 4 muestras ± error estándar.

Profundidad cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	pH	N ppm	P ppm	K meq/100mL	Ca meq/100mL	Mg meq/100mL
0-20	9±1.4	16±2.5	75±6.5	6.1±0,3	28.8±2.3	15.0±2.4	0.5±0.09	21.0±0.8	4.1±0.4
20-40	9±0.8	14±2.0	77±6.3	6.4±0,3	23.5±1.7	13.8±2.1	0.3±0.07	20.8±0.6	4.0±0.6
40-60	8±1.3	15±1.3	77±6.9	6.7±0,7	153±1.9	17.3±1.8	0.4±0.10	21.0±1.2	4.2±0.6

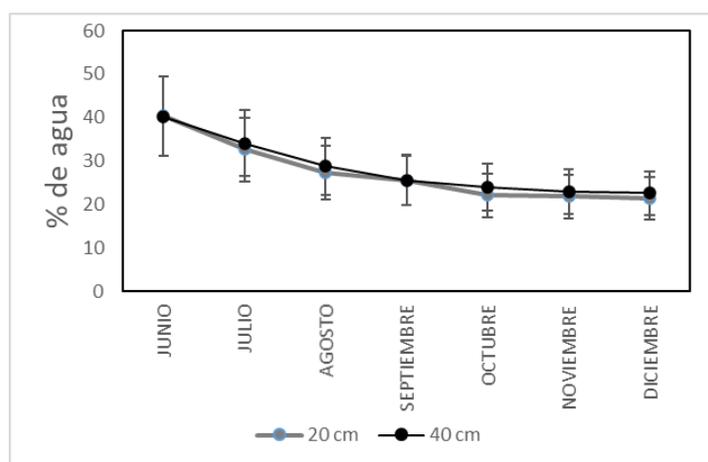


Figura 2: Porcentaje del contenido de agua a 20 y 40 cm de profundidades durante el período de sequía 2017 en un suelo arcilloso con plantaciones de Teca. Barras indican error estándar.

Es de considerar que, en regiones con precipitaciones distribuidas durante todo el año, probablemente la caída de hojarasca debería ser menor por una mayor disponibilidad de agua en el suelo. En el caso de este estudio, el largo período de sequía acompañado de un suelo arcilloso conlleva a un déficit hídrico que debe influir en producir la caída total de las hojas. En Matto Grosso, Brasil en el periodo de sequía que es de dos meses cae alrededor del 65 % de la hojarasca y el restante en un periodo de 7 meses aproximadamente (de Deus *et al.*, 2015).

La condición de ser una especie decidua también influye en una mayor cantidad de caída de hojas, Al contrario de especies siempre verdes, donde la tasa de caída de hojas tiene la tendencia a mantenerse relativamente constante durante el año, a pesar del periodo seco de varios meses, Por ejemplo, el laurel (*Cordia alliodora*) mantiene tasas alrededor de 20 g/m²mes en la región de los Ríos, Ecuador. En las mismas condiciones, el Cedro (*Cedrela odorata*), especie decidua presenta la mayor tasa de caída de hojarasca (60 g/m²mes) en el periodo de sequía y 20 g/m²mes en época de lluvia (Sánchez, Lama, & Suatunce, 2007).

Dinámica de concentración de nutrientes en los árboles y en las hojas caídas

En las hojas de las plantas antes de caer, la concentración del Ca aumentó paulatinamente desde 2% hasta 3% (ver figura 4), mientras que N y K disminuyeron sus concentraciones en las hojas en la medida que progresaba la sequía. En el caso de N las concentraciones disminuyeron desde 1.8% a 1.2%, mientras K disminuyó desde 0.9% a 0.3%. Mg y P mantuvieron valores promedios alrededor de 0.1%. Elementos móviles como N y K probablemente se movilizan a otras partes de la planta por efectos de la sequía, lo cual no ocurrió con el P, que también es otro elemento móvil. También es posible que la toma de K y N disminuya en la medida que la disponibilidad de agua en el suelo sea menor. Por otra parte, el incremento de la concentración de Ca en las hojas en la medida que avanza la sequía, puede ser causado por el mismo proceso de senescencia, ya que el Ca no se transfiere por su poca movilidad y queda en las hojas.

De acuerdo a los valores recomendados por Alvarado (2012), los valores de Mg y P encontrados están considerados entre marginales y deficientes, los de N y K son adecuados al inicio del periodo de sequía, pero marginales al final de la sequía y Ca es adecuado al inicio de la sequía y alto al final de la misma (figura 4). El orden

de concentración en las hojas de Ca>N>K es la misma tendencia encontrada por Fernández–Moya *et al.* (2015).

La concentración de nutrientes en la hojarasca mantuvo valores similares en la sequía, con la excepción del K y Ca (ver figura 5). El Ca es el nutriente de mayor concentración en las hojas caídas y sus valores oscilaron entre 1.7 y 2.7 %. Fue el nutriente que también tuvo mayor variación en los inicios de la época de sequía. Posteriormente aumento progresivamente desde 2 % a finales de agosto hasta 2.6 % en el mes de diciembre. Se ha reportado ala Teca como una especie calcícola.

La concentración de N fue similar con valores promedio de 1.1%. El K, al contrario de la dinámica del Ca, disminuyó sus valores a partir de la primera quincena de septiembre, es decir cuando ya habían pasado alrededor de unos 60 días sin precipitación. Los valores variaron desde 0.8 % hasta 0.4 %. El P y el Mg mantuvieron concentraciones muy bajas y similares durante la época de sequía. Es posible que la toma de K y N disminuya en la medida que la disponibilidad de agua en el suelo sea menor.

Las concentraciones registradas en la plantación de estudio en la hojarasca caída están dentro del rango registrado para plantaciones de Teca en Nigeria (Ojo *et al.*, 2010). Se puede deducir que el aporte de macronutrientes varía entre plantaciones y ello depende de la conformación textural del suelo, condiciones climáticas y manejo. Al respecto reportes recientes (de Deus *et al.*, 2015) encuentran concentraciones de 1.3 0.15, 0.5, 1.4, y 0.5 % de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente en la hojarasca de Teca entre 5 y 7 años de edad. Al compararlos con los resultados de este estudio Mg presentó mayores valores y Ca menores valores, mientras P, N y K fueron similares. La tendencia en valores de concentración es algo similar a nuestro estudio: Ca>N>K>Mg>P. En nuestro caso, Mg fue similar a P.

Con respecto a la cantidad total de nutrientes a través de la caída de hojas de Teca en este estudio fueron de 88.4; 8.9; 46.7; 181.3 y 6.46 kg/ha de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Los resultados encontrados muestran que los aportes de nutrientes en orden decrecientes fueron: Ca>N>K>P>Mg.

En relación al contenido de cada nutriente en la hojarasca con respecto al contenido en la hoja del árbol, se encontró que, a excepción del K y Ca, existe la tendencia a que la relación tienda a aumentar y para finales del mes de diciembre es cercano a 1. ver tabla 2. Esto indica una

movilización de nutrientes (N, P y Mg) en la planta desde las hojas a otras partes al inicio del periodo de sequía, mientras que el K y Ca muestran muy baja movilidad. Pareciera que en la Teca N, P y Mg se movilizan y parcialmente son usados en otras partes de la planta. Probablemente se movilizan hacia el tallo que es el mayor sumidero. El mayor déficit hídrico en los últimos influye en una menor movilización de todos los nutrientes evaluados.

Requerimiento de nutrientes en plantaciones de Teca

El primer paso para comenzar un programa de fertilización en el sistema estudiado es evaluar los requerimientos nutricionales anuales, además de conocer la percolación en condiciones normales, la suma de estos valores representaría la cantidad anual necesaria que se tendría que reponer. A ello debe restársele el aporte de los diferentes elementos a través de la caída de hojarasca y la lluvia para completar el balance y obtener la cantidad que realmente debe agregarse, vía fertilización.

A fin de observar un margen de seguridad en el cálculo, se puede considerar únicamente el aporte a través de las hojas, que según las velocidades de descomposición estimadas en el caso Teca es muy rápida (Sankaran,

1993). Para los cálculos de programa de fertilización se tomó en cuenta el requerimiento de la especie a los 6 años de edad, el aporte del suelo convertidos en kg/ha a 40 cm de profundidad, ya que las raíces secundarias o superficiales de Teca se encuentran a los 30 cm, que cumplen la función de absorción de nutrientes y el aporte de hojarasca para obtener la cantidad que necesitamos reponer al suelo (ver tabla 3).

Para el elemento P con el aporte de la hojarasca se cubre su requerimiento. Como se aprecia solo se requiere aportes de N y K. En este los cálculos nos muestran que solo se debiera de aportar 121 y 135 kg/ha de N y K respectivamente, ver tabla 3. Según Fernández-Moya *et al.* (2015) en plantaciones de Teca los nutrientes acumulados a los 5 años son aproximadamente el 70% de los nutrientes acumulados en las plantaciones de 19 años. La absorción de nutrientes disminuye una vez que se ha cerrado la copa y entonces la toma nutrición de los árboles lo constituye el movimiento de nutrientes entre los tejidos y el reciclaje de nutrientes a través de la caída de hojarasca y su descomposición. Por ello es importante la incorporación de nutrientes faltantes y no sobre fertilizar con nutrientes que ya están en cantidades adecuadas en el suelo.

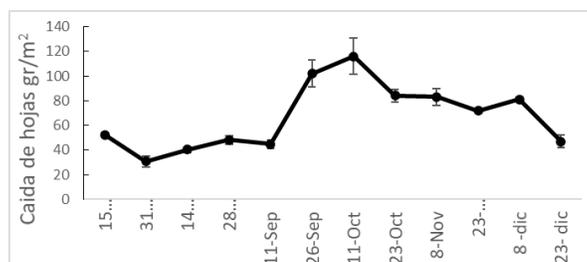


Figura 3: Promedio quincenal de caída de hojas de árboles de Teca de 4 años de edad (Año 2017). Barras indican el error estándar.

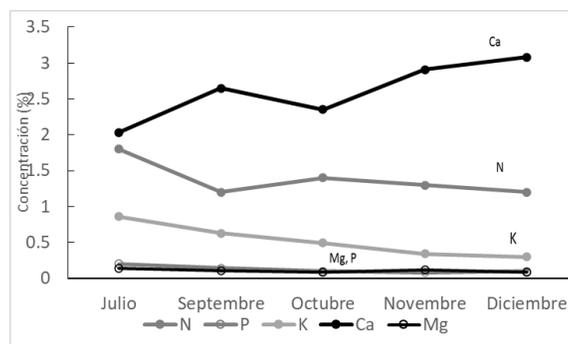


Figura 4: Promedio de concentración de macronutrientes en las hojas de los árboles en el período de sequía en plantaciones de Teca de 4 años.

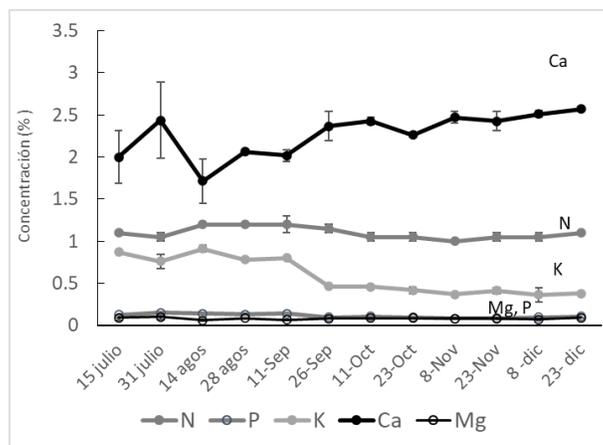


Figura 5: Promedio de concentración de macro nutrientes de la hojarasca caída en el período de sequía en plantaciones de Teca de 4 años, Barras verticales indican error estándar.

Tabla2: Relación entre la concentración de macronutrientes en la hojarasca caída con respecto a la concentración de las hojas de los árboles.

Mes	N	P	K	Ca	Mg
julio	0.61	0.62	0.98	0.98	0.64
septiembre	0.95	0.67	0.70	0.89	0.72
octubre	0.75	0.95	0.86	0.96	0.94
noviembre	0.80	0.96	1	0.83	0.70
diciembre	0.91	1	1	0.83	1

Tabla 3: Requerimiento de fertilizante según el aporte de la hojarasca, contenido nutricional del suelo relacionado con el requerimiento del cultivo a los 6 años.

Nutriente kg/ha	N	P	K	Ca	Mg
A 40 CM DE PROFUNDIDAD					
Requerimiento del cultivo 6 años *	371.00	81.00	291.00	526.00	79.00
Aporte al suelo (análisis)	161.28	84.00	109.20	2352	275.52
Aporte de la hojarasca (estudio)	88.40	8.96	46.70	181.32	6.46
Requerimiento de fertilizante	121.32	-11.96	135.10	-2007.32	-202.98

*Valores tomado de Raigosa (2009).

4 Conclusiones

La condición del suelo de poseer un alto contenido de arcilla limita un buen crecimiento de la Teca. Además, la disminución del contenido de agua en el suelo durante el período de sequía induce un alto porcentaje de caída de hojas.

La mayor cantidad de caída de hojarasca evaluada en el periodo seco ocurre entre los meses de septiembre y noviembre. En el período de sequía caen 8 toneladas de hojas por hectárea en 6 meses, quedando sin hojas en el mes de diciembre

Antes de caer las hojas (hojas frescas), se encontró que la concentración del Ca aumentó paulatinamente mientras que N y K disminuyeron sus concentraciones en las hojas en la medida que progresaba la sequía, elementos móviles como N y K es probable que se movilizan a otras partes de la planta por efectos de la sequía.

Los valores obtenidos del análisis de suelo más el aporte por la caída de hojarasca indican que sólo se requiere fertilizar con N y K para este año.

Referencias

Allen, C. D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., & McDowell, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests, *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660-684.

Alvarado, A. (2012). Nutrición y fertilización de *Tectona grandis* Linn. f.. En A. Alvarado, J. Raigosa (Eds.), *Nutrición y fertilización Forestal en regiones tropicales*. San José, Costa Rica: Centro de investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Boley, J. D., Drew, A. P., & Andrus, R. E. (2009). Effects of active pasture, Teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soil chemistry in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 257(11), 2254–2261.(n.d.). Retrieved from [.scribd.com/doc/141685109/Definicion-de-contenido-de-humedadhttps://es](https://www.scribd.com/doc/141685109/Definicion-de-contenido-de-humedadhttps://es)

(n.d.). Retrieved MAYO 22 MAYO DEL 2017, 2017, from LA GUIA DE LA BIOLOGIA: <http://biologia.laguia2000.com/fisiologia-vegetal/la-importancia-del-potencial-hidrico-en-las-plantas>

Abelardo Nuñez Barrios2, J. R.-O. (n.d.). *EL EFECTO DE SEQUÍA EN EL CRECIMIENTO, LA FOTOSÍNTESIS Y LA INTERCEPCIÓN DE LUZ EN FRIJOL COMÚN*. Retrieved MAYO 24, 2017, from http://www.mag.go.cr/rev_mesos/v09n02_001.pdf

agrícola-vallo, e. u. (n.d.). *Inea*. Retrieved Mayo 10, 2017, from Inea: http://www.inea.org/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=154

ÁLAVA, R. V. (2016). IMPACTO DEL PROYECTO DE INVERSIÓN DE INCENTIVOS FORESTALES DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA, EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS, PERÍODO 2013 - 2015. *UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO*, 3-80.

Alvarado, A. (2006, abril). *Informaciones Agronómicas N 61*. Retrieved from [http://www.ipni.net/publication/ia-laahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/\\$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20Fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20Teca.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-laahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20Fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20Teca.pdf)

Arntzen, D. (2014). *Guía de Estudio AGUA*. Retrieved Mayo 10, 2017, from Guía de Estudio AGUA: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/guiadeestudio-Impdelaguaymedpotencialhidrico.pdf>

aviera Vélez1, J. G.-H.-S. (2012, MAYO 25). *El Estrés Hídrico en Cítricos (Citrus spp.)*. Retrieved MAYO 24, 2017, from El Estrés Hídrico en Cítricos (Citrus spp.): orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/245/693

- Bioiberica. (2011). *Diagnostico del estres vegetal*. Retrieved from <https://www.bioiberica.com/salud-vegetal/diagnostico-del-estres-vegeta/el-estres-vegetal/>
- BONILLA. (2008). Producción y descomposición de la hojarasca en bosque nativo y de *Leucaena* sp, en Codazzi, Cesar. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 5-11.
- Camacho Cordero, D. (2011). *Los bosques en America Latina*. Retrieved Febrero 23, 2018, from www.fes-ecuador.org
- Castro. (2007). Atividade da Redutase do Nitrato em Folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.) sob Déficit Hídrico. *Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 2,* 936-938.
- CASTRO. (2007). Atividade da Redutase do Nitrato em Folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.) sob Déficit Hídrico. *Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 2,* 936-938.
- Cimmyt, C. d. (2013). *contenido de humedad del suelo*. Retrieved Octubre 27, 2017, from http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/1142-chs
- CONIF. (2001). *GUIAS TECNICAS PARA EL ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE PLANTACIONES FORESTALES PRODUCTIVAS EN EL LITORAL ECUATORIANO*. QUITO: CORMADERA.
- Contreras, R. (2016, MAYO 12). *LA GUIA*. Retrieved NOVIEMBRE 07, 2017, from BIOLOGIA: <https://biologia.laguia2000.com/fisiologia-vegetal/la-importancia-del-potencial-hidrico-en-las-plantas>
- de Deus Rosa, T., W., L. M., & Silva, G. d. (n.d.). ECURED. (n.d.). www.ecured.cu/Teca.
- Edwin-Estuardo Vaides, L. (2004). Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectona grandis* L. f.), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala”. *CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN ESCUELA DE POSGRADO*, 1-95.
- EL DIARIO. (2018, ENERO 07). *EL DIARIO*. Retrieved from Aún hay déficit en reforestación: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/459954-aun-hay-deficit-en-reforestacion/>
- Fernández, J. L. (2012. , 11 22). EL CAMBIO CLIMÁTICO:SUS CAUSASY EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. Valladolid , ESPAÑA.
- Fernando, Valladares. (2004). *Estres Hídrico: Ecofisiología y Escala de sequía*. Retrieved febrero 22, 2018
- Forestal, E. M. (2014). Retrieved from <http://www.elmundoforestal.com/terminologia/caducifolio.html>
- Francis, J. K. (2000). Bioecología de árboles nativos y exóticos en Puerto Rico y la India Occidentales. In J. K. Francis, *Bioecología de árboles nativos y exóticos en Puerto Rico y la India Occidentales* (p. 525). Puerto Rico: USDA-Carol A lowe.
- GAD, c. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento de la parroquia Cascol*. Retrieved febrero 22, 2018

- GASPAR-SANTOS, E. S. (2015, enero 25). *Acumulación y descomposición de hojarasca en bosques secundarios del sur de la Sierra Madre de Chiapas, México*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000300013>
- González, S. A. (2010). *Relación del suelo con el crecimiento inicial y contenido foliar de teca*. Retrieved noviembre 27, 2017, from <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/discover?scope=11554%2F1&query=Relaci%C3%B3n+del+suelo+con+el+crecimiento+inicial+y+contenido+foliar+de+teca+%28Tectona+grandis%29%2C+y+adaptaci%C3%B3n+de+leguminosas+para+control+de+arvenses+bajo+un+sistema+>
- Gracia, C. (n.d.). *Ecología Forestal: Estructura, Funcionamiento y Producción de las masas forestales*. Retrieved Mayo 10, 2017, from <http://www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Fotos%C3%ADntesis.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC. (2002, ABRIL). Cambio climático y biodiversidad. <http://cambioclimaticoglobal.com/causas>. (n.d.). <http://cambioclimaticoglobal.com/causas>. Retrieved SEPTIEMBRE SIETE, 2017, from <http://cambioclimaticoglobal.com/causas>
- Insu Jo, J. D. (2015). *More of the same? In situ leaf and root decomposition rates donot vary between 80 native and nonnative deciduous forest species*. Retrieved noviembre 28, 2017, from www.newphytologist.com
- Jaimez, D. R. (2016, DICIEMBRE 6). ECOLOGIA FORESTAL. FACTORES AMBIENTALES. QUEVEDO, LOS RIOS, COSTA: MAESTRIA FORESTAL SOSTENIBLE .
- Jaimez, R. E. (2016). Potencial fotosintético de clones de cacao (*Theobroma cacao*) en la costa central. *Taller de técnicas e instrumentación fisiológica para la detección y la medición del estrés en las plantas* (p. 21). Quito: Editorial USFQ Universidad San Francisco de Quito.
- krishnapillay, B. (2000). Silvicultura y Ordenación de Plantaciones de Teca. *Unysilva 201 vol 5*, 14-21. Retrieved SEPTIEMBRE 7, 2017, from (<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/x4565s/X4565s03.PDF>)
- Lamprecht, H. (1990). *SILVICULTURA EN LOS TROPICOS*. ALEMANIA: COOPERACION FEDERAL ALEMANA.
- Lechinoski, A. (2007). Influência do Estresse Hídrico nos Teores de Proteínas e Aminoácidos Solúveis Totais em Folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). *Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 2,, 927-929*.
- Luna-Flores, W. &.-M.-O.-L. (2012). *EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE TRES ESPECIES ARBÓREAS CADUCIFOLIAS*.
- MAGAP. (2016, JULIO). Programa de Incentivos para la Reforestacion con Fines Comerciales. *Programa de Incentivos para la Reforestacion con Fines Comerciales*. MANABI.
- Ministerio de Agricultura, G. A. (2016). Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales. *Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

- Mollinedo, L. U. (2005). *RELACIÓN SUELO-ÁRBOL Y FACTORES DE SITIO, EN PLANTACIONES JÓVENES DE TECA (Tectona grandis)*. Retrieved from www.mag.go.cr/rev_agr/v29n01_067.pdf
- Montero M, L. U. (1999). Índice de Sitio para *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quintata* en Costa Rica y sus variables con Fisiográficas, climáticas, edáficas y foliares. *CATIE ACTAS DE LA IV SEMANA CIENTÍFICA* (p. 490). Turrialba, Costa Rica: CATIE. doi:9977-57-319-0
- Moreno, L. P. (2009, julio 2). *Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión*. Retrieved octubre 26, 2017, from <http://www.scielo.org.co/img/revistas/agc/v27n2/v27n2a06.pdf>
- Musálem, M. Á. (2006). *Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales*. Retrieved noviembre 23, 2017
- Natalia Tesón, J. L. (Concordia, octubre de 2013). LA ECOFISIOLOGÍA COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO FORESTAL SUSTENTABLE. *IUFRO 2012 Congreso Latinoamericano.*, (pp. 1-8). Pucón, Chile.
- Nirmal Kumar J. I, S. P. (2010). Wood and Leaf Litter Decomposition and Nutrient Release from *Tectona grandis* Linn. f. in a Tropical Dry Deciduous Forest of Rajasthan, Western India. *Journal of Forest Science*. 26 (1): 17-23.
- Ojo, T. O. (2010). *Litter Mass and Nutrient Dynamics in a Transformed Rainforest Ecosystem in Southwestern Nigeria*.
- Ortiz Hernandez, N. (2016). Retrieved MAYO 18, 2017, from ESTRES HIDRICO UCM: pendientedemigracion.ucm.es/info/cvicedemigracion/semnarios/estres_hidrico.pdf
- Pandey y Brown. (2000). *La teca: una visión global*. Retrieved noviembre 23, 2017, from Una visión general de los Recursos Mundiales de Teca y de los elementos que influyen en su perspectiva.
- Porto, J. P. (2007). Retrieved 05 09, 2017, from DEFINICION ABC: (<https://definicion.de/cambio-climatico/>)
- Prescott. (2002). *The influence of the forest canopy on nutrient cycling*. Retrieved febrero 23, 2018
- R. Moya, A. B. (2009). Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)*, 18(2), 119-131-ISSN: 1131-7965.
- Raigosa. (2009). *Nutrición y Fertilización Forestal en Regiones Tropicales*. San Jose, Costa Rica: centro de investigaciones de costa rica.
- Raigosa, E. p. (2009). *Nutrición y Fertilización Forestal en Regiones Tropicales*. San Jose.
- RODAS. (n.d.). *ESTRES HIDRICO*. Retrieved MAYO 24, 2017, from EFECTOS DEL ESTRES POR DEFICIT HIDRICO EN PLANTAS: https://rodas5.us.es/file/4949d71b-4d3d-9e69-000a-1b76edf86560/1/texto_estres_hidrico_SCORM.zip/pagina_04.htm
- Saldívar, R. H. (2013). *Fisiología Vegetal*. Mexico D.F.: Trillas S.A.
- Sanchez, e. a. (n.d.).
- Sánchez-Salguero, R. N.-C.-C. (2012). Vulnerabilidad frente a la sequía de repoblaciones de dos especies de pinos

en su límite meridional en Europa.
ECOSISTEMAS, Doi.:
10.7818/ECOS.2012.21-3.05.

Semanart. (2009). *SEMANART*. Retrieved MAYO 9,
2017, from SEMANART:
<http://www.semarnat.gob.mx/>

si. (2000). *Unylsa 201 vol 5*, 14-21.

Solares. (2014). *EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y
DESARROLLO DE PLANTAS DE TECA
(Tectona Grandis*. Retrieved from
[http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06
/22/Solares-Ana.pdf](http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/22/Solares-Ana.pdf)

Suatunce. (2009). *TECA grandis L.f. (Teca) una
madera valiosa para el Ecuador*.
Quevedo: DGM-INSTITUTO DE
INFORMATICA DANIEL MERA.

Tambussi, E. A. (2004, Septiembre).
FOTOSÍNTESIS, FOTOPROTECCIÓN,
PRODUCTIVIDAD Y ESTRÉS ABIÓTICO:
ALGUNOS CASOS DE ESTUDIO. Barcelona,
España.

TELÉGRAFO, E. (2015, ABRIL 25). *Ecuador exporta
12.000 contenedores con teca al año*.
Retrieved from Ecuador exporta 12.000
contenedores con teca al año:
[https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/
economia/1/ecuador-exporta-12-000-
contenedores-con-teca-al-ano](https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/1/ecuador-exporta-12-000-contenedores-con-teca-al-ano)

Thaiutsa, B. (2015). *El clima y la descomposición
de la hojarasca en el bosque tropical*.

Valles-Gándara, J. M.-R. (2007). *ÍNDICE DE
PRODUCTIVIDAD DE SITIOS*

MULTIESPECÍFICOS A TRAVÉS DE
FUNCIONES DE DISTANCIA EN SITIOS
FORESTALES. *ENSAYO en Agrociencia*, 41:
687-700.