

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA  
UNAN-LEÓN



FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN  
BIOLOGÍA

**EFFECTO DEL CONTROL MECÁNICO PARA VEGETACIÓN  
INVASIVA (*Typha domingensis* PERS.) EN LAS CARACTERÍSTICAS  
EDÁFICAS DEL HUMEDAL PALO VERDE, COSTA RICA.**

Autora:  
Lidia Esperanza Reyes Gutiérrez, Br.

Tutorada por:  
María Eugenia Cerda Castillo, PhD.

Co tutorada por:  
Mahmood Sasa Marín, PhD.  
César Dionisio Jiménez Rodríguez, Ms. C.

León, Nicaragua 2014

¡A LA LIBERTAD POR LA UNIVERSIDAD!

**DEDICATORIA**

*A mi madre Josefa Gutiérrez y mi padre Baloy Reyes  
por brindarme su apoyo incondicional en todo momento,  
sin ustedes no soy nada.  
¡Los amo!*

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✓ A mis padres, por guiarme y formarme, dándome las herramientas necesarias para salir adelante.
- ✓ Al Dr. Mahmood Sasa, por confiar en mí para realizar esta investigación, por su apoyo, su ayuda, dedicación, tiempo y su amistad.
- ✓ A la Dra. María Eugenia Cerda, mi tutora, por su ayuda y disponibilidad en la realización de este trabajo.
- ✓ Al MSc. César Jiménez, por su ayuda incondicional desde el primer momento, tantas correcciones y consejos brindaron frutos.
- ✓ A Lilliam Morales y Tania Vanegas, que puedo decir, sin ustedes aún seguiría haciendo calicatas y limpiando raíces, definitivamente han sido una parte esencial en esta tesis.
- ✓ A Sergio Padilla, por toda tu ayuda y palabras de aliento en cada etapa de este trabajo, por ayudarme a mantener la cordura en los peores momentos.
- ✓ A Juan Serrano, por tenerme paciencia y ayudarme cada vez que lo necesité.
- ✓ A mis amigas Mayra, Adriana, Katherinne, Mariela y Grettel su apoyo y palabras de aliento me han hecho mejor.
- ✓ Al personal de Palo Verde: Davinia, Salomón, Gilberto, Davy, Alexander y Romelio, por su compañía y ayuda durante mi estadía en Palo Verde.

¡Gracias a tod@s!

## *FINANCIACIÓN*

El presente trabajo de investigación fue realizado gracias a:

- ✓ Chris Davidson, quien de forma desinteresada financió el curso de Métodos de Campo y parte de mi estadía en la estación biológica Palo Verde.
- ✓ Holcim-Costa Rica S.A. quien brindó financiamiento para parte de mi estadía en la estación biológica Palo Verde.
- ✓ La Fundación CRUSA-CSIC
- ✓ El proyecto VI 741-B1-517 de la Universidad de Costa Rica (UCR)

## ACREDITACIÓN:

María Eugenia Cerda Castillo, Profesora Docente investigadora en el Departamento de Biología, Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- León, (UNAN-León).

Mahmood Sasa Marín, Profesor Titular en el Departamento de Microbiología, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica (UCR).

César D. Jiménez-Rodríguez, Profesor en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC).

### CERTIFICAN:

Que la presente memoria de tesis titulada “Efecto del control mecánico para vegetación invasiva (*Typha domingensis* Pers.) en las características edáficas del humedal Palo Verde, Costa Rica.” presentada por la Bra. Lidia Esperanza Reyes Gutiérrez para optar al grado de Licenciada en Biología por la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León, ha sido realizada bajo su dirección, y que, hallándose concluida, autoriza su presentación para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, se firmó en Nicaragua, Costa Rica y Colombia, en el mes de Noviembre del año 2014.

\_\_\_\_\_  
Dra. María Eugenia Cerda Castillo

\_\_\_\_\_  
Dr. Mahmood Sasa Marín

\_\_\_\_\_  
César Dionisio Jiménez R. MsC.

\_\_\_\_\_  
Br. Lidia Esperanza Reyes G.

## RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar por primera vez el efecto del control mecánico de vegetación invasiva sobre algunas características físico-químicas y bióticas del suelo en el humedal estacional Palo Verde. Se tomaron como zonas de muestreo las áreas donde se aplica los tratamientos de Fangueo y de Raspado y un área donde se observa dominancia total de *Typha domingensis* la cual se denominará área de Control. Se realizaron 27 puntos de muestreo en el suelo de humedal Palo verde. En cada punto de muestreo se realizaron calicatas de 1m<sup>2</sup> x 50 cm de profundidad, en las cuales se recolectaron muestras de suelo cada 10 cm de profundidad. Para cada punto de muestreo se determinó el contenido de humedad a través del método gravimétrico; la densidad aparente por medio del método del volumen conocido; el contenido de materia orgánica y el contenido de carbonatos a través del método de pérdida por ignición (LOI); la densidad lineal de raíces, biomasa radical e índice de área radical a través del software análisis de imágenes WinRHIZO Pro. Versión 2012. Los datos se analizaron por medio de un ANOVA de dos vías, a un nivel de significancia de P<0.05. El contenido de humedad no presentó diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo el tratamiento de Fangueo mostró los valores más bajos (39.01%), y el área de Control los más altos (40.71%), siendo los valores intermedios para el tratamiento de Raspado (40.53%). La densidad aparente muestra diferencias entre el área de Control y el tratamiento de Fangueo; los valores más bajos fueron para el área de Control (0.93 gr/cm<sup>3</sup>), los tratamientos de Fangueo y Raspado presentaron valores similares: 1.04 gr/cm<sup>3</sup> y 1.02 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente. El contenido de materia orgánica fue diferente entre el área de Control (11.92%) y el tratamiento de Fangueo (9.41%) y el Raspado presenta valores intermedios (10.97%). Resultados similares se obtuvieron en el contenido de carbonatos, donde se observaron diferencias entre el área de Control (14.29 %) y el tratamiento de Fangueo (10.85%), siendo el Raspado similar a ambos tratamientos (12.91%). Para las variables bióticas los valores más altos se encuentran en el área de Control para todas las variables (Densidad lineal de Raíces, Biomasa de Raíces, Índice de área radical), y los valores más bajos en el tratamiento de Raspado, siendo estos tratamientos estadísticamente diferentes entre sí, excepto en la biomasa de raíces donde los valores más bajos se obtuvieron para el tratamiento de Fangueo.

**Palabras Clave:** Humedal, *Typha domingensis*, Fangueo, Raspado, Control Mecánico.

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>FINANCIACIÓN</b> .....	iv
<b>ACREDITACIÓN:</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>ÍNDICE</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	ix
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1 <i>Objetivo General</i> . . . . .	3
2.2 <i>Objetivos Específicos</i> . . . . .	3
<b>3. HIPOTESIS</b> .....	4
<b>4. REVISION DE LITERATURA</b> .....	5
4.1 <i>Parque Nacional Palo Verde</i> . . . . .	5
4.2 <i>¿Qué son los humedales?</i> . . . . .	6
4.3 <i>Typha domingensis</i> Pers. . . . .	8
4.4 <i>Restauración del humedal Palo Verde.</i> . . . . .	11
4.8 <i>El suelo</i> . . . . .	15
<b>5. MARCO LEGAL</b> .....	23
<b>6. METODOLOGÍA</b> .....	24
6.1 <i>Sitio de estudio:</i> . . . . .	24
6.2 <i>Diseño experimental</i> . . . . .	25
6.3 <i>Recolección de datos</i> . . . . .	25
6.4 <i>Análisis de datos y pruebas de las hipótesis</i> . . . . .	27
<b>8. RESULTADOS</b> .....	28
8.1 <i>Descripción de las zonas de estudio</i> . . . . .	28
8.2 <i>Variables físico-químicas del suelo</i> . . . . .	29
8.3 <i>Variables bióticas del suelo</i> . . . . .	34
<b>9. DISCUSIÓN</b> .....	37
<b>10. CONCLUSIÓN</b> .....	42
<b>11. RECOMENDACIONES</b> .....	43
<b>12. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	44

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de control para el género Typha .....	10
Cuadro 2. Medias de las variables físico-químicas de tres tratamientos mecánicos empleados en el Humedal Palo Verde, 2013. Para cada variable por separado, las letras iguales indican medias que no difieren entre sí según Tukey ( $P < 0.005$ ) .....	30
Cuadro 3. Medias y desviación estándar de las variables bióticas de tres tratamientos mecánicos empleados en el Humedal Palo Verde, 2013. Para cada variable individual, las letras iguales indican medias que no difieren entre sí según Tukey ( $P < 0.005$ ) .....	35
Cuadro 4. Comparación entre los resultados obtenidos por Osland <i>et al.</i> 2011 y los resultados obtenidos en esta investigación para densidad aparente y contenido de materia orgánica. ....	39

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Humedal Palo Verde en época seca, rodeado de bosque seco y montañas.....	5
Figura 2. Plantas de <i>Typha domingensis</i> con inflorescencia y fructificación.....	9
Figura 3. Maquinaria empleada para el manejo del humedal Palo Verde.....	15
Figura 4. Zonas Manejadas del Humedal Palo Verde. ....	15
Figura 5. Triángulo de textura a partir del cual se obtienen los nombres de las clases de textura.....	16
Figura 6. Puntos de muestreo en el Humedal Palo Verde- Guanacaste, Costa Rica. ....	24
Figura 7. Zona con tratamientos de Control (Dominancia de <i>Typha domingensis</i> ).....	28
Figura 8. Diferencias en las zonas con tratamiento de Fangueo. ....	28
Figura 9. Zona con tratamientos de Raspado. ....	29
Figura 10. Contenido de humedad con respecto a la profundidad en tres tratamientos en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.....	30
Figura 11. Densidad aparente con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.	31
Figura 12. Contenido de materia orgánica con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.....	32
Figura 13. Variación del contenido de carbonatos con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.....	33
Figura 14. Densidad lineal de raíces finas con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.....	34
Figura 15. Biomasa radical de raíces finas con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.....	35
Figura 16. Índice de área radical con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.	36

## **1. INTRODUCCIÓN**

El Parque Nacional Palo Verde (PNPV), está ubicado en la Cuenca Baja del Río Tempisque en Costa Rica y posee un área aproximada de lagunas temporales de 9,400 Ha. Estos cuerpos lenticos protegen a más de 64 especies de aves acuáticas, 75 mamíferos, 56 reptiles y 14 anfibios, incluyendo varias especies en peligro de extinción (Mora *et al.*, 2012). El mantenimiento de esa extensa comunidad de organismos, requiere de un adecuado espejo de agua para el desarrollo de comunidades plantónicas y bentónicas que sirvan de alimento; así como de áreas de pantano con vegetación que puedan servir de refugio (Bufford & González, 2012).

Sin embargo, los humedales del PNPV han cambiado drásticamente, debido a las modificaciones en su manejo, que han alterado sus procesos hidrológicos y aumentado la sedimentación. Como consecuencia, el avance de la tifa (*Typha domingensis* Pers.) se ha visto favorecido (Montemarano *et al.*, 2012).

La dominancia de *Typha domingensis*, reduce considerablemente el espejo de agua en las lagunas del PNPV. Esta reducción ha forzado a la mayoría de aves acuáticas a buscar nuevos sitios de refugio y alimentación (Trama *et al.*, 2009a). Esta situación ha obligado al personal del parque a implementar medidas para el manejo ecológico de los humedales.

En el año 2001 se inició el proceso de restauración de la laguna Palo Verde (Chavarría, Com. Pers. 2013) con el fin de convertir la zona en un área mejor de lo que era antes de la restauración (Bradshaw, 1983). Durante los años siguientes, se restituyeron los flujos de agua que habían sido interrumpidos (Jiménez *et al.*, 2003) y también se definió un plan de Fanguero a través de un tractor agrícola que tritura, aplasta y deja bajo agua la vegetación invasiva (McCoy & Rodríguez, 1994). De esta manera se ha mejorado la calidad y superficie del espejo de agua del humedal (Mora *et al.*, 2012). Finalmente en el año 2012 se implementó un nuevo tratamiento para las áreas cubiertas por tifa (*Typha domingensis*) como fue el Raspado con pala mecánica. De esta forma, se pueden observar los esfuerzos de la población civil e institucional para mejorar la calidad ambiental de ecosistemas alterados y/o amenazados en Costa Rica.

La información generada por este estudio permitiría evaluar el efecto de estas técnicas sobre las características edáficas del humedal y aportará información útil que permitiría llevar a cabo un mejor manejo del humedal, así también como base para el manejo de otras zonas con problemáticas similares.

La cuenca del Río Tempisque, incluye humedales que ofrecen gran variedad de servicios ambientales (Echeverría, 2004), de tal manera que al efectuarse un manejo adecuado del humedal, se contribuirá a mejorar la belleza escénica de la zona y su importancia turística.

El humedal Palo Verde cumple una importante función en el ciclo biológico de muchas especies de organismos (Trama, 2005; Trama *et al.*, 2009a; Trama *et al.*, 2009b) por lo que su mantenimiento es crucial para poder conservarlas.

Al ser un humedal estacional, su hidro-periodo está íntimamente ligado a la precipitación, radiación solar y evapotranspiración mensual (Calvo & Arias, 2004). Los organismos asociados a este tipo de ecosistema están adaptados a las condiciones de sequía e inundación, y sus ciclos de vida están ligados a esta dinámica hídrica. De esta forma algunos grupos taxonómicos tales como anuros, invertebrados acuáticos e incluso algunas especies de peces, estivan en el suelo del humedal durante la temporada seca (Trama *et al.*, 2009b), aprovechando los suelos vertisoles de la laguna que les permite mantener la temperatura y humedad adecuada para su supervivencia durante la época seca (Osland *et al.*, 2009b).

Debido a la explosión demográfica de la especie *Typha domingensis* en el humedal, se ha tenido que recurrir al uso de maquinaria pesada para la remoción de ésta planta (McCoy & Rodríguez, 1994). Sin embargo, no se conoce el efecto de estas prácticas sobre las características del suelo, tales como la compactación, perfiles de humedad, materia orgánica y concentración de carbonatos, características que en conjunto inciden sobre la salud del suelo (Bot & Benites, 2005; Nicholls & Altieri 2008). Adicionalmente estas variables proveen las condiciones ecológicas para el desarrollo de las especies que estivan en el subsuelo o que habitan en él.

Es de gran relevancia evaluar el efecto que el manejo para el control de *Typha domingensis* tiene sobre estas variables, que permita determinar un método de control con mayor efectividad y con el menor daño en el ecosistema.

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivo General***

Evaluar el efecto del control mecánico de vegetación invasiva sobre algunas características físico-químicas y bióticas del suelo en el humedal Palo verde.

### ***2.2 Objetivos Específicos***

-Describir el perfil de humedad del suelo durante la época seca en las zonas con y sin manejo mecánico.

-Evaluar la densidad aparente del suelo a cinco profundidades tras el control de *Typha domingensis*.

-Determinar la cantidad de materia orgánica en el suelo del humedal Palo Verde.

-Evaluar el efecto del manejo mecánico sobre la concentración de carbonatos en el suelo.

-Cuantificar la biomasa de raíces presentes en el suelo del humedal a diferentes profundidades del suelo.

### **3. HIPOTESIS**

El uso de maquinaria pesada para el control de *Typha domingensis* afecta las características físico químicas y bióticas del suelo del humedal Palo Verde.

## **4. REVISION DE LITERATURA**

### ***4.1 Parque Nacional Palo Verde***

El Parque Nacional Palo Verde (PNPV) tiene un área aproximada de 20.000 ha. Se encuentra ubicado en la provincia de Guanacaste, en el noroeste de Costa Rica, a unos 200 km al noroeste de San José. El PNPV pertenece al Área de Conservación Arenal-Tempisque (Misión Ramsar de asesoramiento, 1998; Esquivel Vargas, 2013). El parque se ubica en las subcuencas media y baja de los Ríos Tempisque y Bebedero (Vaughan *et al.*, 1996)

Según el sistema de clasificación de Holdrige (1967) Palo Verde, está incluido en dos zonas de vida: bosque húmedo tropical de transición a basal y bosque húmedo transición a seco (Bolaños & Watson, 1993. Citado por Trama, 2005). El parque incluye manglares y otros humedales estacionales, bosques inundados, bosques siempre verde y bosques secos (Trama, 2005).

El PNPV presenta planicies y serranías de poca elevación. Las zonas altas están formadas por material calizo arrecifal o areniscas silíceas y calcáreas. El área plana por aluviones cuaternarios, areniscas y sedimentos de caliza (Vaughan *et al.*, 1996).

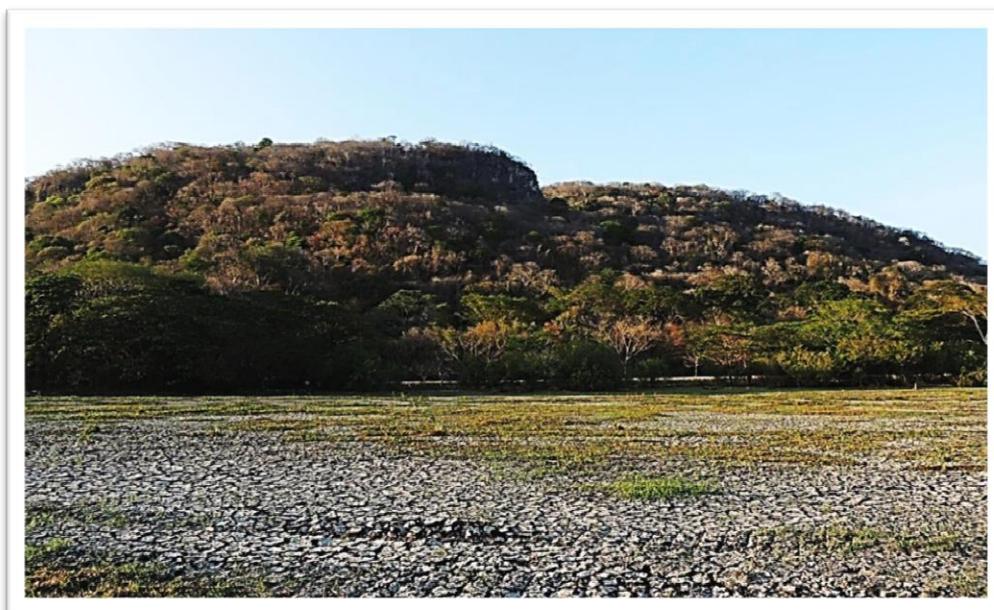


Figura 1. Humedal Palo Verde en época seca, rodeado de bosque seco y montañas.

#### ***4.1.1 Historia de Palo Verde: Cambios y Pérdida de los humedales***

Hasta mediados de los 70's, Palo Verde era parte de la hacienda ganadera Colmeco. Durante ese tiempo se mantenía ganado en los humedales durante gran parte del periodo seco. Estos animales se habían criado en los mismos humedales y vivían dentro del agua alimentándose de vegetación acuática (pastos, retoños de tifa, retoños de palo verde, etc.). Otros sólo estaban en la época seca y en la lluviosa pastoreaban en zonas altas (McCoy & Rodríguez, 1994).

El resultado de este tipo de manejo era un hábitat heterogéneo, de gran atractivo para las aves acuáticas, así como para invertebrados, peces, anfibios y reptiles (Secretaría de la Convención Ramsar, 2000). También, se manipulaba el agua de algunos de los esteros que estaban conectados con la laguna Palo Verde, de tal manera que se podía utilizar en las épocas más secas (Trama, 2005).

En 1975 la hacienda Colmeo fue expropiada a sus dueños por el Gobierno de Costa Rica, para repartir la tierra a pequeños agricultores como parte de la reforma agraria del país. La zona de Palo Verde, considerada la menos apta para la agricultura por sus humedales y cerros calizos no entró en los planes de repartición agraria (Sasa, Com. Pers. 2013).

En 1978 el área fue declarada como Refugio de Vida Silvestre Doctor Rafael Lucas Rodríguez Caballero, bajo la administración del Servicio de Parques Nacionales (Trama, 2005). En esa época, se presentaron diversos cambios incluyendo el manejo del humedal (Calvo & Arias, 2004; McCoy, 1994). Inicialmente se eliminó el ganado de los humedales, deteniéndose de esta forma el manejo por pastoreo (McCoy, 1996; Vaughan *et al.*, 1996). Por otra parte, la construcción y relleno de caminos de acceso en el parque bloquearon el flujo natural de esteros y quebradas, que desembocaban en la laguna y brindaban agua de escorrentía en la época seca (Calvo & Arias, 2004). Del mismo modo, el cambio en la cantidad y persistencia de la lluvia contribuyó a la disminución del agua presente en el humedal (Trama, 2005).

Todo esto generó las condiciones adecuadas para el avance descontrolado de algunas de especies vegetales, de entre las cuales *Typha domingensis* fue la más beneficiada. Según McCoy y Rodríguez (1994), para el año 1980 esta especie había cubierto el humedal casi en su totalidad. El humedal Palo Verde, pasó de uno con grandes espejos de agua y con vegetación flotante a un hábitat compuesto principalmente por tifa (*Typha domingensis*), palo verde (*Parkinsonia aculeata*) y zarza (*Mimosa pigra*) (McCoy & Rodríguez, 1994; Trama, 2005).

El Refugio de Vida Silvestre Doctor Rafael Lucas Rodríguez Caballero, fue elevado de categoría de protección a “Parque Nacional Palo Verde” según decreto N° 20082-MIRENEM del 10 de diciembre de 1990 (Chavarría, Com. Pers. 2013; Trama, 2005). La categoría de Parque Nacional es más restrictiva en cuanto al uso del área, y el objetivo principal de esta nueva asignación fue la de “proteger, manejar, conservar y restaurar las comunidades biológicas características de bosque húmedo transición a seco y de humedales asociados” (Trama, 2005).

#### **4.2 ¿Qué son los humedales?**

El termino humedal, se refiere a las zonas en donde el agua cubre parte de la cobertura terrestre, y es el componente principal para el desarrollo de los organismos que habitan el lugar.

Existen diversas definiciones para el término humedal ya que estos, comprenden una alta variedad de ecosistemas, sin embargo, todas comparten una propiedad primordial: el agua.

Una de las definiciones más utilizadas actualmente es la empleada por la Convención Ramsar:

*“Los humedales son extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”* (Secretaría de la Convención Ramsar, 2000).

Existen cinco tipos de humedales principales: Marinos (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral); estuarinos (incluidos deltas, marismas de marea y manglares); lacustres (humedales asociados con lagos); ribereños (humedales adyacentes a ríos y arroyos); y palustres (es decir, “pantanosos” – marismas, pantanos y ciénagas) (Secretaría de la Convención Ramsar, 2000).

#### **4.2.2 Importancia de los humedales**

Los humedales son ecosistemas, que presentan una alta productividad debido a la gran cantidad de organismos que albergan, así como todos los procesos ecológicos que se dan en estos. Así, los humedales generan grandes beneficios al ambiente y a la sociedad (Tabilo-Valdivieso, 1999; Jiménez, 1999), y en estos beneficios reside su importancia.

La vegetación presente en los humedales, es capaz de brindar protección contra desastres naturales como las inundaciones, marejadas, maremotos, además de controlar la erosión de los suelos (Asch & Solano, 1991; Tabilo-Valdivieso, 1999).

Se dice que los humedales contribuyen al mejoramiento de la calidad del agua presente en estos, debido a que se previene el ingreso de agua salada hacia los cuerpos de agua dulce, además de poseer la capacidad de regular la corriente de agua que llega a los ríos. Otra función muy importante de los humedales es su capacidad de almacenar agua durante la época seca (Rojas *et al.* 2003; Tabilo-Valdivieso, 1999).

Muchos humedales tienen la capacidad de almacenar sedimentos, nutrientes y sustancias tóxicas; los cuales ingresan a los humedales por el uso inadecuado de las personas (e.g. malas prácticas agrícolas). Así, los humedales, amortiguan el impacto de la contaminación en el medio ambiente (Asch & Solano, 1991; Tabilo-Valdivieso, 1999).

Una función muy importante de los humedales es su soporte en las cadenas tróficas. Esta importancia radica en que funcionan como refugio de vida silvestre, albergando especies raras, hábitats, comunidades y ecosistemas que dependen de estos sitios exclusivamente para completar los ciclos biológicos de algunas especies; lo que aumenta su importancia para la conservación y su utilidad para la educación y para la investigación científica (Asch & Solano, 1991; Tabilo-Valdivieso, 1999).

Gracias a la belleza escénica y variedad de ecosistemas presente en los humedales, estos son utilizados para la recreación y el ecoturismo. También, la variedad de organismos que se desarrollan en los humedales, convierten a estos sitios en importantes bancos genéticos (Asch & Solano, 1991; Tabilo-Valdivieso, 1999).

Gracias a los humedales se puede obtener energía de diversas formas, a través de la formación de turba, de leña, e incluso la energía hidroeléctrica (Correa-Araneda *et. Al.* 2011; Rojas *et al.* 2003; Tabilo-Valdivieso, 1999).

Adicionalmente, los humedales tienen una estrecha relación con la población humana que habita en las cercanías o en el mismo humedal. Por esto, tienen una significancia socio-cultural por ser fuente de trabajo y alimento, e incluso por ser parte de sitios históricos o de importancia religiosa como centro de creencias espirituales (Rojas *et al.* 2003).

A pesar de la gran cantidad de servicios ofrecidos por los humedales, estos sitios están siendo degradados de manera muy acelerada, por la intervención humana. Ejemplo de esto es la obtención de suelos aptos para la agricultura, o para el establecimiento de comunidades humanas, por lo que son drenados y/o rellenados para convertirse en zonas receptoras de contaminación de la población aledaña (Correa-Araneda *et. Al.*, 2011; Figueroa *et al.*, 2009).

De manera indirecta pero igual de devastadora, el uso de suelos cercanos para la agricultura y silvicultura o ganadería. Estos procesos generan contaminación por el uso de compuestos químicos que llegan a los cuerpos de agua a través del arrastre superficial o lixiviación (Alfaro & Salazar 2005; Correa-Araneda *et al.*, 2011).

#### **4.3 Typha domingensis Pers.**

##### **4.3.1 Taxones superiores (Crow, 2002):**

Reino: Plantae  
Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares)  
Súper división: Spermatophyta (plantas con semillas)  
División: Magnoliophyta (plantas con flor)  
Clase: Equisetopsida  
Subclase: Magnoliidae.  
Súper orden: Liliales  
Orden: Poales  
Familia: Typhaceae  
Género: *Typha* L.

##### **4.3.2 Descripción**

**4.3.2.1 Forma:** *Typha domingensis* es una hierba acuática, perenne, enraizada y emergente. Muy altas desde 2 hasta 4 metros de altura (Hernández, 1993).

**4.3.2.2 Hojas:** Éstas generalmente igualan o exceden la altura de las espigas, la parte superior de las vainas atenuadas hacia la lámina, generalmente asimétricas, pero algunas veces simétricas (Rzedowski *et al.*, 2001; Villaseñor, 1998; Vibrans, 2009). Se cree que una sola hoja puede proporcionar oxígeno a rizomas subterráneos para un radio de unos pocos pies de esa hoja (Sojda *et al.*, 1993)

**4.3.2.3 Flores:** Presenta espigas masculinas hasta de 42 cm de largo y 1.5 cm de ancho y en general separadas de las femeninas por 0.7 a 5 cm, bractéolas de las flores masculinas filiformes a espatuladas, simples a ramificadas, algunas veces con incisiones que forman segmentos largos (Vibrans, 2009).

**4.3.2.4 Fruto:** Es fusiforme, de 1 a 1.5 mm de largo (Crow, 2002).



Figura 2. Plantas de *Typha domingensis* con inflorescencia y fructificación.

#### **4.3.3 Distribución y hábitat**

El género *Typha* tiene una distribución cosmopolita y una gran amplitud ecológica. Su área de origen es América, sin embargo tienen una amplia distribución secundaria en Eurasia y África (FNA, 1982)

La planta de tifa se encuentra en las zonas donde los niveles de agua son muy fluctuantes tales como cunetas, embalses y otras áreas de suelo húmedo perturbados. La tifa comúnmente invade las zonas pelágicas de los pantanos (Apfelbaum, 1985; FNA, 1982)

#### **4.3.4 Reproducción**

Las plantas del género *Typha* pueden producir entre 20,000 y 700,000 frutos por inflorescencia (Prunster 1941; Marsh, 1962; Yeo 1964); la reproducción sexual es importante para la colonización, pero las colonias se mantienen por reproducción vegetativa. La dispersión se puede producir por semillas, rizomas, cormos, y por el movimiento de las partes de las colonias arrancadas por el viento, el agua, el hielo o los animales (Apfelbaum, 1985; Timmons, 1963).

#### **4.3.5 Impactos negativos**

Aunque la tifa es parte del hábitat natural, puede convertirse en invasiva en las comunidades acuáticas perturbadas (Motivans & Apfelbaum, 1987). Estas plantas suelen responder a las perturbaciones mediante la formación de monocultivos densos, provocando el cierre de aguas abiertas, eliminando la cubierta de la fauna vital y los alimentos, y reduciendo la posibilidad de que otras plantas puedan crecer y sobrevivir. Según Motivans & Apfelbaum (1987) tres eventos básicos preceden el crecimiento de los monocultivos del género *Typha*: (a) la modificación de la hidrología de la superficie (b) la supresión de incendios forestales y (c) el enriquecimiento de los humedales.

Las plantas de tifa también puede causar una cantidad significativa de la pérdida de agua a través de la evapotranspiración (Esquivel Vargas, 2013). La producción de monocultivos densos puede reducir la oxigenación y la actividad microbiana en los humedales. Así también la mayoría de las aves acuáticas prefieren aguas abiertas intercaladas con la vegetación (Apfelbaum, 1985; Baldwin & Cannon, 2007).

Muchos de los efectos perjudiciales son causadas por la hojarasca, la cual entierra nutrientes y sustratos mineralizados que son necesarias para que otras plantas germinen. Debajo de la hojarasca, se presentan las condiciones adecuadas para un banco de semillas, pero no para la germinación éstas (Apfelbaum, 1985; Baldwin & Cannon, 2007).

Por otra parte, la tifa libera componentes fenólicos que tienen efectos inhibidores sobre el crecimiento y la propagación de otras especies de plantas, y estos efectos perjudiciales no son reversibles mientras la tifa permanezca ahí (Gallardo *et al.*, 1999; Gallardo *et al.*, 1998; Trama *et al.*, 2009a; Sojda *et al.*, 1993).

#### 4.3.6 Manejo

La mayoría de los esfuerzos de control de tifa han sido realizados por administradores de vida silvestre interesados en la producción de aves acuáticas (Véase cuadro 1). Sin embargo, algunos métodos no son recomendados en reservas naturales o áreas protegidas. Estos métodos incluyen el control químico y físico, además de la quema prescrita, pastoreo y control biológico. Es necesario mencionar que el control biológico de tifa no se ha documentado con amplitud (Apfelbaum, 1985, Baldwin & Cannon, 2007).

Cuadro 1.  
Tipos de control para el género *Typha*

Manejo	Usos	Referencia
<b>Control químico</b>	Rociar Dalpan producirá 74-97 % de reducciones de tifa. Resultados similares, se obtienen al usar los herbicidas amitrol, Rodopan y Doupon. Dalpan y amino- triazol también son eficaces y más económicos en el control de tifa.	Nelson & Dietz (1966) Weller (1975 ) Apfelbaum (1985) Baldwin & Cannon (2007)
<b>Control físico (Corte, discado y aplastamiento)</b>	El corte a mano o mecánico de tifa, seguido de la inmersión de todos los tallos resulta hasta en un 100% de mortalidad. La eficacia del daño de rizomas y de brotes en desarrollo a través de la trituración y la inundación depende de la carga utilizada, número de veces que un área se aplasta, y la profundidad del agua en pie después del tratamiento.	Ball (1990) Apfelbaum (1985) Baldwin & Cannon (2007) McCoy & Rodríguez (1994)
<b>Quemas prescritas</b>	La utilización de fuego para el control de tifa proporciona poco o ningún control de ésta. Los incendios que destruyen las raíces de la planta ofrecen control. Sin embargo, la mayoría de los incendios sólo queman biomasa aérea por lo que no son útiles para el control de la planta.	Apfelbaum (1985) Baldwin & Cannon (2007)

<b>Pastoreo</b>	El pastoreo intensivo debe aplicarse durante el período de 3 semanas cuando el pistilo es de color verde lima y el estambre es de color verde oscuro. Puede eliminar las plantas de tifa en 2 años si se combina con altos niveles de agua	Sojda & Solberg (1993) McCoy & Rodríguez (1994)
<b>Control Biológico</b>	Algunas investigaciones se han llevado a cabo con infestaciones experimentales de las larvas de la polilla <i>Bellura oblicua</i> . El resultado puede variar, disminuyendo la producción total de la planta entre 5% hasta un 55%. Se considera que el uso de <i>B. oblicua</i> puede reducir la productividad de la planta en las siguientes temporadas de crecimiento, incluso después de su aplicación	Penko & Pratt (1986) Baldwin & Cannon (2007) Grace & Harrison (1986).

#### 4.4 Restauración del humedal Palo Verde

En el periodo comprendido entre 1987-1992, McCoy & Rodríguez (1994) trabajaron con diferentes métodos para erradicar la presencia de tifa en el humedal Palo Verde. Los autores evaluaron el efecto del ganado en el humedal, pero el pastoreo no tuvo la respuesta esperada para la eliminación de la tifa. También realizaron quemas durante la época seca, sin embargo, ante el retraso de las lluvias, la tifa volvió a crecer posiblemente nutrida además por las cenizas. Dichos autores continuaron los esfuerzos para eliminar esta especie realizando cortes de tallos de tifa con un tractor pequeño y el resultado fue la muerte de la tifa, pero no en su totalidad.

Entre 1990-1991 probaron con un nuevo método utilizado por los agricultores de la zona, el Fangueo (McCoy & Rodríguez, 1994). Ésta es una técnica de preparación de suelo utilizada en el cultivo de arroz. Consiste en mezclar mecánicamente el suelo con el agua, empleando maquinaria agrícola para ello, y evitado así las pérdidas de agua por infiltración, favoreciendo el crecimiento de las plantas de arroz. Esta técnica es útil para la distribución de materia orgánica en el suelo y ayuda a eliminar malezas que puedan afectar el cultivo (Paneque *et al.*, 2009).

Para el manejo de *T. domingensis* se adaptó esta técnica a las condiciones del humedal, el cual consiste en el aplastamiento y corte de masas homogéneas de tifa bajo el agua con tractores de hasta 5,264 kg de peso. Se debe tomar en cuenta la profundidad del agua para el ingreso de los tractores, por lo que el proceso se realiza cuando la laguna alcanza unos 40 cm de profundidad. Algunos autores indican que esta técnica puede ser empleada a inicios de la época lluviosa o a comienzo de la época seca (McCoy, 1994; Trama, 2005; Osland *et al.*, 2011). Sin embargo, es preferible realizar esta técnica a principios de época lluviosa, porque así los niveles de agua continúan subiendo y se asegura entonces que los brotes o tallos cortados queden bajo el agua y se dé la muerte de la planta por anoxia (Sasa Com. Pers. 2013).

En las áreas fangueadas se obtuvo un 100% de muerte de tifa, siendo un método más rápido y económico. Por estas razones McCoy & Rodríguez, (1994) recomendaron su utilización para la eliminación de la tifa en conjunto con el pastoreo intensivo evitando así, el desarrollo de los rebrotes.

#### **4.5 Humedales de Palo Verde: Protección a nivel Nacional e Internacional**

Una de las limitaciones de la asignación de Parque Nacional como categoría de protección a Palo Verde es que restringió las actividades de manejo que deben realizarse en el área pues según la legislación costarricense, la categoría de Parque Nacional restringe actividades de manejo y supone un lugar donde se deja a la naturaleza seguir su curso, sin mayor intervención. La colmatación de las lagunas y la invasión de tifa en ella son procesos naturales en el entorno de estos humedales, pero contradicen los objetivos de protección planteados con la creación del parque (Sasa Com. Pers.2013).

Esta situación creó grandes controversias entre académicos y oficinas gubernamentales sobre el camino que debería tomarse a razón de proteger adecuadamente los humedales dentro de Parque Nacional: Mientras un grupo apoyaba el manejo activo de los humedales, otros sostenían que debería permitirse el proceso natural de colmatación (Sasa Com. Pers. 2013).

Un importante evento que ayudó a resolver la controversia fue la inclusión de los humedales del Parque Nacional Palo Verde (PNPV) en la lista de sitios reconocidos por la Convención sobre los humedales Ramsar en 1991. La convención es un panel internacional integrado por representantes de las naciones firmantes que se reunió por primera vez en Ramsar, Irán en 1971. Funciona como un tratado intergubernamental cuya misión es la conservación y uso racional de humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo (Secretaría de la convención Ramsar, 2000).

Los humedales incluidos como Sitios Ramsar, son reconocidos por la Convención como de importancia internacional, y los de Palo Verde son valorados basados en los siguientes criterios (a) por ser un área esencial por su papel en la hidrología, biología y ecología de la Cuenca del Río Tempisque y el Golfo de Nicoya; (b) por considerarse un complejo de humedales raros dentro de su área biogeográfica; (c) por su valor especial para la conservación de la diversidad genética y ecológica dentro de la región; (d) por su valor biológico en periodos críticos de los ciclos de plantas y animales y por su función de refugio para las aves acuáticas tanto residentes como migratorias (Secretaría de la Convención Ramsar, 2000).

En 1993, el Gobierno de Costa Rica solicitó la introducción del PNPV en el registro de Montreux, que hace referencia a los sitios Ramsar “donde se han producido o se pueden producir cambios ecológicos como consecuencia del desarrollo tecnológico, la contaminación u otra intervención del ser humano” (Secretaría de la Convención Ramsar, 2000). Esta solicitud se realizó debido a la reducción de espejos de agua y a la reducción en el número de aves que visitaban el humedal (Secretaría de la Convención Ramsar, 2000; Trama, 2005; Osland *et al.*, 2011).

En 1998, el MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía) solicitó a la oficina de la Convención Ramsar, la aplicación del Procedimiento de Orientación para la Gestión con el fin de recibir propuestas para solucionar el problema de invasión en el humedal. De esta manera la Convención recomendó reducir con urgencia en todos los humedales del PNPV, las masas homogéneas de *Typha domingensis*, *Mimosa pigra* y *Parkinsonia aculeata* a través del corte, Fangueo, quema o inundación (Trama, 2005).

Además, el gobierno de Costa Rica emitió el decreto No 27345 (La Gaceta 1998), a través del cual se dio el marco legal para el manejo activo dentro del Parque Nacional como herramienta para la conservación de los humedales.

#### ***4.6 Respuesta del ecosistema al Fangueo***

En el año 2001 se inició el proceso de restauración de la laguna Palo Verde, utilizando el Fangueo de una manera más intensiva (Chavarría Com. Pers. 2013). Trama (2005), observó la respuesta de las aves acuáticas a este manejo en el humedal Palo Verde (PV) entre julio 2002 y abril 2004, observando que las actividades de manejo favorecieron el retorno de las aves acuáticas en las zonas antes cubiertas de tifa. Sin embargo, la tifa y los árboles de palo verde son utilizados como sitios para alimentación, refugio o reproducción para algunas aves, por lo que la autora recomienda la permanencia de estas plantas, aunque de manera controlada (Trama, 2005).

En el año 2003 Trama *et al.*, (2009a) evaluaron los cambios en la cubierta vegetal luego del Fangueo, dichos resultados indican que debido al manejo en la laguna, se disminuyó el área cubierta por vegetación y provocó la apertura de nuevos espejos de agua. Los autores indican que en las áreas donde fue eliminada la tifa, se observa una mayor diversidad de especies de plantas. De esta manera los autores concuerdan con McCoy & Rodríguez (1994) y recomiendan el Fangueo para la recuperación del humedal Palo Verde.

Trama *et al.*, (2009b) realizaron un monitoreo de macro-invertebrados bentónicos durante el periodo 2003- 2004, encontrando 116 taxones de 57 familias; demostrando la gran variedad de vida acuática que reside en el suelo del humedal, por ende la importancia de conocer el efecto de los tratamientos para el control de *Typha domingensis* en las condiciones del suelo.

En investigaciones para evaluar la dinámica de descomposición de materia orgánica tras la aplicación de Fangueo en el humedal Palo Verde, Montemarano *et al.*, (2012) realizaron estudios en donde determinaron la biomasa de *Typha domingensis* y *Eichhornia crassipes*. Los resultados obtenidos por dichos autores indican que la remoción de tifa genera una disminución de biomasa, y que la hojarasca producida por esta planta “podría permanecer como una fuente constante de carbono” durante la época seca. Otra de las consecuencias por la actividad de Fangueo es que remueve biomasa del suelo, lo que afecta la disponibilidad y tipo de biomasa vegetal en el humedal la cual es utilizada como alimento y sitio de refugio para diversos organismos, lo que podría influir en el ciclo biológico del humedal Palo Verde.

González & Valverde (2010) en el año 2006 estudiaron el impacto del Fangueo para el control de *Typha domingensis* sobre el banco de semillas del suelo del humedal Palo Verde, indicando que el tratamiento de Fangueo, puede haber activado la germinación del banco de semillas del humedal, encontraron una mayor riqueza y densidad de semillas en las zonas fangueadas. Adicionalmente observaron mayor cantidad de semillas viables por debajo de los 10 cm de profundidad en zonas fangueadas. Este hecho indica que la remoción del sedimento a través del Fangueo puede mezclar y dispersar las semillas a mayores profundidades.

En el año 2007, Osland *et al.*, (2011), midieron el impacto del Fangueo en varias propiedades físicas y químicas del suelo (densidad aparente, materia orgánica del suelo, nitrógeno total, carbono total y el fósforo total). En su trabajo también incluyeron el estudio de la comunidad de plantas asociadas al humedal y el banco de semillas presente en el mismo tras el manejo con Fangueo. Señalan que no hubo un impacto significativo de la perturbación mecánica (Fangueo) en las propiedades del suelo estudiadas, así también observaron una mayor riqueza de plantas en las zonas fangueadas en comparación con las zonas donde no se había realizado el tratamiento e indican que en las áreas sin Fangueo el banco de semillas muestra una dominancia de la especie *Typha domingensis*. De esta forma sugieren que dicha especie volverá a dominar las áreas fangueadas si el manejo no es persistente en el tiempo.

En el año 2010, se continuaron las actividades de Fangueo en algunas áreas del humedal, actividad que fue aprovechada por Bufford & González (2012) para estudiar la comunidad de aves asociadas a diferentes hábitats encontrados en el humedal tras el manejo por Fangueo. En dicho estudio, tomaron en cuenta áreas que nunca habían sido sometidas a Fangueo, áreas fangueadas previamente al estudio, y áreas fangueadas en el año 2006 en las cuales ya había crecimiento nuevo de tifa, pero mezclada con otras especies de plantas. Bufford & González (2012) indican que las áreas fangueadas presentan mayor densidad de aves que las zonas con dominancia de tifa. Sin embargo no se observan diferencias entre Fangueos recientes y sitios que no han sido objeto de manejo en cuatro años. Por otra parte Bufford & González (2012) concuerdan con Trama (2005) en que los parches de tifa son necesarios para algunos grupos específicos de aves que dependen de esta cobertura.

#### ***4.7 Una nueva metodología de restauración: Raspado***

En el 2012 se implementó un nuevo tratamiento mecánico en áreas cubiertas por Tifa: el Raspado. Para realizar este tratamiento se utilizan Caterpillars que llegan a tener un peso de 38,555 kg, lo que es considerado como maquinaria pesada. Este tratamiento se aplica en verano, cuando el humedal está totalmente seco y consiste en el avance de un tractor en el suelo cubierto por tifa. Dicha maquinaria remueve la cobertura vegetal y remueve parte de la capa superficial del suelo (Sasa, Com. Pers, 2013).

Al remover el suelo, se arranca la vegetación presente, sin embargo toda esta biomasa vegetal aún sigue viva. La tierra y vegetación arrastrada es ubicada en montículos paralelos a lo largo de la laguna, formándose un levantamiento de tierra y vegetación denominadas localmente como “burras” (Sasa, Com. Pers, 2013).



Figura 3. Maquinaria empleada para el manejo del humedal Palo Verde  
Izquierda: Fangueo. Derecha: Raspado

Actualmente el humedal está sometido al manejo para el control de *Typha domingensis* a través de pastoreo y tratamientos mecánicos: Fangueo (Trama 2005; Trama *et al.*, 2009a; Trama *et al.*, 2009b; Montemarano *et al.*, 2012) y Raspado (Sasa Com. Pers. 2013). Debido a la novedad de manejo mecánico a través del Raspado en el humedal Palo Verde, no se han realizado estudios de ningún tipo incluyendo dicho manejo.



Figura 4. Zonas Manejadas del Humedal Palo Verde.  
Izquierda: Fangueo con espejos de agua. Derecha: Raspado con espejos de agua y presencia de “burras” de vegetación y suelo.

#### **4.8 El suelo**

El suelo es la capa delgada que cubre la superficie de toda la tierra, a excepción de las superficies de agua abierta y afloramientos rocosos. El suelo es el mineral no consolidado o material orgánico en la superficie inmediata de la tierra. Éste, se forma muy lentamente como resultado de fuerzas naturales que actúan sobre el mineral y la roca en partes de la superficie de la tierra. La roca es degradada lentamente a pequeñas partículas resultantes en el suelo (FAO, 1992).

El suelo es de vital importancia para la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, puesto que es a través del suelo, que la energía, el agua, la biomasa y los nutrientes fluyen (Bonan, 2002).



#### **4.8.1.2 Estructura**

La manera en la que las partículas del suelo se distribuyen, indican la estructura del mismo. Estas partículas tienden a agruparse en bloques o en grupos llamados “agregados”. Si estos agregados tienen una forma característica, se dice que el suelo tiene estructura. El espacio entre estos agregados y la forma en que están alineados, influyen en cómo se mueve el agua dentro del suelo. La estructura se considera más importante que la textura para determinar el movimiento del agua en los suelos (FAO, 1992; PIPELINE, 2002).

#### **4.8.1.3 Humedad del suelo**

La humedad del suelo es el agua contenida en los poros del suelo en sus fases líquida y gaseosa (Scott & Maitre, 1998). La humedad del suelo es la fuente de agua utilizada por las plantas, afectando directamente su rendimiento y crecimiento. El agua sirve para cuatro condiciones generales en las plantas:

1. Como constituyente principal de los tejidos fisiológicamente activos
2. Como reactivo en los procesos fotosintéticos e hidrológicos
3. Como disolvente para las sales, azúcares y otros solutos
4. Para el mantenimiento de la turgencia, necesarios para la ampliación y el crecimiento celular (Mweso, 2003).

Normalmente en el suelo existe un gradiente de humedad, de forma que no todos los horizontes del suelo se presentan con el mismo grado de humedad en un momento determinado (Dorrnsoro, 2013).

El agua del suelo está sometida a dos tipos de fuerzas de acciones opuestas. Así la fuerza de succión retiene el agua en los poros del suelo, en cambio la fuerza de gravedad mueve el agua a niveles profundos del suelo (Dorrnsoro, 2013).

Pero también el agua asciende en el suelo debido a la capilaridad y por diferencia de humedad (los horizontes más profundos permanecen más húmedos) además de las pérdidas de agua debidas a la evaporación y a la absorción de las plantas (Dorrnsoro, 2013).

El efecto “self-mulching” es una capa de extrema aridez que se produce en los horizontes superiores del suelo y protege de la evaporación al agua contenida en los horizontes profundos. Se debe al distinto grado de humedecimiento que presenta el suelo en función de la profundidad. En los horizontes superiores las fuerzas de succión de agua son más intensas que las de los horizontes inferiores. Como resultado el agua asciende desde los niveles más húmedos hacia la superficie (Dorrnsoro, 2013).

El suelo que se está desecando (horizontes inferiores) contiene siempre más agua que el suelo que se está humedeciendo (horizontes superiores). Sin embargo cada vez asciende menos agua y llega un momento que se interrumpe el movimiento ascensional. Esto evita que se pierda gran cantidad de agua, es decir, el suelo se protege de la pérdida de agua (Dorrnsoro, 2013).

#### **4.8.1.4 Densidad**

Las interacciones de agua y aire así como el crecimiento radicular dependen directamente del espacio poroso del mismo. Una manera sencilla de determinar la porosidad del suelo es a través de la determinación de su densidad aparente y real (Rucks *et al.*, 2004).

La densidad aparente puede ser utilizada para evaluar la calidad de un suelo como un indicador de su estructura, resistencia mecánica y de la cohesión del mismo. Por lo que los cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo. Esta afirmación se debe a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total (Doran & Parkin, 1994).

La densidad aparente del suelo se refiere al volumen de la masa de suelo seco incluyendo espacios vacíos. Siendo la densidad aparente la relación que existe entre el peso seco de una muestra de suelo y el volumen que esta ocupaba en el suelo (Rucks *et al.*, 2004).

La densidad aparente, describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso. Además, sirve para evaluar cuál es la resistencia presentada por el suelo con respecto al crecimiento de raíces (Taboada & Álvarez, 2008).

La densidad aparente se puede utilizar para convertir datos expresados en concentraciones de masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos (Taboada & Álvarez, 2008).

Se debe mencionar que la densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; además, puede variar debido al manejo que se le da al suelo, así también por el contenido de humedad, principalmente en suelos con arcillas que se expanden (Taboada & Álvarez, 2008).

Es importante destacar, que el valor de la densidad aparente presenta algunas limitaciones, ya que no permite obtener información relacionada con el tamaño de los huecos, su continuidad o sobre las fuerzas que dieron lugar a una estructura específica. Estos aspectos tienen importancia para predecir el movimiento del agua en el suelo y como los agregados pueden degradarse. Sin embargo, a pesar de esta limitación la densidad aparente sirve para medir los niveles de compactación en el suelo (Ingaramo *et al.*, 2003).

#### **4.8.1.5 Materia orgánica**

La muerte de organismos en el suelo y sus residuos descompuestos dan lugar a moléculas orgánicas e inorgánicas simples (Bot & Benites, 2005). Los organismos que habitan el suelo, el tipo de materia orgánica y el ambiente determinan la velocidad de descomposición en el mismo (Brussaard, 1994). En este proceso es liberado dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), energía, agua, nutrientes y compuestos orgánicos de carbono resintetizados. Esta descomposición sucesiva da origen al humus (Bot & Benites, 2005).

El humus aumenta la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; aumenta la capacidad de atraer y retener los nutrientes y contribuye a la formación de Nitrógeno, Fósforo y otros nutrientes.

Todos los organismos del suelo se alimentan de materia orgánica y al descomponerla se libera el exceso de nutrientes (N, P, S) de tal manera que pueda ser utilizada por las plantas. A este proceso de liberación se llama mineralización (Bot & Benites, 2005).

El contenido de materia orgánica, especialmente el humus que es más estable, aumenta la capacidad de almacenamiento de agua y el almacenamiento (secuestro) de carbono de la atmósfera (Bot & Benites, 2005).

La salud del suelo así como las propiedades físicas y químicas de éste se ven afectadas por la presencia o ausencia de materia orgánica. Así la estructura del suelo, la capacidad de retención de humedad, la diversidad y la actividad de los organismos del suelo y la disponibilidad de nutrientes se ven afectadas por la materia orgánica (Bot & Benites, 2005).

Los residuos vegetales que cubren la superficie del suelo protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia, mejorando la infiltración del agua de lluvia y reduciendo la escorrentía (Bot & Benites, 2005).

Curry & Good (1992) indican que cualquier actividad humana en el suelo, influye en la actividad de los organismos que viven en este, afectando así el equilibrio de dicho sistema. De tal manera, las prácticas de manejo como la labranza o la quema de vegetación degradan los microambientes presentes en el suelo, resultando en una reducción de biota del suelo tanto en masa como en diversidad; además afecta la producción de materia orgánica y la conservación de ésta.

#### **4.8.1.6 Minerales secundarios ( $CO_3$ )**

El carbonato puede actuar como cemento de las demás partículas del suelo, generalmente en horizontes sub-superficiales produciendo zonas muy compactas más o menos resistentes a ser fracturadas (PIPELINE, 2002).

El pH de suelos calcáreos es controlado principalmente por la cantidad de carbonato de calcio en el perfil del suelo, donde el pH del suelo aumenta a medida que aumenta el contenido de carbonatos en el mismo (Pakhshan *et al.*, 2012). La existencia o ausencia de carbonato de calcio tiene un efecto para el control de muchas reacciones químicas en relación con la disponibilidad de nutrientes, la movilidad de estos en el suelo y la fijación de fósforo (Havlin *et al.*, 2007; Pakhshan *et al.*, 2012; Sarmadian *et al.*, 2010).

El carbonato es un componente natural de muchos suelos en el mundo y su distribución y cantidad influyen en la fertilidad del suelo (Pakhshan *et al.*, 2012).

#### **4.8.1.7 Biomasa, densidad lineal e índice de área radical de raíces finas**

La capacidad de las plantas para sobrevivir y crecer en diferentes entornos, depende de las raíces y de la disponibilidad de recursos en el suelo (Paz, 2003).

Uno de los procedimientos más utilizados para determinar cuáles son raíces finas, es realizando una discriminación de raíces a través del diámetro de éstas, usando como límite a las raíces menores de 2 mm hasta 6 mm; dependiendo de los objetivos del estudio a realizar (Carvajal, 2003; Jiménez & Arias, 2004).

La biomasa radical indica los gramos de materia seca en una unidad de área determinada en la profundidad ( $\text{g/m}^2$ ) (Jiménez & Arias, 2004).

La densidad lineal de raíces suele corresponder a la aireación del suelo, transporte de nutrientes y agua después de la muerte de raíces. Esto se debe a que la densidad lineal utiliza el valor de longitud de raíces expresándolas en una unidad de área específica (Jiménez & Arias, 2004).

El índice de área radical se relaciona con la absorción de nutrientes debido a que a mayor área radical, mayor serán los tricoblastos. Este índice utiliza el largo (mm) y diámetro (mm) de raíces para determinar el área que presenta contacto con el suelo (Jiménez & Arias, 2004).

Existe una relación entre las plantas y su sustrato (suelo), esto es debido a la presencia de raíces que sirven para el anclaje de las plantas (Jiménez & Arias, 2004; Morales, 1997). Así las raíces finas son responsables de la absorción del agua y de nutrientes. Además sirven para la reserva de nutrientes, para la regulación fisiológica de la planta y son las encargadas de la fijación de carbono (Jiménez & Arias, 2004; Jonsson *et al.*, 1988; Morales, 1997)

La distribución y crecimiento de raíces en el suelo puede estar definida por las características fenotípicas de las plantas (Morales, 1997; Moreira & Arnáez, 2007). Pero también es importante tomar en cuenta el nivel de humedad del suelo, su pH, temperatura, aireación, densidad y porosidad que definen la resistencia del suelo a la penetración. Otro aspecto importante es la cantidad y localización de nutrientes y de sustancias tóxicas (Carvajal, 2003; Morales, 1997). Así también, interviene en el crecimiento de raíces, la luz, la competencia intra e inter-específica de raíces, plagas y enfermedades (Morales, 1997).

El mecanismo más importante para el ciclo de nutrientes depende del sistema radicular, principalmente de raíces finas asociadas con micorrizas en la superficie del suelo. Esta asociación ayuda a recuperar los nutrientes de la materia orgánica muerta pasándolos a la fase mineral del suelo (Cavelier, 1992).

Aunque la mayoría de las raíces se producen cerca de la superficie del suelo, existe una reducción exponencial de la biomasa de la raíz con la respecto a la profundidad (Cavelier, 1992).

#### 4.8.2 Los suelos Vertisoles

El nombre Vertisoles (del latín *vertere*, dar vuelta) se refiere al reciclado interno constante del material de suelo (IUSS-ISRIC-FAO, 2006)

Una de las principales características de los suelos vertisoles es que el contenido de arcilla deberá ser al menos de un 30%. Debido a este gran contenido de arcillas, presentan regímenes de humedad erráticos, convirtiéndose en suelos muy duros, formando grietas en la estación seca y la expansión o cierre de éstas durante la estación húmeda, en esta época, son suelos muy plásticos y pegajosos (Díaz *et al.*, 2003; Eswaran & Cook, 1988; FAO, 1992; IUSS-ISRIC-FAO, 2006; Lombin & Esu, 1988; Jutzi, 1988; Sotelo *et al.*, 2006; Virmani *et al.*, 1982; Grunwald, 2010).

Muchos autores indican la presencia de un micro relieve Gilgai es característica de este tipo de suelos (gilgai es una formación natural del suelo de pequeñas lomas y las cuencas que se encuentran en la expansión de los suelos arcillosos) (Díaz *et al.*, 2003; Eswaran & Cook, 1988; IUSS-ISRIC-FAO, 2006; Lombin & Esu, 1988; Jutzi, 1988; Sotelo *et al.*, 2006; Virmani *et al.* 1982). Sin embargo, Grunwald (2010) indica que este micro relieve no se considera como un requisito debido a que las prácticas agrícolas pueden eliminar dicha micro-topografía.

Los Vertisoles ocurren en depresiones y áreas llanas a onduladas, principalmente en climas tropicales, subtropicales, semiáridos a subhúmedos y húmedos con una alternancia clara de estación seca y húmeda (Grunwald, 2010; IUSS-ISRIC-FAO, 2006; Virmani *et al.*, 1982).

Una buena fertilidad química y su ocurrencia en planicies llanas extensas donde puede considerarse la recuperación y el laboreo mecánico son ventajas de los Vertisoles (IUSS-ISRIC-FAO, 2006).

Los Vertisoles se encuentran típicamente en fondos de lagos o lagunas, cuencas de ríos, terrazas inferiores de ríos y otras tierras bajas que periódicamente están mojadas en su estado natural (IUSS-ISRIC-FAO, 2006).

Debido a que los vertisoles ocurren en una amplia variedad de climas, la vegetación asociada a éste, es igualmente variable y está limitada por el alto contenido de arcilla, la contracción y expansión de las arcillas. Siendo las gramíneas y las especies de árboles de raíces profundas y de crecimiento lento las más comunes en este tipo de suelo (Grunwald, 2010; IUSS-ISRIC-FAO, 2006).

Esta comunidad de plantas se caracteriza por la tolerancia a la sequía, así como el desarrollo de raíces profundas lo que evita el daño de la raíz a consecuencia del agrietamiento producido por la sequía (Grunwald, 2010).

La erosión en grietas de los vertisoles sobre pastoreados, raramente es severa porque las paredes de los huecos rápidamente asumen un pequeño ángulo de reposo, que permite que el pasto se restablezca más fácilmente (IUSS-ISRIC-FAO, 2006).

La densidad aparente de los vertisoles es muy variable debido a su naturaleza expansión y contracción con los cambios en el contenido de humedad del suelo. Los suelos tienen una alta densidad aparente cuando éstos están secos, y valores bajos cuando están en una etapa de hinchado. En el límite de la hinchazón del suelo, el contenido de agua gravimétrica disminuye y la densidad aparente aumenta con la profundidad (Virmani *et al.*, 1982).

Anteriormente se sospechaba que el color oscuro presente en algunos suelos vertisoles era debido a grandes concentraciones de materia orgánica en el mismo, pero Singh (1954) desestimó esta teoría. Así, el contenido de materia orgánica es generalmente baja (0,5 – 3%) a pesar del habitual color tierra oscura (Grunwald, 2010), también se caracterizan por la presencia de altos contenidos de carbonato de calcio >15% (Sotelo *et al.*, 2006).

La mayoría de los vertisoles son calcáreos. La distribución de  $\text{CaCO}_3$  puede ser uniforme en todo el perfil o puede aumentar en los horizontes inferiores (Roy & Barde, 1962; Virmani *et al.*, 1982; Sotelo *et al.*, 2006; Lombin & Esu, 1988).

## **5. MARCO LEGAL**

El Decreto ejecutivo No. 27345-MINAE, establece para el Parque Nacional Palo Verde un manejo activo en sus Humedales y áreas de pasto creando así un Comité Asesor para dicho manejo.

El Presidente de la República de Costa Rica y el ministro del ambiente y energía (MINAE) en uso de sus facultades; establecen, que para las áreas pantanosas, se realicen todas las acciones necesarias, para cumplir con los objetivos de mantener la biodiversidad de los diferentes hábitat del parque. Autorizando así, el pastoreo y otras acciones necesarias para cumplir objetivos de conservación del bosque tropical seco (La Gaceta, 1998).

Además, esta investigación está amparada bajo el proyecto “Conservación y Gestión de humedales en Centro América: Efecto de cambios globales sobre su biodiversidad”. Según la resolución 089-2013-ACAT. Quedando registrada en la base de datos de investigadores del SINAC.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en el humedal Palo Verde, ubicado en el Parque Nacional Palo Verde en la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

El humedal Palo Verde (PV), es uno de los nueve humedales estacionales que conforman el sistema de humedales protegidos por el PNPV, y se extiende a lo largo del margen este de la cuenca baja del Río Tempisque. Se ubica entre el Río Tempisque y colinas calizas, y entre los últimos remanentes de bosque seco que existen en Mesoamérica (Figura 1) (Esquivel Vargas, 2013).

Este humedal tiene como área 1,250.83 ha y su hidrología es estacional, lo que implica que el nivel de agua depende de la precipitación, escorrentía de lluvia desde los cerros aledaños y de las tasas de evapotranspiración en las diferentes coberturas vegetales de la laguna (Trama, 2005). El tipo de suelo presente en el humedal es de tipo vertisol, el cual se expande durante la época húmeda y se contrae durante la época seca, además presentan bajas tasas de infiltración (Osland *et al*, 2011b).

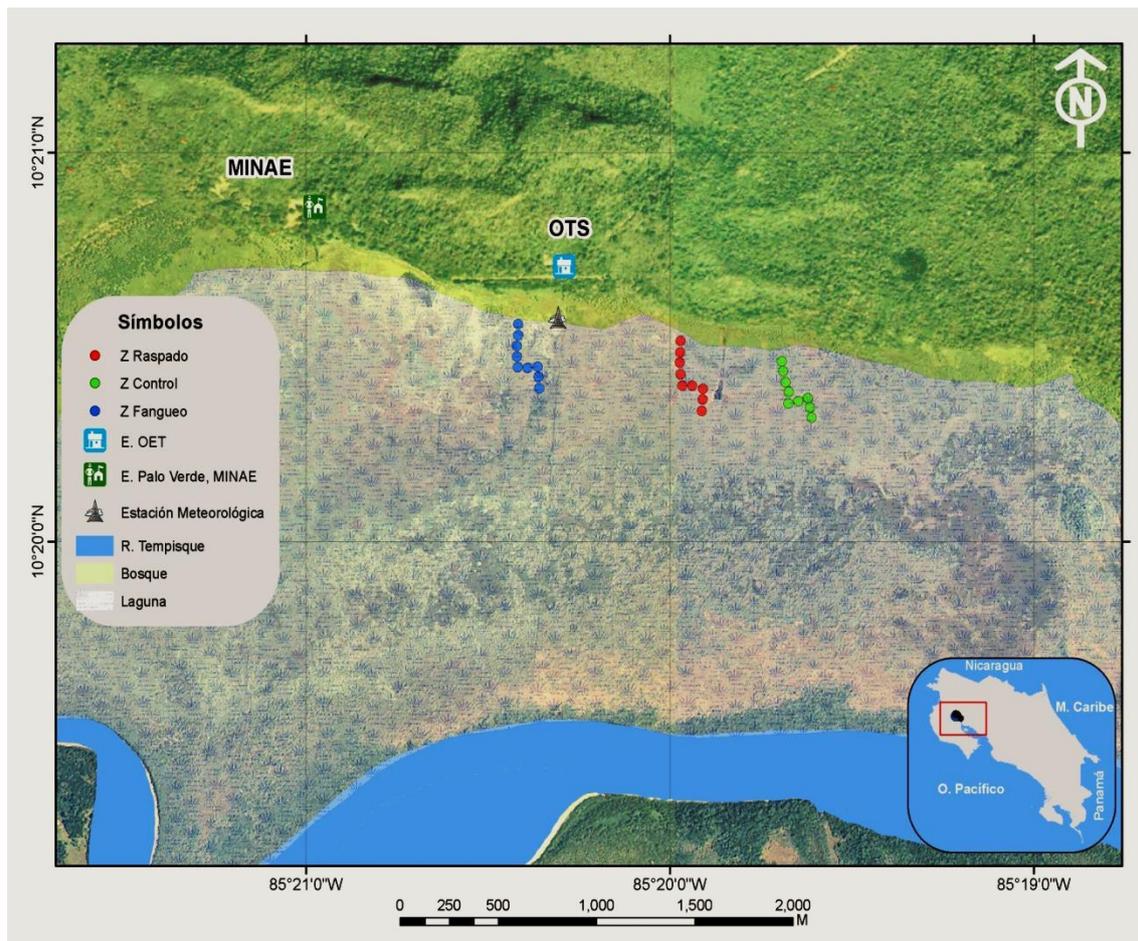


Figura 6. Puntos de muestreo en el Humedal Palo Verde- Guanacaste, Costa Rica.

## 6.2 Diseño experimental

El muestreo se realizó en el mes de abril del año 2013. Se tomaron como zonas de muestreo las áreas donde se aplican los tratamientos de Fangueo y de Raspado y un área no perturbada mecánicamente donde se observa dominancia total de *Typha domingensis* la cual se denominará área de Control. Se realizaron un total de 27 puntos de muestreo, distribuyendo 9 puntos en cada tipo de zona muestreada, con una distancia de 50 mts entre cada punto, siendo un total de 450 mts de muestreo en cada zona estudiada. La toma de muestra y selección de puntos de muestreos se llevó a cabo utilizando el muestreo aleatorio sistemático (Figura 6).

## 6.3 Recolección de datos

En la zona Control, debido a la abundancia de *Typha domingensis* se realizó una limpieza en cada punto, en donde se cortaron con machetes las plantas de tifa y se eliminaron los restos de vegetación. Además se removió el manto superficial de raíces de manera tal que el suelo quedase expuesto para la toma de muestras.

En las zonas de Fangueo y Raspado también se realizó una limpieza del área, removiendo así la vegetación existente en los puntos seleccionados, exponiendo el suelo para la extracción de muestras.

En cada punto de muestreo se realizaron calicatas de 1 m<sup>2</sup> x 50 cm de profundidad, en las cuales se seleccionó un punto cardinal de la calicata y se recolectaron 5 muestras de suelo cada 10 cm de profundidad, obteniéndose un total de 45 muestras en cada zona muestreada. Además del punto cardinal, se tomó en cuenta la hora de extracción de muestras, así como el número de la ubicación de las calicatas.

Se utilizaron cilindros metálicos de 7.62 cm de diámetro x 10 cm de altura (de volumen 119.69 cm<sup>3</sup>) para las muestras de raíces y cilindros metálicos de 4.15 cm de diámetro x 4.925 cm de altura (de volumen 66,65 cm<sup>3</sup>) para la extracción de muestras para densidad aparente. Se recolectó aproximadamente 3 gr de suelo con una espátula para muestras humedad, carbono y materia orgánica.

Cada muestra fue colocada en bolsas de plástico debidamente codificadas para su traslado al laboratorio de la Estación Biológica Palo Verde para su procesamiento.

**6.3.1 Humedad del suelo:** A través del método gravimétrico. Se recolectó una muestra de suelo cada 10 cm de profundidad hasta 50 cm. En el laboratorio, se anotó el peso de la muestra y se colocó en el horno a una temperatura de 110<sup>0</sup>C hasta obtener peso constante (72 horas para este estudio) (Jiménez *et al.*, 2004; Pérez *et al.*, 2000).

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Peso Seco}_{110^0}} * 100$$

(Ecuación 1)

**6.3.2 Densidad aparente:** A través del método del volumen conocido (Forsythe, 1985). Se obtuvo una muestra de suelo con el cilindro metálico descrito anteriormente, cada 10 cm de profundidad hasta 50 cm. Una vez en el laboratorio, se pesaron las muestras y se colocaron al horno para extraer la humedad.

$$Densidad\ aparente = \frac{Suelo\ seco}{Volumen\ del\ cilindro}$$

(Ecuación 2)

**6.3.3 Materia orgánica (MO):** Se realizó a través del método Loss On Ignition (LOI) (pérdida por ignición, Dean, 1974). En donde, luego de la extracción de humedad del suelo, las muestras se colocaron a temperatura de 550°C, por 4 horas, en donde el peso perdido es la cantidad de materia orgánica presente en la muestra.

$$Contenido\ de\ MO = \frac{Peso\ seco_{110^{\circ}} - Peso\ seco_{550^{\circ}}}{Peso\ seco_{110^{\circ}}} * 100$$

(Ecuación 3)

**6.3.4 Carbonatos:** Al igual que en la extracción de materia orgánica, la extracción de carbonatos se realizó empleando el método LOI, en donde luego de la extracción de materia orgánica, se incineraron las muestras a temperaturas de 950°C por 2 horas, y el peso perdido a esta temperatura es la cantidad de carbonatos presentes en la muestra (Heiri *et al.*, 2001).

$$Contenido\ de\ carbonatos = \frac{Peso\ seco_{550^{\circ}} - Peso\ seco_{950^{\circ}}}{Peso\ seco_{110^{\circ}}} * 100$$

(Ecuación 4)

**6.3.5 Procesamiento de Raíces:** Se colectó una muestra de suelo cada 10 cm de profundidad hasta 50 cm por medio de cilindros metálicos detallados anteriormente. En el laboratorio la muestra fue sumergida en agua para facilitar la extracción de las raíces y su limpieza. Una vez que las raíces estaban limpias y secas, fueron pesadas. Luego se escanearon para obtener una imagen digital de éstas.

Luego de obtenidas las imágenes, las raíces fueron analizadas a través del software análisis de imágenes WinRHIZO Pro. Versión 2012 (Jiménez, 2004; Morales, 1997). Los datos generados por el software, serán utilizados para obtener la densidad lineal, la biomasa de raíces y el índice de área radical.

$$Densidad\ lineal = \frac{Longitud\ de\ raíces}{Volumen\ del\ cilindro}$$

(Ecuación 5)

$$\text{Biomasa de Raíces} = \frac{\text{Gramos de materia seca}}{\text{Volumen del cilindro}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\text{Índice de área radical} = \frac{\text{Área total de raíces}}{\text{Volumen del cilindro}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

#### **6.4 Análisis de datos y pruebas de las hipótesis**

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Las medias de las variables respuesta de cada grupo de tratamiento son iguales.

Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): Las medias de las variables respuesta de cada grupo de tratamiento difieren entre sí.

Las pruebas se realizarán a través del programa SPSS (Versión 19. IBM). Para comparar el efecto de los tratamientos en el suelo a diferentes profundidades, se usó análisis de varianza o ANOVA de dos vías y pruebas de comparación múltiple (Prueba de Tukey y pruebas Post Hoc) a un nivel de significancia de  $P < 0.05$  utilizando 4 grados de libertad para la variable Profundidad y 2 grados de libertad para la variable Tratamientos

## **8. RESULTADOS**

### ***8.1 Descripción de las zonas de estudio***

En la zona control, se puede observar la dominancia de *T. domingensis* en toda el área de muestreo, con plantas de hasta tres metros de altura, el suelo presenta una capa superficial de raíces entre 5- 20 cm. El suelo se observa poroso y un poco húmedo en la superficie y cambiando a suave adherente a medida que aumenta la profundidad.



Figura 7. Zona de Control (Dominancia de *Typha domingensis*)

En la zona de muestreo con tratamiento de Fangueo se observa tres caracterizaciones diferentes siendo la primera con poca vegetación y en la capa superficial del suelo un quebrantamiento debido a la deshidratación del mismo. Hay presencia de especies como *Solanum campechiensis* en conjunto con *Cyperus rotundus*.

En la segunda descripción se observa menor deshidratación del suelo así también mayor cantidad de individuos de plantas. Y en la tercera área se puede observar restos secos de *Typha domingensis*, y presencia *Cyperus rotundus*. En esta última se observa en la capa superficial del suelo también un pequeño manto de raíces de aproximadamente 5 cm. El suelo se encuentra muy duro y seco en la superficie, sin embargo a media que se aumenta la profundidad tiende a ser muy plástico y pegajoso.



Figura 8. Diferencias en las zonas con tratamiento de Fangueo.

En la zona de raspado se observa restos *T. domingensis* al igual que en la zona con tratamiento de Fangueo, se observa la presencia de especies como *Solanum campechiensis*, *Cyperus rotundus* entre otras. Además el suelo se observa agrietado y muy duro en la superficie. Las grietas tienen profundidades de hasta 20 cm, y a medida que aumenta la profundidad el suelo es más pegajoso y suave.



Figura 9. Zona con tratamiento de Raspado.

### **8.2 Variables físico-químicas del suelo**

Se observaron diferencias en las características físicas del suelo de los diferentes tratamientos. Así, la humedad del suelo en el tratamiento de Fangueo, presenta valores mayores en los primeros 10 cm de muestreo, en este nivel se obtuvo dispersión de los datos (desviación estándar) luego la media disminuye a los 20 cm y vuelve a aumentar (30 cm) proporcionalmente a la profundidad presentándose una mayor homogeneidad de datos (Figura 10).

El tratamiento de Raspado presenta un aumento del contenido de humedad a medida que aumenta la profundidad del suelo (Figura 10), encontrándose los valores más bajos en la superficie (10 cm).

En el área de Control, se observa una disminución del contenido de humedad inversamente proporcional a la profundidad observándose mayor humedad a los primeros 10 cm, pero empieza a aumentar luego de los 40 cm de profundidad (Figura 10). Además, a una profundidad de 30 y 40 cm la desviación estándar muestra valores más cercanos a la media que en el resto de las profundidades (Figura 10).

Las tres áreas de estudio no muestran diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad en los primeros 10 cm de muestreo con respecto a las demás profundidades ( $P=0.08$ ). Los resultados obtenidos a través de ANOVA indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos ( $P=0.869$ ) lo que es confirmado con la prueba de Tukey ( $P=0.88$ ) (Cuadro 2).

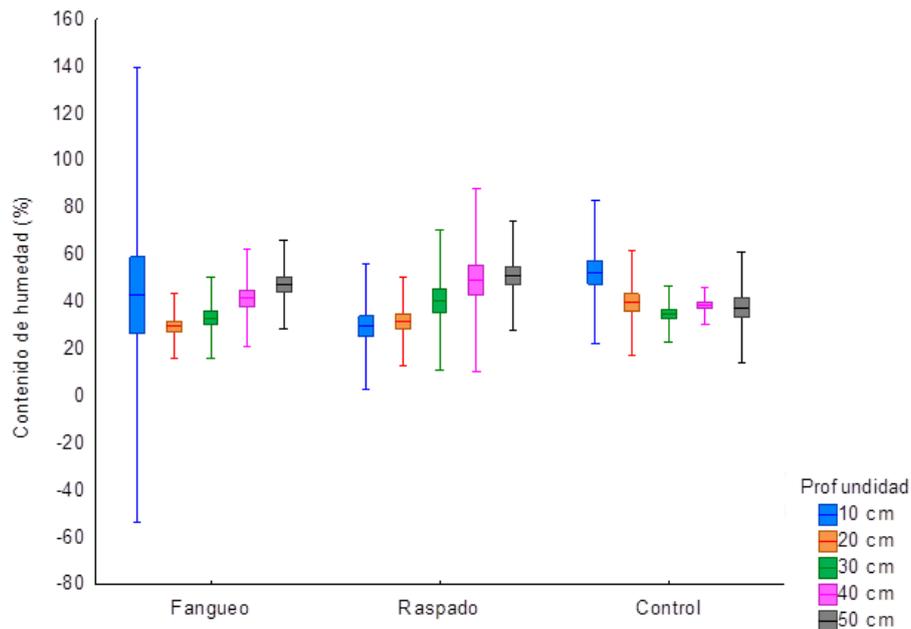


Figura 10. Contenido de humedad con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.

Cuadro 2.

Medias de las variables físico-químicas de dos tratamientos mecánicos y un área de control en el Humedal Palo Verde, 2013. Para cada variable por separado, las letras iguales indican medias que no difieren entre sí según Tukey ( $P < 0.05$ )

Variables	Fangueo		Raspado		Control	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
Contenido de humedad (%)	39.01 <sup>a</sup>	22.89	40.53 <sup>a</sup>	16.18	40.71 <sup>a</sup>	11.79
Densidad Aparente ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1.04 <sup>a</sup>	0.27	1.02 <sup>ab</sup>	0.26	0.93 <sup>b</sup>	0.27
Contenido de Materia orgánica (%)	9.41 <sup>a</sup>	6.59	10.97 <sup>ab</sup>	2.46	11.92 <sup>b</sup>	5.14
Contenido de Carbonatos (%)	10.85 <sup>a</sup>	6.96	12.91 <sup>ab</sup>	2.57	14,29 <sup>b</sup>	5.39

La densidad aparente del suelo del humedal Palo Verde difiere en los primeros 10 cm muestreados con el resto de profundidades en todos los tratamientos estudiados ( $P=0.000$ ). Así mismo a una profundidad de 20 cm también se observan diferencias significativas con las profundidades de 40 y 50 cm.

En el tratamiento de Fangueo la densidad aparente presenta valores muy bajos en la superficie (10cm), disminuyendo a medida que aumenta la profundidad, exceptuando a los 20 cm donde los valores son superiores a los 10 cm (Figura 11).

El tratamiento de Raspado también presenta valores bajos en los primeros 10 cm, a los 20 cm hay un aumento en la densidad aparente que luego empieza a disminuir inversamente proporcional a la profundidad, a una profundidad de 40 y 50 cm se obtuvieron medias iguales, sin embargo la desviación estándar es menor a los 50 cm de muestreo (Figura 11).

El área de Control al igual que en el tratamiento de Fangueo, se observan los valores más bajos para la densidad aparente en los primeros 10 cm de muestreo (Figura 11) los cuales difieren de las demás profundidades. Al igual que las demás tratamientos (Fangueo y Raspado) hay un aumento en la densidad aparente a los 20 cm de profundidad y luego tiende a disminuir con el aumento de profundidad. Sin embargo en el área de Control hay un aumento de densidad aparente en los 50 cm de profundidad (Figura 11).

Con respecto a los tratamientos muestreados, la densidad aparente del suelo varía estadísticamente entre los tratamientos ( $P=0.013$ ) específicamente entre el tratamiento de Fangueo y el área de Control según Tukey ( $P=0.014$ ). Sin embargo, se observa una similitud entre medias del tratamiento de Raspado y de Control (Cuadro 2).

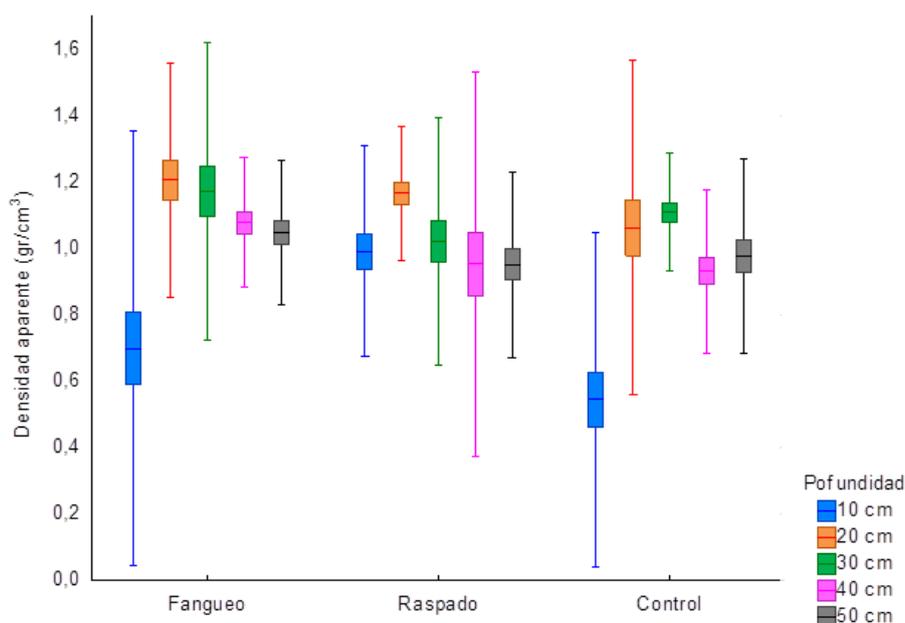


Figura 11. Densidad aparente con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.

El tratamiento de Fangueo presenta el mayor contenido de materia orgánica en los primeros 10 cm de Fangueo además de ser en este nivel donde se observa la mayor dispersión de datos con respecto a la media, el contenido de materia orgánica (MO) disminuye inversamente proporcional a la profundidad (Figura 12).

El contenido de MO en el tratamiento de Raspado se observa en mayor cantidad en los primeros 10 cm de muestreo (Figura 12). Se observa una disminución de medias en los 20 y 30 cm de muestreo, luego empieza a aumentar proporcionalmente a la profundidad.

El área de Control al igual que los demás tratamientos presenta los valores de MO más altos en la superficie (10 cm). Así el contenido de materia orgánica disminuye al aumento de la profundidad sin embargo, se observa un aumento al llegar a los 50 cm de muestreo (Figura 12).

El contenido de materia orgánica muestra diferencias entre el área de Control y el tratamiento de Fangueo según Tukey ( $P=0.004$ ), encontrando el menor contenido de ésta en el tratamiento de Fangueo (Cuadro 2).

Los valores más altos de materia orgánica para las tres zonas muestreadas fue en los primeros 10 cm de profundidad presentando a este nivel diferencias significativas con respecto a las demás profundidades ( $P=0.000$ ).

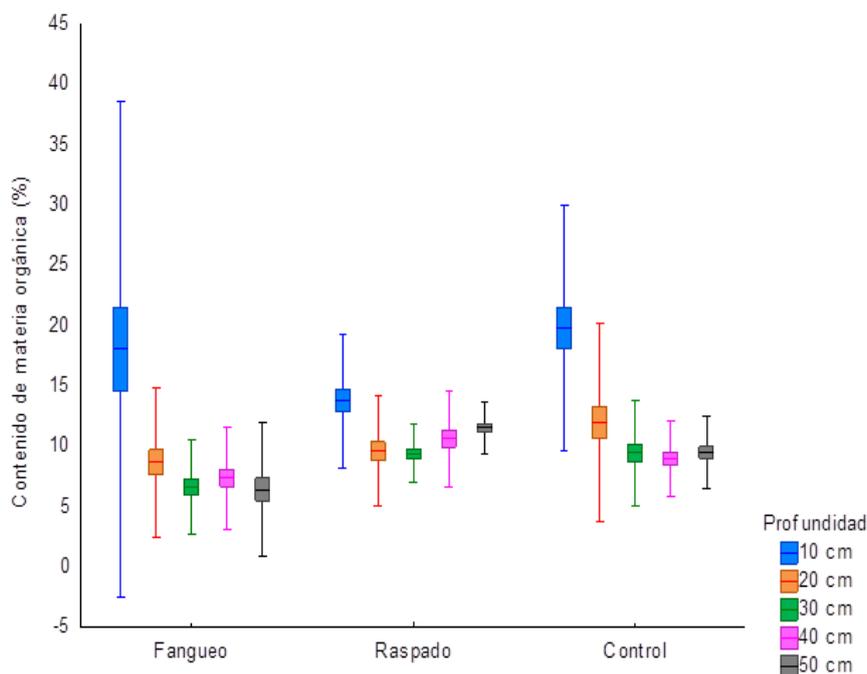


Figura 12. Contenido de materia orgánica con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.

El contenido de carbonatos en el tratamiento de Fangueo presenta los valores más bajos con respecto a las demás áreas (Cuadro 2), sin embargo en los primeros 10 cm de profundidad se obtuvieron valores muy elevados de carbonatos en el suelo (Figura 13) en comparación con las demás profundidades en dicho tratamiento; es en el nivel de 10 cm donde se observa una mayor dispersión de los datos (Figura 13).

Para el tratamiento de Raspado se observa mayor homogeneidad en la muestra con respecto a la profundidad (Figura 13). Los valores más altos de contenido de carbonatos se encuentran a una profundidad de 10 cm y muestra un aumento con respecto a la profundidad, exceptuando los 20 cm de muestreos en donde se observa una disminución de carbonatos (Figura 13).

El área de Control presenta los valores más altos del contenido de carbonatos en los primeros 10 cm de profundidad. Estos valores tienden a disminuir con el aumento de profundidad, sin embargo a una profundidad de 40 cm empieza a aumentar el contenido de carbonatos con el aumento de profundidad (Figura 13).

El contenido de carbonatos presenta los valores más bajos en el tratamiento de Fangueo y los valores más altos en el área de Control. Siendo estos significativamente diferentes entre sí según Tukey ( $P=0.000$ ). El tratamiento de Raspado no difiere significativamente entre tratamientos, sin embargo sus valores muestran mayor similitud con el área de Control (Cuadro 2).

Al igual que las demás variables físico-químicas el contenido de carbonatos también varió con respecto a la profundidad, obteniéndose el mayor contenido de estos a los 10 cm de profundidad en los tres tratamientos ( $P=0.000$ ).

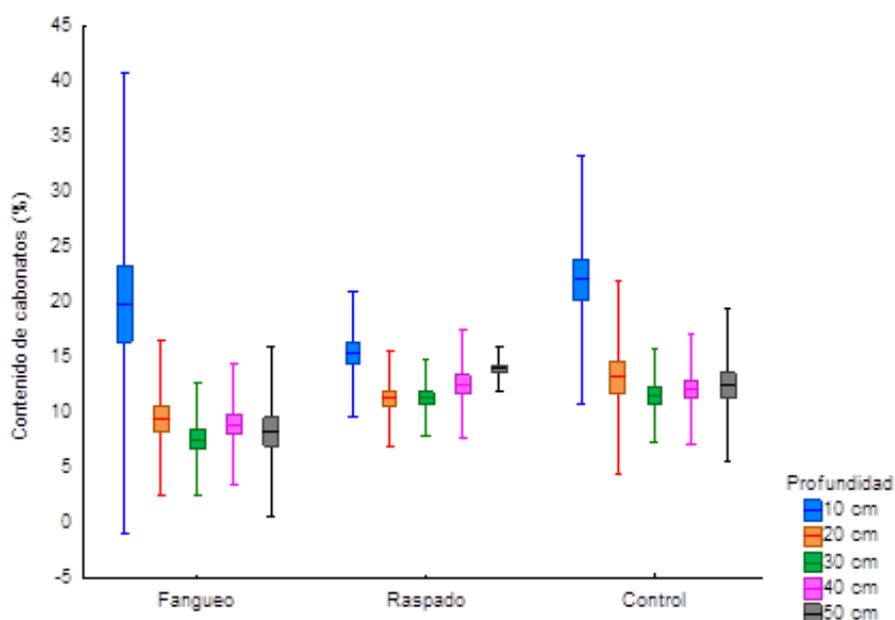


Figura 13. Variación del contenido de carbonatos con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.

### 8.3 Variables bióticas del suelo

Las tres áreas evaluadas presentaron, en la variable de densidad de raíces, el mayor valor a una profundidad de 10 cm, disminuyendo a medida que aumenta la profundidad en el perfil del suelo (Figura 14). La densidad lineal de raíces a una profundidad de 10 cm es estadísticamente diferente de las demás profundidades en todos los tratamientos según Tukey ( $P= 0.000$ ).

El tratamiento de Raspado presenta los valores más bajos así como la menor dispersión de datos contrario al área de Control donde se observa una mayor variación en el conjunto de datos según la desviación estándar, existiendo diferencias significativas entre estos tratamientos ( $P= 0.017$ ) (Cuadro 3).

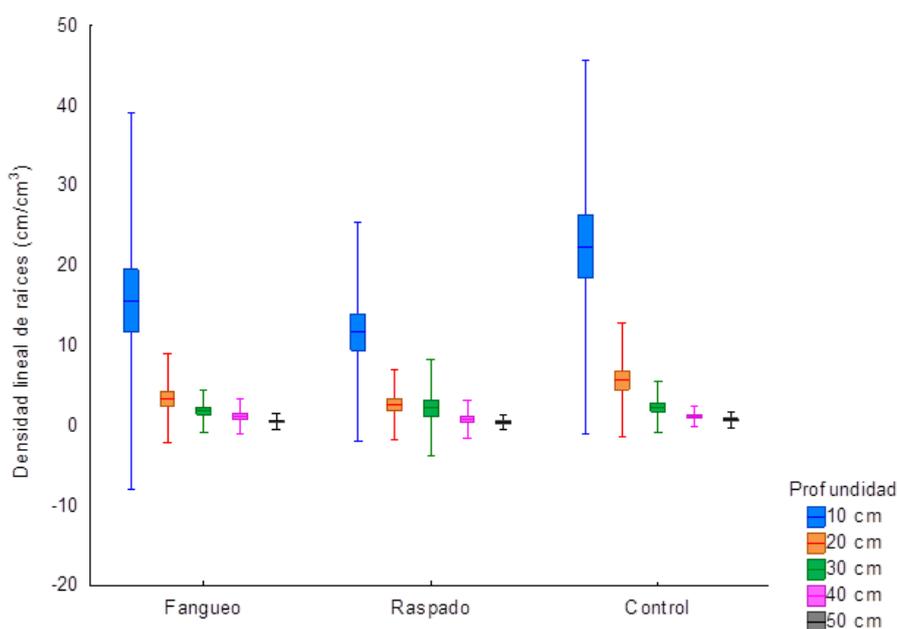


Figura 14. Densidad lineal de raíces finas con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013

Al igual que la densidad lineal de raíces, los valores más altos de biomasa radical se concentran en la superficie (10 cm) y luego disminuye con el aumento de profundidad (Figura 15), siendo este nivel de muestreo significativamente diferente de las demás profundidades en todos los tratamientos según la prueba de Tukey y de ANOVA ( $P=0.000$ ).

El área de Control presenta los valores más altos de biomasa radical, pero el tratamiento de Raspado es el que presenta mayor dispersión de medias (Figura 15). En el tratamiento de Fanguero se observa la menor biomasa radical, existiendo una mayor homogeneidad de medias entre los tratamientos de Control y Raspado, sin embargo no existen diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ( $P=0.434$ )

Cuadro 3. Medias y desviación estándar de las variables bióticas de dos tratamientos mecánicos y un área de control en el Humedal Palo Verde, 2013. Para cada variable individual, las letras iguales indican medias que no difieren entre sí según Tukey ( $P < 0.05$ )

Variables	Fangueo		Raspado		Control	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
Densidad lineal de Raíces ( $\text{cm}/\text{cm}^3$ )	4.52 <sup>ab</sup>	7.71	3.58 <sup>b</sup>	5.38	6.47 <sup>a</sup>	9.79
Biomasa de Raíces ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	6.60E <sup>-04a</sup>	1.26E <sup>-03</sup>	1.48E <sup>-03 a</sup>	6.24E <sup>-03</sup>	1.65E <sup>-03 a</sup>	3,57E <sup>-03</sup>
Índice de área radical ( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ )	0.54 <sup>ab</sup>	0.98	0.35 <sup>b</sup>	0.59	0.72 <sup>a</sup>	1.05

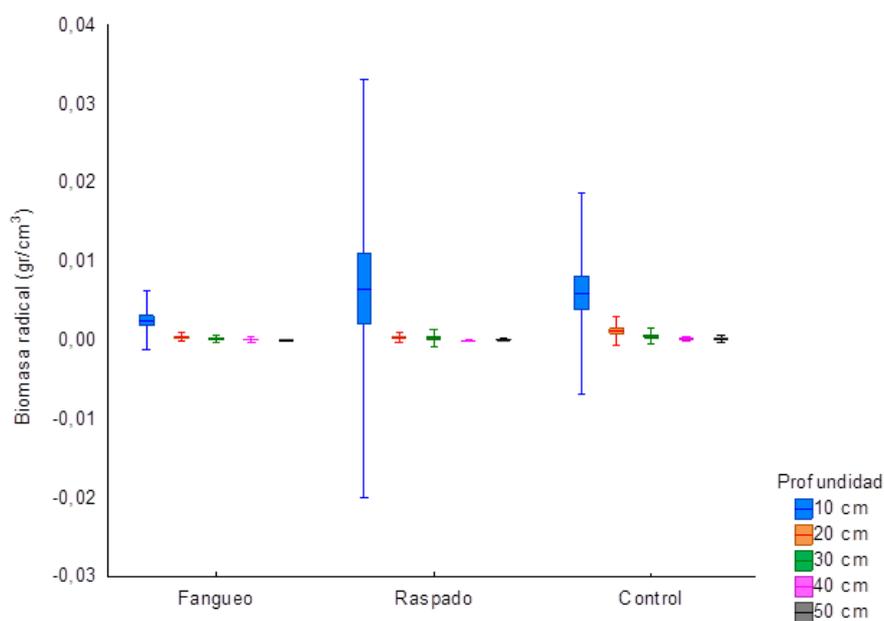


Figura 15. Biomasa radical de raíces finas con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013

Para el tratamiento de Fangueo, Raspado y Control se presenta una disminución del índice área radical al incrementar la profundidad, siendo a la profundidad de 10 cm en donde se concentran los valores más altos (Figura 16). Existiendo en este nivel de muestreo diferencia significativa con respecto a las demás profundidades según ANOVA y Tukey ( $P=0.000$ ).

La zona de Control presenta el mayor índice de área radical, contrario al tratamiento de Raspado que presenta los valores más bajos existiendo diferencias significativas entre estos tratamientos ( $P= 0.009$ ). Y es el tratamiento de Fangueo en donde se obtuvo una menor desviación estándar (Cuadro 3).

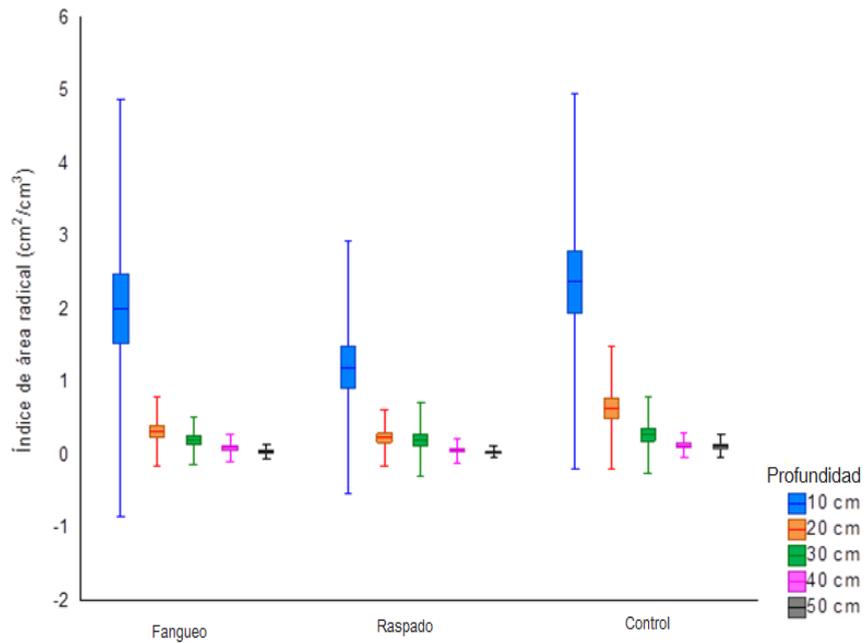


Figura 16. Índice de área radical con respecto a la profundidad en dos tratamientos mecánicos y un área de control en el suelo del humedal Palo Verde, Costa Rica 2013.

## **9. DISCUSIÓN**

Los tratamientos mecánicos empleados para el control de *Typha domingensis* afectan de manera diferencial algunas de las características del suelo del humedal Palo verde.

El humedal Palo Verde, tiene un llenado temporal, por lo que durante la época lluviosa puede alcanzar niveles de agua de hasta 1.5 mts de profundidad. Durante la época seca, la evaporación y evapotranspiración promueven la eliminación del agua, por lo que la laguna termina secándose completamente. Sin embargo, el suelo del humedal, tiene la capacidad de almacenar de manera eficiente el contenido de humedad del mismo, esto es debido a su alto contenido de arcillas (Virmani *et al.*, 1982). Además del tipo de suelo, existen diversos factores que pueden influir en el contenido de humedad en el suelo, tales como la presencia o ausencia de rastros, raíces, vegetación, y otros organismos, así como al tipo de vegetación y de organismos presentes (FAO-SAG-AECI-PESA, 2005).

Virmani *et al.*, (1982) e ICRISAT (1978) indican que la humedad en suelos vertisoles aumenta con la profundidad pero no de manera significativa, debido a la homogeneidad dentro de los perfiles del suelo. Así mismo, en el suelo del humedal Palo Verde no se observan grandes diferencias con respecto a la profundidad. Sin embargo en las zonas donde fue realizado el tratamiento de Fangueo existe variación en la superficie del suelo (Figura 8) y debido a la remoción de la capa superficial del mismo en el tratamiento de Raspado, los primeros 10 cm de muestreo presentan mayor dispersión de datos con respecto a las demás profundidades (Figura 10).

Contrario a las zonas con tratamientos de Fangueo y Raspado, las zonas Control se encuentran cubiertas completamente por masas homogéneas de tifa (Figura 7) lo que genera un gran contenido de materia orgánica que evita la desecación rápida del suelo. Debido a esto el mayor contenido de humedad se encuentra en la superficie, lo que sugiere que la cobertura de tifa modifica el movimiento de agua en el suelo del humedal.

La densidad aparente refleja el grado de compactación del suelo y la facilidad con la que circulan el agua y el aire en él. ICRISAT (1978) y Virmani *et al.*, (1982) indican que los suelos de tipo vertisol, como los que componen el humedal Palo Verde, son físicamente homogéneos e isotrópicos con respecto a la profundidad, de manera que la densidad aparente variaría pero no significativamente en diferentes niveles de profundidad.

Para los tres tratamientos estudiados en los primeros 10 cm si se observan densidades significativamente menores que las demás profundidades (Figura 11). Así Alvarado & Forsythe (2005) muestra que la densidad aparente en los suelos vertisoles utilizados para la agricultura en Costa Rica suelen presentar el valores más bajos en la superficie ( $1.29 \text{ Mg/m}^3$ ) alcanzando valores superiores a medida que aumenta la profundidad ( $1.38 \text{ Mg/m}^3$ ). Esto suele atribuírsele a la mineralogía de la fracción arcillosa, a la reducción de la actividad arcillosa al aumentar la profundidad, contenido de raíces, número de grietas incluidas en el muestreo, y el contenido de humedad en el suelo.

Según el NSSH (2013) los valores medios para la densidad aparente en suelos con altos contenidos de arcilla, como los suelos vertisoles, oscilan entre 1.10 gr/cm<sup>3</sup> y 1.49 gr/cm<sup>3</sup>. Siendo la densidad aparente ideal para el crecimiento de plantas menor de 1.40 gr/cm<sup>3</sup>; puesto que se restringe el crecimiento de raíces a partir de 1.58 gr/cm<sup>3</sup>. En este estudio se encontraron valores por debajo de estos en el área de Control y Raspado, y el tratamiento de Fanguero presenta valores más cercanos a los expuestos por NSSH (2013), exceptuando los primeros 10 cm de muestreo (Figura 11) por lo que podemos decir que la densidad aparente no ha sido afectada de manera negativa en dicho tratamiento.

Los resultados de densidad aparente de los tratamientos muestreados concuerdan con los expuestos por Pozzolo *et al.*, (2006) quienes estudiaron los suelos vertisoles de sistemas agrícolas en Argentina e indican que en los suelos que han sido “labrados” intensivamente o han sufrido el paso de maquinaria pesada ( $\geq 10,000$  kg) presentan una mayor densidad que los suelos sin dicho tratamiento. Así, los tratamientos de Fanguero (maquinaria 5,264 kg) y Raspado (maquinaria 38,555 kg), presentan una mayor densidad aparente que la encontrada en el área de Control (Cuadro 2). Contrario a esto, en el humedal Palo Verde, Osland *et al.*, (2011a) indican que las zonas Fangueadas presentan una menor densidad aparente que las zonas sin tratamiento (Figura 11).

En Brasil, Jarajuia & Draghi (2000), estudiaron zonas de cultivo con suelos de tipo Arguidol típico (suelos franco-arcillo-limoso) y explican que el uso de maquinaria pesada para la labranza no afecta significativamente la compactación del suelo pero la repetición constante de esta actividad, si influye en la densidad aparente del suelo.

El uso repetido de maquinaria pesada para el control de tifa, genera cambios en la densidad aparente del suelo, lo que explica las diferencias entre el trabajo de Osland *et al.*, (2011a) y los resultados obtenidos en esta investigación, donde las zonas fangueadas muestreadas por dichos autores, solo habían sufrido perturbación mecánica una vez. A diferencia de esto, las zonas fangueadas de este estudio fueron tomadas de áreas donde el tractor pasa una vez al inicio de la estación lluviosa y una vez al final de ésta, desde el año 2002, exceptuando el año 2005, 2010, 2011 donde no se llevó a cabo dicha actividad. Por lo que se consideraría que el uso de maquinaria pesada para el control de tifa ha afectado la densidad aparente del suelo del humedal Palo Verde a través del tiempo.

El tratamiento de Raspado se realizó una vez en la época seca del año 2012. Sin embargo, se obtuvieron resultados similares en la densidad aparente a los conseguidos con el tratamiento de Fanguero (Cuadro 2), por lo que el tratamiento de Raspado genera cambios en dicha variable en el suelo del humedal Palo Verde con mayor rapidez.

Se ha comparado el contenido de materia orgánica de humedales naturales con humedales restaurados (e.g. Bruland & Richardson, 2006; Shaffer & Ernst, 1999) y se ha encontrado que en las zonas que son sometidas a algún tipo de restauración se disminuye significativamente el contenido de materia orgánica. Así mismo en este estudio los tratamientos de Fanguero y Raspado muestran un menor contenido de materia orgánica que el área de Control (Cuadro 2).

Llorente & Sánchez (2004) luego de estudiar los suelos vertisoles en el Noreste de México, explican que al someter a los suelos a algún tipo de labranza similar a los

llevados a cabo en el Humedal Palo Verde (Fangueo y Raspado), existirá una reducción significativa de materia orgánica. Por ende, los resultados demostraron un menor contenido de materia orgánica en los suelos con Fangueo y Raspado, en comparación con el área de Control (Figura 12).

En humedales “abiertos” (pantanos aluviales y marismas salinos) la mayor parte de la materia orgánica es transportada por las inundaciones y las mareas y no se acumula en el suelo como en otros humedales cerrados con una hidrodinámica baja (ciénagas, pantanos, marismas de marea inundados irregularmente, pantanos de aguas profundas) (Vepraskas *et al.*, 2000). Así el tratamiento de Fangueo genera una condición de zonas abiertas donde el agua puede seguir su flujo, lo que permite el movimiento y distribución de materia orgánica dentro del humedal.

A pesar que en las zonas tratadas con Raspado sufrieron el uso de maquinaria pesada generando espacios abiertos, las “burras” o montículos de tierra creadas tras raspar el suelo (Figura 3) pueden estar provocando un estancamiento de agua en dichas zonas, por consiguiente, la materia orgánica no fluye dentro del humedal y se acumula en el suelo. Del mismo modo la gran cubierta vegetal generada por *Typha domingensis* en las zonas de Control puede estar evitando el flujo adecuado de materia orgánica dentro del humedal.

El humedal Palo Verde es una laguna estacional donde se llevan a cabo diversos ciclos de vida, desde la reproducción hasta la descomposición de organismos (Acín Carrera, 2010). Por lo tanto el contenido de materia orgánico será alto, sin el flujo de agua durante el periodo de inundación no se genera un movimiento de nutrientes a través del agua por lo que se encuentran, en algunos casos, valores más bajos que los observados en bosques, pastizales o matorrales en suelos molisoles, haplustoles y vertisoles (e.g. LaManna *et al.*, 2007 en la Región Andino Patagónica; Galantini *et al.*, 1994 en Argentina; Llorente & Sánchez, 2004 en el Noreste de México)

Según Reddy *et al.*, (2000) el contenido de materia orgánica en los humedales oscila entre 12% y 18%, no obstante los valores encontrados en el humedales Palo Verde (Cuadro 2) se encuentran por debajo de este rango, siendo el área de Control el que presenta valores más cercanos. Sin embargo, Osland *et al.*, 2011a muestrearon el contenido de materia orgánica en el humedal Palo Verde y los valores encontrados por dichos autores se encuentran en rangos similares a los obtenidos en esta investigación (Figura 12).

Cuadro 4. Comparación entre los resultados obtenidos por Osland *et al.* 2011a y los resultados obtenidos en esta investigación para densidad aparente y contenido de materia orgánica.

Estudios	n	Profundidad	Época de muestreo	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )		Contenido de materia orgánica (%)	
				Control	Fangueo	Control	Fangueo
Osland <i>et al.</i> , 2011	135	10 cm	Húmeda	1.2	0.95	9.9	10.8
Datos actuales	90	10-50 cm	Seca	0.93	1.04	11.92	9.41

La materia orgánica es un componente esencial para determinar la fertilidad del suelo. Bot & Benites (2005) indican que el mayor contenido de materia orgánica se encuentra en el primer perfil del suelo, lo que concuerda con los resultados obtenidos para las muestras del suelo en los tratamientos estudiados, donde la materia orgánica disminuye a medida que aumenta la profundidad, así mismo Llorente & Sánchez (2004); Shaffer & Ernst (1999); Fassbender & Bornemisza (1994) obtuvieron el mismo comportamiento de materia orgánica en el suelo.

A diferencia de la materia orgánica, los carbonatos suelen encontrarse en perfiles profundos del suelo, sin embargo, en los suelos vertisoles pueden tener un comportamiento diferente debido al contenido de arcillas que se expanden y se contraen constantemente en este tipo de suelo, permitiendo un flujo vertical de materiales. Los carbonatos en los suelos vertisoles pueden encontrarse en la superficie del suelo u homogéneamente en los demás perfiles (Virmani *et al.*, 1982). Además los suelos vertisoles tienden a tener altos contenidos de carbonatos (>15%) (Ruiz *et al.*, 2006). Igualmente en suelos inundados es probable que se encuentren altas concentraciones de carbonatos disueltos (Higueras & Oyarzum, 2000).

Según Higueras & Oyarzum (2000), también la posición en el paisaje y la poca lixiviación permite acumular carbonatos en la superficie del suelo (Horizontes A, B2). El humedal Palo Verde, tiene en sus cercanías, rocas sedimentarias de tipo calizas (Vaughan *et al.*, 1996) a lo que se le puede atribuir que en los resultados obtenidos la mayor cantidad de carbonatos se concentran en los primeros 10 cm de muestreo.

Berna (2008) aplicó diversas metodologías en el suelo del humedal Palo Verde, y determinó que el contenido de Carbono inorgánico (carbonatos) aumenta con respecto a la profundidad. Los valores obtenidos por Berna son mucho más bajos que los encontrados en este estudio con una media de 0.216% de carbono inorgánico (Cuadro 3).

Así mismo, Acín Carrera (2012) señala el mayor contenido de carbonatos, entre los 60 y 125 cm de profundidad en los suelos de España. El suelo del humedal Palo Verde es de tipo vertisol, así la contracción y expansión de arcillas permite el movimiento de carbonatos dentro del perfil.

Según la interpretación de carbonatos realizada por Sánchez Bascones (2003) se considera un nivel muy bajo de carbonatos cuando se obtiene de 0-5 %, niveles bajos de 5-10 %; valores normales entre 10 y 20 %; y un contenido de carbonatos mayores a 20 % se considera alto y puede llegar a afectar la fertilidad del suelo. De acuerdo a esto, el suelo del humedal Palo Verde, se encuentra dentro de los niveles normales de carbonatos tanto en las zonas con tratamientos y sin tratamientos (Cuadro 2).

Además del contenido de materia orgánica, el flujo de agua puede estar influyendo en el contenido de carbonatos del suelo del humedal. Donde se observa que en los tratamientos donde el flujo es restringido (Raspado y Control), los carbonatos se encuentran en mayor cantidad.

Al igual que la materia orgánica, la mayor cantidad de raíces se encuentra primordialmente en los primeros 10 cm de profundidad en todos los tratamientos y disminuye al aumentar la profundidad debido a la textura del suelo y otras propiedades

físicas del mismo. Este comportamiento también es reportado en Venezuela por Pire (1985) en un área de viñedo con suelos de tipo Ustollic camborthids y lo atribuye a la dificultad de penetración de las raíces en el suelo.

Jiménez & Arias (2004) también observan una mayor concentración de raíces en los primeros estratos del suelo de los bosque de la zona norte de Costa Rica, atribuyéndolo a los cambios de compactación del suelo, el contenido de arcilla, la porosidad y porcentaje de humedad. Se puede considerar que debido a las características de inundación temporal del humedal, existe menor disponibilidad de oxígeno a niveles más profundos en el suelo, lo que también influye en la disminución de raíces a lo largo de los perfiles del suelo.

La concentración de raíces en los niveles superiores del suelo concuerda con la cantidad de MO del mismo. Alfaro *et al.*, (2001) explica que existe una relación entre la cantidad de raíces y la materia orgánica del suelo. Así también las raíces influyen en la densidad aparente del suelo, evitando la compactación de éste (Virmani *et al.*, 1982).

*Typha domingensis*, posee diversas adaptaciones que la han convertido en una especie resistente a condiciones adversas, una de ellas es la gran producción de raíces finas en la superficie del suelo (Mufarrege, 2012), llegando a formar una capa superficial de hasta 20cm. Por esto los valores más altos son en el área de Control en todas las variables (densidad lineal de raíces, biomasa de raíces y el índice de área radical).

Como se explicaba anteriormente, el tratamiento de Fangueo presenta diversas zonas en donde puede o no haber vegetación (Figura 8), por lo que existe tanta variación en los resultados. Al contrario de estos, el tratamiento de Raspado presenta los valores más bajos, lo que puede atribuírsele al paso del tractor, donde raspa la superficie del suelo, arrastrando todo a su paso, incluso las raíces presentes.

## 10. CONCLUSIÓN

- ✓ Ninguno de los tratamientos muestran diferencias significativas en el contenido de humedad con respecto a la profundidad.
- ✓ El uso repetido de maquinaria pesada para el control de tifa, genera cambios significativos en la densidad aparente del suelo del humedal Palo Verde encontrándose por debajo de los valores indicados para suelos compactados.
- ✓ El mayor contenido de materia orgánica se localiza en la capa superficial del suelo (10 cm), siendo las áreas expuestas al uso de maquinaria significativamente diferente con respecto al control.
- ✓ Las zonas de Fangueo y Control difieren significativamente entre sí en el contenido de carbonatos, el cual aún se encuentra dentro de los niveles normales tanto en las zonas con y sin perturbación mecánica. Para las tres zonas muestreadas el mayor contenido de carbonatos está presente en los primeros 10 cm de muestreo.
- ✓ El mayor contenido de raíces finas se encuentra en la superficie del suelo (10 cm) y disminuyen con el aumento de la profundidad.
- ✓ La eliminación de *Typha domingensis* a través de Raspado afecta significativamente la densidad lineal y el índice de área radical en el suelo del humedal Palo Verde.

## **11. RECOMENDACIONES**

- ✓ Eliminar las “burras” o levantamientos de tierra para permitir el movimiento vertical de nutrientes en el humedal Palo Verde.
- ✓ Realizar estudios similares durante el periodo de inundación y de secado del humedal para obtener información más completa del estado del humedal.
- ✓ En estudios futuros incluir variables como la fijación de carbono, biodiversidad del suelo.
- ✓ Realizar estudios de diversidad de aves, banco de semillas y diversidad de plantas en las zonas con tratamiento de Raspado, para conocer más de su efecto en el humedal.
- ✓ Debido a la necesidad de control de *T. domingensis*, y a la falta de efectos negativos en el suelo, se recomienda continuar con las actividades de Fanguero.
- ✓ Continuar monitoreando, para verificar que no hayan daños mayores en el suelo a través del tiempo.

## **12. BIBLIOGRAFÍA**

Acín Carrera, M. (2012) Efectos de diferentes usos del territorio en las características edáficas: influencia de una vía pecuaria en las funciones de regulación de suelo. (Tesis de Master Oficial en Ecología). Curso 2010-2010. Universidad Autónoma de Madrid, España.

Apfelbaum, S. (1985) Cattail (*Typha* spp.) management. *Natural Areas Journal*. 5(3): 9-17.

Alfaro, E.; Alvarado, A.; Chavarri, A. (2001) Cambios edáficos asociados a tres etapas sucesionales de bosque tropical seco en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 25(1):7-19.

Alfaro, M; Salazar, F. (2005) Ganadería y Contaminación Difusa. Implicancias para el Sur de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*. 65(3): 330-340. Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072005000300012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072005000300012&script=sci_arttext)

Alvarado, A; Forsythe, W. (2005) Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(1). Costa Rica.

Asch, C; Solano, O. (1991) Clasificación y perspectivas de manejo de los humedales Térraba-Sierpe. (Tesis de Licenciatura en Geografía Física). Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Geográficas. Costa Rica.

Baldwin, B; Cannon, A. (2007) *Typha Review*. Utah State University.

Ball, J. (1990) Influence of subsequent flooding depth on cattail control by burning and mowing. *Journal of aquatic plants manage.* (28): 32-36

Berna, B. (2008) Carbon pools and profiles in wetland soils: The effect of climate and wetland type. (Tesis de Maestría en Recursos Naturales). Escuela Estatal de Ohio.

Blevins, R; Cook, D; Phillips, S; Phillips, R. (1971) Influence of No-tillage on Soil Moisture. *Agronomy Journal*. 63(4): 593–596. Recuperado de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/63/4/AJ0630040593>

Bolaños; Watson. (1993) Mapa Ecologico de Costa Rica, Zonas de Vida. Escala 1:200.000. Centro científico tropical. San José, Costa Rica.

Bonan, G. (2002) *Ecological climatology: Concepts and Applications*. Cambridge University Press. New York.

Bot, A; Benites, J. (2005) The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. FAO. Rome.

Bradshaw, A. (1983) *Ecological Restoration*. Chapter 14. Meffe, G; Carrol, C. and contributors. *Principles of conservation Biology*. Sunderland. Massachusetts. p 409-438.

- Brussaard, L. (1994). Interrelationships between biological activities, soil properties and soil management. En: Soil resilience and sustainable land use. Wallingford, UK, CAB International. Greenland, D; Szabolcs, I. (eds) 309-329.
- Bufford, J.; González, E. (2012). Manejo del humedal Palo Verde y de las comunidades de aves asociadas a sus diferentes hábitats. *Ambientales* (43): 7-16.
- Bruland, G; Richardson, C. (2006) Comparison of soil organic matter in created, restored and paired natural wetlands in North Carolina. *Wetlands ecology and management*. 14: 245–251
- Calvo, J; Arias, O. (2004) Restauracion hidrológica del humdal Palo Verde. *Ambientico*. 129:7-8
- Carvajal, A. (2003) Distribución de raíces finas en suelos del bosque nuboso y pastos en Monteverde Costa Rica. (Informe de Práctica de especialidad para optar por el grado de Bachiller en Ingeniería Forestal). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. .
- Cavelier, J. (1992) Fine-root biomass and soil properties in a semideciduous and a lower montane rain forest in Panama. *Plant and Soil*. 142: 197-201.
- Chavarria, U. (2013) Comunicación Personal. Administrador del Parque Nacional Palo Verde.
- Correa-Araneda, F; Urrutia, J; Figuerio, R. (2011) Estado del conocimiento y principales amenazas de los humedales boscosos de agua dulce de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 84(3): 325-340. Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-078X2011000300002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2011000300002)
- Crow, G. (2002) Plantas acuáticas del Parque Nacional Palo Verde y el valle del río Tempisque – Costa Rica. 1ra Edición. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio. Costa Rica.
- Curry, J; Good, J. (1992) Soil faunal degradation and restoration. *Advances in soil science*. 17: 171-215.
- Dean, W. (1974) Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*. 44: 242–248.8
- Díaz, E; Duarte, O; Cerana, J; Fontanini, P. (2003) Ajuste metodológico en la medición de la conductividad hidráulica saturada “in situ” en suelos vertisoles y entisoles de la república argentina mediante el permeámetro de guelph. *Estudios de la zona no saturada del suelo*. 6
- Doran, J; Parkin, B. (1994) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. 35.

Dorronsoro, C. (2013) Lección 4. Propiedades físicas. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencia. Universidad de Granada. España. Recuperado de <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/otraspp.htm>

Echeverría, J. (2004) Estudio de caso cuenca Tempisque. Costa Rica. Ministerio de agricultura y ganadería. Región Chorotega. Unidad de Planificación Regional. Recuperado de <http://www.drh.go.cr/textos/estrategia/Estudio de Caso Rio Tempisque.pdf>

Esquivel Vargas, C. (2013) Cuantificación de las tasas de evapotranspiración de seis coberturas del Humedal Palo Verde, Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal). Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Eswaran, H. and Cook, T. 1988. Classification and management related properties of Vertisols. En: Management of Vertisols in Sub Saharan Africa. Proceedings of a Conference held at ILCA, Addis Ababa, 31 August-4 September 1987. Jutzi, S; Haque, I; McIntire, J; Stares, J (eds.), 431 pp. Recuperado de <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5493e/x5493e00.htm#Contents>

FAO; SAG; AECI; PESA. (2005) La regeneración natural en áreas de cultivo. Manejo de sistemas agroforestales.

FAO. (1992) The AFNETA alley farming training manual 2: Source book for alley farming research. Recuperado de <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5546e/x5546e00.htm#Contents>

Fassbender, H; Bornemisza, E. (1987) Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Ilca 2ª ed. Costa Rica.

Figuerola, R; Suarez, M; Andreu, A; Ruiz, V; Vidal-Abarca, M. (2009) Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile central. Cayana. 73(1): 76-94. Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-65382009000100011](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382009000100011)

FNA: Flora of North America. (1982) Typhaceae. Flora of North America Editorial Committee. Vol. 22. Fecha en línea 21 de mayo del 2004. Recuperado de [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=134063](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=134063)

Forsythe W. (1985) Física de suelos: manual de laboratorio. Costa Rica. 212 p.

Galantini, J; Roseli, R; Iglesias, J. (1994) Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas. Ciencia del Suelo. (12): 81-83

Gallardo, J; Saldaña, A. (1992) Génesis, clasificación y problemas agronómicos de los barros: Tierra de Barros. Extremadura. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. Ed. Univ. Complutense. (12)

Gallardo, M; Martin, B; Martin, D. (1998) . An annotated bibliography of allelopathic properties of cattails, *Typha* spp. Florida Scient. 61(1): 52-58

Gallardo, M; Ascher, J; Collier, M; Martin, B; Martin, D. (1999) Effect of cattail (*Typha domingensis*) extracts, leachates and selected phenolic compounds on rates of oxygen production by salvinia (*Salvinia minima*). Journal of Aquatic Plant Management. 37: 80-82.

González, E; Valverde, A. (2010) Efecto del control de tifa, *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae), sobre el banco de semillas en el Humedal Ramsar Palo Verde. Costa Rica. Brenesia (73-74): 64-72.

Grunwald, S. (2010) Vertisols. Soil and Water Science Department. University of Florida. Recuperado de <http://soils.ifas.ufl.edu/faculty/grunwald/teaching/eSoilScience/vertisols.shtml>

Havlin, J; Beaton, J; Tisdale, S; Nelson, W. (2007) Soil Fertility and Fertilizers: An introduction to nutrient management. 7ma Ed. Pearson Education Inc. Singapore.

Heiri, O; Lotter, A; Lemcke, G. (2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology. 25: 101–110.

Hernández, D; Gómez, J. (1993) La flora acuática del humedal de Palo verde. Universidad Nacional EUNA. 1ra ed. Costa Rica.

Higueras, P; Oyarzun, R. (2000). Curso de mineralogía y geoquímica ambiental. Universidad de Castilla-La Mancha y Universidad Complutense. España. Recuperado de [http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema03/Tema\\_03\\_Suelos\\_0.htm](http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema03/Tema_03_Suelos_0.htm)

ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). (1978) Proceedings of the International Workshop on the Agroclimatology Research Needs of the Semi-Arid Tropics. Hyderabad. India.

Ingaramo, O; Paz González, A; Dugo Paton, M. (2003) Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo en el NO de la Península Ibérica. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.

IUSS-ISRIC-FAO. (2006) Base de referencia mundial del recurso suelo: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. 2da Edición.

Jiménez, C; Arias, D. (2004) Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en una gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal. 1 (2):1-20

Jiménez. J. (1999) Los Humedales de América Central: su importancia ecológica y económica. En: Los humedales de América Central. WWF Centroamérica. 2(1).

Jiménez, J; González, E; Calvo, J. (2003) Recomendaciones técnicas para la restauración hidrológica del Parque Nacional Palo Verde: casos Humedal Palo Verde y La Bocana. Organización para Estudios Tropicales. Costa Rica.

Jonsson, K; Fidjeland, L; Maghembe, J; Hogberg, P. (1988) The vertical distribution of fine roots of five tree species and maize in Morogoro, Tanzania. *Agroforestry Systems*. 6: 63-69.

Jorajuria, D; Draghi, L. (2000) Máquinas agrícolas: Sobre compactación del suelo agrícola. Parte I: influencia diferencia del peso y del número de pasadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 4(3): 445-452

Jutzi, S. (1988) Deep black clay soils (vertisols): Management options for the Ethiopian highlands. *Mountain research and development*. 8(2/3):153-156

La Gaceta. Poder ejecutivo. Decreto N° 27345-MINAE. El presidente de la República y el ministro de ambiente y energía. La Gaceta N° 199. Miércoles 14 de Octubre de 1998. En línea [www.pgr.go.cr](http://www.pgr.go.cr). Consultado el 26 de agosto del 2013

LaManna, L; Buduba, C; Alonso, V; Daveli, M; Puetes, C; Irisarri, J. (2007) Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región andino-patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *Nota científica. Ciencia del Suelo (Argentina)*. 20(2): 179-188.

Llorente Sánchez, M. (2004) Caracterización física y química de vertisoles del noreste de México sometidos a distintas formas de manejo. (Tesis de Master en Ciencias Forestales). Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Lombin, G; Esu, I. (1988) Characteristics and management problems of Vertisols in the Nigerian savannah. Department of Soil Science Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria. Recuperado de <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5493e/x5493e0u.htm>

Marsh, L. (1962) Studies in the genus *Typha*. (Tesis para obtener el título de Doctor en la Universidad de Syracuse). (Libr. Congr. Card No. Mic 63-3179) Univ. Microfilm, Ann Arbor, Mich. Pp. 126

McCoy, M. (1996) The seasonal freshwater marsh at Palo Verde National Park. Regional Wildlife Management Program. National University. Costa Rica. *Wetlands. Biodiversity*. INDIA. Pp. 133-137.

McCoy, M. (1994) Seasonal freshwater marshes in the tropics: a case where cattle grazing is not bad. *Principles of Conservation Biology*. Singapore. Pp. 352-353.

McCoy, M; Rodríguez, J. (1994) Cattail (*Typha domingensis*) eradication methods in the restoration of a tropical seasonal freshwater marsh. Elsevier Science. Núm. 3. *Ámsterdam. Países Bajos*. Pp. 469-482.

Misión Ramsar de Asesoramiento. (1998) Procedimiento de Orientación para la Gestión. Sitio Ramsar Parque Nacional Palo Verde. Costa Rica. Informe No. 39.

Mora, G; Arias, J; Reyes, A; Jiménez, A; Padilla, S; Gómez-Mestre, I; Sasa, M. (2012) Fenología reproductiva de anuros en humedales del bosque tropical seco de Costa Rica. *Ambientales. Semestral* (43):29-38.

Morales, A. (1997) Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. En: Simposio Internacional - Posibilidades del Manejo Forestal Sostenible en América Tropical, Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. Pp. 80-91.

Moreira, I; Arnáez, E. (2007) Estudio radicular de *Vochysia guatemalensis* (cebo) en Sarapiquí. Heredia. Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 19(1)

Montemarano, J; Sasa, M; Kershner, M. (2012) El manejo de humedal afecta la dinámica de descomposición de macrófitos en las lagunas del Parque Nacional Palo Verde. Guanacaste. *Ambientales. Semestral* (43):17-28.

Motivans, K; Apfelbaum, S; Penko, J; Pratt, D. (1986) Effect of *Bellura obliqua* on *Typha latifolia* productivity. *Journal of aquatic plant manage.* (24): 24-28.

Motivans, K; Apfelbaum, S. (1987) Element stewardship abstract for *Typha* spp .North American cattails. The Nature Conservancy. Recuperado de [http://www.invasive.org/gist/esadocs/documnts/typh\\_sp.pdf](http://www.invasive.org/gist/esadocs/documnts/typh_sp.pdf)

Mufarrege, M. (2012) Tolerancia y eficiencia de *Typha domingensis* Pers. en la retención de metales y nutrientes de efluentes industriales. (Tesis de Doctor en Ciencias Biológicas). Universidad Nacional del Litoral.

Mweso, E. (2003) Evaluating the importance of soil moisture availability (as a land quality) on selected rainfed crops in Serowe area, Botswana. (Tesis para obtener el título de Master of Science in Geo-information Science and Earth observation, Soil information systems for sustainable land management.

Nelson, N; Dietz, R. (1966) Cattail control methods in Utah. Utah Dept. of Fish and Game Publ. (6): 1-31

Nicholls, C; Altieri, M. (2008) Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. *La revista de agroecología*.

NSSH: National Soil Survey Handbook (2013) U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Osland, M; Gonzalez, E; Richardson, C. (2011a) Restoring diversity after cattail expansion: disturbance, resilience and seasonality in tropical dry wetland. *Ecological Applications*. 21(3): 715-728.

Osland, M; González, E; Richardson, C. (2011b). Coastal freshwater wetland plant community response to seasonal drought and flooding in Northwestern Costa Rica. *Wetlands*. (31): 641-652

- Pakhshan, M; Esmail, A; Dohuki, M; Darwesh, D. (2012) Comparison between calcimetric and titrimetric methods for calcium carbonate determination. Open Journal of Soil Science. 2: 263-268
- Paneque, R; Caballero, A; Suárez, M; Ferro, N. (2009) Costos energéticos y de explotación del cultivo del arroz en Fangueo directo. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 18(2): 7-11.
- Paz, H. (2003) Root/Shoot Allocation and Root Architecture in Seedlings: Variation among forest sites, microhabitats and ecological groups. Biotropica. 35(3): 318-332.
- Pérez, E; Asensio, C; Iriarte, A; Ortega, E. (2000) Curvas de pF en Vertisoles del sur de España. Edafología. 7(3): 197-207.
- PIPELINE. (2002) Soil Characteristics-Demystifying Dirt. National Small Flows. Spring. 13(2).
- Pire. R. (1985) Densidad longitudinal de raíces y extracción de humedad en un viñedo del tocuyo Venezuela. Agronomía Tropical. 35(1-3): 5-20.
- Pozzolo, O; Ferrari, H; Ganges, J; Herrera, M; Pereyra, C; Rivarola, S; Cerana, J; Benavidez, R; Wilson, M; Debattista, J. (2006). Comportamiento de suelos vertisoles al pastoreo con distintas cargas en sistemas de siembra directa y convencional. Resúmenes del VII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola. V Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. 1: 132
- Prunster, R. (1941) Germination conditions for *Typha muelleri* and its practical significance for irrigation channel maintenance. Australian council scientific industrial research journal. (14):129-136.
- Reddy, K; D'Angelo, E; Harris, W. (2000) Biogeochemistry of wetlands. G-89:G114 p. En: Handbook of soil science. Sumner, M. (ed). CRC Press. Nueva York, EUA.
- Rojas, M; Campos, M; Alpízar, E; Bravo, J; Córdoba, R. (2003) El cambio climático y los humedales en Centroamérica: Implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región. Costa Rica: UICN.
- Roy, B; Barde, N. (1962) Some Characteristics of the Black Soils of India. Soil science: An interdisciplinary approach to soil research. 93(2): 142-147. Recuperado de [http://journals.lww.com/soilsci/Citation/1962/02000/Some\\_Characteristics\\_of\\_the\\_Black\\_Soils\\_of\\_India.9.aspx](http://journals.lww.com/soilsci/Citation/1962/02000/Some_Characteristics_of_the_Black_Soils_of_India.9.aspx)
- Rucks, L; García, F; Kaplán, A; Ponce de León, J; Hill, M. (2004) Propiedades físicas de suelo. Universidad de la Republica. Facultad de agronomía. Departamento de suelos y aguas. Uruguay.
- Ruiz, E; Gutiérrez Castorena, M; Ortiz Solorio, C; Cruz Bello, G; Segura Castruita, M. (2006) Identificación de vertisoles de origen sedimentario a través de su firma espectral. Agricultura Técnica en México. 32(3): 303-3012

Rzedowski, G; Rzedowski, J. (2001) Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de ecología y comisión nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. 2a ed. México.

Sánchez Pérez de Évora, A; Sanz Donaire, J; García Rodríguez, M (1996) Influencia de la gestión de humedales en la evolución de suelos en la provincia de Toledo. Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. (2-3): 453-463.

Sánchez Bascones, M. (2003). Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del Campo (Valladolid): contenidos extraíbles, niveles fondo y de referencia. Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid. Facultad de Ciencias. Valladolid.

Sarmadian, F; Keshavarzi, A; Malekian, A. (2010). Continous Mapping of Topsoil Calcium Carbonate Using Geo-statistical Techniques in a Semi-Arid Region. Australian journal of crop science. 4(8): 603- 608

Sasa, M. (2013). Comunicación Personal. Director de la a Estación Biológica Palo Verde. Organización para Estudios Tropicales (OET). Guanacaste. Costa Rica.

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2000) Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar. Irán. 1971). 6a ed. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland (Suiza).

Scott, D; Le Maitre, D. (1998) The Interaction Between Vegetation and Groundwater: Research Priorities for South Africa. WRC Report No. 730/1/98. WateResearch Commission, Pretoria

Shaffer, P; Ernst, T. (1999) Distribution of soil organic matter in freshwater emergent/open water wetlands in the Portland, Oregon metropolitan area. Wetlands magazine. 19: 505-516

Singh, S. (1954) A study of the black cotton soils with special reference to their coloration. European journal of soil science. 5(2): 289–299. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.1954.tb02194.x/abstract>

Sojda, R; Solberg, K. (1993) Management and Control of Cattails. Fish and Wildlife Leaflet: Waterfowl management handbook. Colorado. Recuperado de [http://www.nwrc.usgs.gov/wdb/pub/wmh/13\\_4\\_13.pdf](http://www.nwrc.usgs.gov/wdb/pub/wmh/13_4_13.pdf)

Sotelo, E; Gutiérrez Castorena, M; Ortiz Solorio, C; Cruz Bello, G; Segura, M. (2006) Identification of vertisols of sedimentary origin through their spectral signature. Agricultura Técnica en México. 32(3): 303-312

Tabilo-Valdivieso, E. (1999). El Beneficio de los humedales en América Central: el potencial de los humedales para el desarrollo. 2a. ed. Turrialba. C.R. WWF; Heredia. C.R. Universidad Nacional. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre.

Taboada, M; Álvarez, C.R. (2008) Fertilidad física de los suelos. 2a Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Timmons, F; Lee, W, Bruns, V. (1963) Studies on the control of common cattail in drainage channels and ditches. Boletín Técnico. United States Department of Agriculture. 1286.

Trama, F. (2005) Manejo activo y restauración del humedal Palo Verde: Cambios en las coberturas de vegetación y respuesta de las aves acuáticas. (Tesis de Magister Scientiae en Conservación y Manejo de Vida Silvestre). Universidad Nacional Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre. Costa Rica.

Trama, F; Rizo, F; Kumar, A; González, E; Somma, D; McCoy, M. (2009a) Wetland cover types and plant community changes in response to cattail-control activities in the Palo Verde marsh. Costa Rica. Case Study. Ecological restoration. 22(3).

Trama, F; Rizo, F; Springer, M. (2009b). Macroinvertebrados bentónicos del humedal de Palo Verde. Costa Rica. Biología tropical. Vol. 57(1).

Vaughan, C; McCoy, M; Fallas, J; Chávez, H; Barboza, G; Wong, G; Rau, J; Carranza, M; Carbonell, M. (1996) Plan de Manejo y Desarrollo Parque Nacional Palo Verde y Reserva Biológica Lomas Barbudal. Contrato SENARA-BID-MIRENEM-UNA. Universidad Nacional. Costa Rica.

Vepraskas, M; Craft, C; Richardson, J. (2000) Wetlands soils: Genesis, hydrology, landscapes and classification. CRC Press LLC.

Vibrans, H. (2009) Malezas de México. *Typha domingensis*. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/typhaceae/typha-domingensis/fichas/ficha.htm>.

Villaseñor, R; Espinosa, G. (1998) Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México.

Virmani, S; Sahrawatand, K; Burford, J. (1982) Physical and chemical properties of vertisols and their management. International Crops Reserch Institute fot the Semi-Arid Tropic (ICRISAT). Andhra Pradesh. India. Recuperado de [http://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CGQQFjAF&url=http%3A%2F%2Foar.icrisat.org%2F4038%2F1%2F0048.pdf&ei=KSWFUrKLD\\_Kj4APKtIC4BA&usg=AFQjCNGYJ65kxR-L-Ycl4iZPheszdgUs5w&sig2=N7YKuMGCiPDCjHh23RDUxg](http://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CGQQFjAF&url=http%3A%2F%2Foar.icrisat.org%2F4038%2F1%2F0048.pdf&ei=KSWFUrKLD_Kj4APKtIC4BA&usg=AFQjCNGYJ65kxR-L-Ycl4iZPheszdgUs5w&sig2=N7YKuMGCiPDCjHh23RDUxg)

Yeo, R. (1964) Life history of common cattail. Weed Magazine. (12): 284-288.