



Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ciencias

Escuela de Ecología

“CARACTERIZACION DE ALGUNOS PARAMETROS DEL SUELO SOBRE UN GRADIENTE DE PROFUNDIDAD DEL AGUA EN UN HUMEDAL HERBACEO DE AGUA DULCE (EL CLAVO, ESTADO MIRANDA).”

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela, por el Br: Roberto Alfonso Gil Palacios, como requisito parcial para optar al título de Licenciado en Biología

Tutor(a): Dr^a Elizabeth Gordon

CARACAS, VENEZUELA

FEBRERO - 2010

INDICE

| | Página |
|---|-----------|
| Introducción..... | 1 |
| Antecedentes..... | 6 |
| Hipótesis..... | 11 |
| Objetivos..... | 12 |
| Materiales y métodos..... | 14 |
| Area de estudio..... | 14 |
| Fase de Campo..... | 17 |
| Fase de Laboratorio..... | 21 |
| Resultados..... | 26 |
| Descripción de la vegetación..... | 26 |
| Micro topografía del terreno..... | 29 |
| Profundidad de la Lamina de Agua..... | 29 |
| Parámetros físico-químicos in situ..... | 31 |
| Prametros Fisico-químicos del suelo..... | 31 |
| Discusión..... | 45 |
| Parámetros físicos del suelo..... | 46 |
| Parámetros fisicoquímicos del suelo..... | 49 |
| Análisis de componente principal (APC)..... | 63 |
| Conclusiones..... | 67 |
| Recomendaciones..... | 69 |
| Bibliografía.y Anexos..... | 70 |

AGRADECIMIENTOS

A Dios mi señor y mi fortaleza, guiarme siempre por luz del bien y la rectitud aun cuando estuve en valle de sombra

A mis padres y hermano, por ser el vivo y grato reflejo de Dios en este mundo, quienes con su amor incondicional y su rectitud inquebrantable, me enseñaron y me siguen educando a como ser el hombre de familia y la cabeza de un hogar del cual siempre formaran parte.

A mi hermano Leonardo por su lealtad, honestidad y nobleza. Quien en todo momento me otorgo palabras de alivio y sabiduría y que más importante aún, fue y sigue siendo ejemplo y modelo a seguir para mi vida.

A la universidad Central de Venezuela, por otorgarme de manera incondicional no solo conocimientos científicos sino también culturales y emocionales. De no haber estudiado allí, simplemente no hubiese conocido ni experimentado la felicidad de ser ucevista.

A las profesoras Elizabeth Gordon y Lourdes Suarez, quienes en tiempos muy difíciles me acogieron, creyeron y confiaron en mí, entregándome sus conocimientos y su afecto incondicional. Muchísimas gracias por darme la oportunidad de retribuirles parte de lo que me han dado a través de este manuscrito.

DEDICATORIA

A Dios (padre, hijo y espíritu santo), por refugiarme en sus alas y mantenerme siempre a un lado de su costado, por tener misericordia de mi y por regalarme vida eterna y en este plano, regalarme y bendecirme día a día con su sabiduría, ciencia, gozo, gloria, paz, amor y perdón

A mi papá Frank, a mi mamá Tiby y a mi hermano Leo, quienes me apoyaron y me incentivaron en todo momento a culminar esta meta. Este logro es de ustedes ya que sin su ayuda, apoyo, comprensión y lecciones de vida, simplemente no existiría este manuscrito.

A la profesora Elizabeth Gordon, por aceptarme como su tutelado y por abrirme las puertas de su casa, su laboratorio y de su corazón, por confiar en mí y por no dudar a la hora de brindarme ayuda. La quiero mucho.

A Magaly Palma, mi ayuda idónea, mi complemento mi cuello, mi sustento, el regalo más hermoso que Dios me ha otorgado. Me quedo sin palabras para describir lo que siento por ti, pero este manuscrito refleja el fruto de lo que has sembrado en mí (amor, dedicación, esmero y convicción). Tu enseñándome en todo momento que cumplir las metas propuestas en nuestro principal objetivo y que sin Dios a nuestro lado, simplemente es imposible. A ti mi amor, MUCHÍSIMAS GRACIAS.

Al laboratorio de plantas acuáticas (Nancy de Pacheco, Lenys Polanco y Jomel), quienes también me abrieron sus puertas y me brindaron toda la ayuda necesaria y más, para concluir esta loable meta.

A la profesora Lourdes Suarez, quien con su incansable sonrisa y su inmutable espíritu, me enseñó y me educó, no solo a como llevar esta investigación sino a como llevar una vida llena de responsabilidades siempre con felicidad y con prudencia.

A todo el personal de Ceifa (Dra Miriam Ortiz, Dra Magaly, Dra Sady, Carmen Batista, coromoto, Mery, Maryuri, Miriam Gómez, Jorge, Clelia, Marlene y Xiorangel, Dr Francisco, Dr Marcos). A todos ustedes gracias por darme la oportunidad de demostrarle todas mis virtudes y

mis defectos. Gracias por darme la oportunidad de aprender la maravillosa experiencia de un primer trabajo y por darme toda su amabilidad y felicidad. A todos muchas gracias

A mis familiares (tíos, tías, primos, primas y abuela) quienes de una forma y otra contribuyeron a que este y demás proyectos de mi vida se hagan y se sigan haciendo realidad.

A mis compañeros: Alejandro (mi hermano), Jamileth, Olga, Yuliana, Beatriz, Giovanni, Francisco, Miguel, Luis (chino), Luis (negro), Alan, Daniela, María Gabriela, Alfonso, Jennire, Karina, Laynet, Any, Lesbia, Sabrina, Denisse, Emily, Gabriel, Grace, Ingrid, Kristina, Lorian, Maria Jose, Mariela, Gabriela, Milagros, Mildred, Seila, Vanesa, Yeznare, Mighay). A todos gracias.

LISTA DE FIGURAS

Fig.1 Estructura de un humedal

Fig.2 Ubicación relativa nacional y regional del área de Estudio

Fig.3 Precipitación promedio mensual

Fig.4 Zonación vegetal y perfil de profundidad

Fig.5 Diseño muestral

Fig.6 Representación gráfica de los tubos de densidad aparente

Fig.7 Microtopografía del terreno

Fig.8 Variación de la profundidad de la maina de agua (cm)

Fig.9 Variación del pH

Fig.10 Variación de la Conductividad eléctrica.

Fig.11 Variación del % de humedad

Fig.12 Variación de la Densidad Aparente

Fig.13 Cajas gráficas de la Materia Orgánica

Fig.14 Concentración de los Cationes Cambiables

Fig.15 Representación del % de Nitrógeno total

Fig.16 Cajas gráficas representativas de los cationes cambiabes estudiados

Fig.17 Variaciones en las concentraciones de los cationes cambiabiles

Fig.18 Variación entre las concentraciones de Hierro y Manganeso

Fig.19 Análisis de componente principal

Fig. 20. Descripción gráfica de la zona de estudio

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Características de las especies a lo largo de un gradiente de vegetación
- Tabla 2.** . Valores representativos del potencial Redox, Saturación de oxígeno y oxígeno
- Tabla 3.** Variación de la textura del suelo, % humedad y % de espacios porosos
- Tabla 4.** Variación de la densidad aparente del suelo (D.A), % Materia orgánica (%MO), % de humedad y % de espacios porosos
- Tabla 5.** Valores representativos de las concentraciones de Cationes cambiabiles
- Tabla 6.** Nivel de significancia para cada uno de los cationes intercambiables
- Tabla 7.** Nivel de significancia del Hierro (Fe) y el Manganeseo (Mn)
- Tabla 8.** Valores estadísticos representativos de cada una de las variables estudiadas
- Tabla 9.** Nivel de significancia del pH de las distintas zonas (Prueba post-hoc)
- Tabla 10** Nivel de significancia de CE de las distintas zonas (Prueba post-hoc)
- Tabla 11** ANOVA no paramétrico de Kruskall-Wallis para la densidad aparente
- Tabla 12** Nivel de significancia de MO de las distintas zonas (Prueba post-hoc)
- Tabla 13** Nivel de significancia de N.total de las distintas zonas (Prueba post-hoc)
- Tabla 14** Nivel de significancia de Fe de las distintas zonas (Prueba post-hoc)
- Tabla 15** Nivel de significancia del Mn de las distintas zonas (Prueba post-hoc)
- Tabla 16** Vectores del análisis de componentes principales

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas caracterizados por la presencia de una lámina de agua en, sobre o debajo del sustrato, lo que les confiere características muy distintas a las de los suelos y ambientes adyacentes. Los humedales son referidos como “un mundo mitad agua y mitad tierra”, con propiedades de cada uno de estos ambientes, sin llegar a ser propiamente uno de ellos. El patrón estacional del nivel de agua provoca profundos cambios físico-químicos en el suelo, siendo el más significativo la reducción inmediata en la disponibilidad de oxígeno, lo que a su vez, determina la estructura y composición de la vegetación (patrón de zonación). En este sentido el presente trabajo realizado en un humedal herbáceo ubicado en El Clavo (Estado Miranda), tuvo como objetivo determinar las características físico-químicas del suelo a lo largo de un gradiente de profundidad, relacionando estas características con el tipo de vegetación que crece en cada zona del humedal, el cual presenta una zonación evidente en cuanto a su nivel fisionómico y composición de especies. En este sitio de trabajo se diferenciaron 5 zonas de vegetación: 4 de ella herbáceas y una boscosa. Para llevar a cabo esta investigación, se cuantificaron los siguientes parámetros: Cationes cambiabiles, potencial redox, cantidad de materia orgánica, textura del suelo, entre otros, así como también se realizó una descripción de la vegetación de cada una de estas cinco zonas. Estas variables físico-químicas fueron evaluadas en las 5 zonas dentro de los primeros 10cm de profundidad del suelo, para determinar si sus variaciones espaciales y temporales, están asociadas con la distribución de la vegetación. Los valores de pH, potencial redox, densidad aparente, conductividad eléctrica, concentración de cationes cambiabiles y de metales (Hierro y Manganeso), disminuyeron en la época de lluvia. En la época de sequía se observaron aumentos en los valores de materia orgánica, porcentaje de humedad, porcentaje de espacios porosos y concentración de nitrógeno total.

INTRODUCCION

Una manera de definir los humedales viene dada a partir del concepto de que los mismos son sistemas de cobertura sub-regional en los que la presencia de una lamina de agua de espesor variable (espacial y temporalmente), condiciona los flujos biogeoquímicos propios del sistema, donde los suelos presentan acentuado hidromorfismo y presentan patrones propios en su estructura y dinámica. Por lo tanto, los humedales pueden considerarse como sistemas cuya complejidad crece con la variabilidad hidrosedimentológica y la extensión geográfica ocupada. En este sentido, el carácter distintivo de los humedales está en la profundidad del agua, con la consecuente alteración en el régimen del suelo del humedal y la distribución de la vegetación. (Rader, 2001)

Los humedales son de suma importancia para la biogeoquímica del planeta, ya que son epicentros de diversidad biológica y soporte económico de muchas actividades (sustento a la pesquería, aporte de madera y turba, protección de la vida silvestre y oportunidades al turismo), así mismo, son centros de almacenaje de agua, permitiendo la carga y recarga del acuífero, de protección contra tormentas, mitigación de flujos, estabilización de la línea de marea, control de la erosión, la retención de carbón, nutrientes, sedimentos y contaminantes (Alvarez, 1999). También son vistos como sistemas importantes para procesos globales y centros de especiación con alto endemismo como los humedales del Amazonas (Schlesinger, 1997; Junk, 1989 y Mori, 1989).

Así mismo, algunos datos contribuyen a entender la importancia de los humedales, tales como: 1) Los ecosistemas de agua dulce tal y como lo son ciertos humedales, sólo cubren el 2% de la superficie de la Tierra, pero alojan a más del 40% de las especies del mundo y al 12% de todas las especies animales. 2) El pescado, el cual es la principal fuente de proteína de casi 1.000 millones de personas y un componente importante de la dieta humana, depende de humedales costeros, ya que las dos terceras partes del pescado consumido en el mundo, desarrollan alguna etapa de su ciclo biológico en los humedales. 3) El arroz, grano que constituye el alimento básico de 3.000 millones de personas (la mitad de la población del mundo), es cultivado en arrozales, los cuales son humedales creados por el hombre. 4) Los observadores de aves y los cazadores de patos y otras aves de Canadá, México y los EE.UU, en conjunto generan actividades económicas valoradas en más de 20.000 millones de dólares EE.UU. por año.

En los humedales, los espacios porosos del suelo se saturan con agua (Ponnamperuma, 1972) y pese a que el 72% de la superficie del planeta se encuentra inundada o cubierta por agua, pocos estudios han investigado los efectos ecológicos de las inundaciones. Más aún, esta saturación es inducida por el patrón estacional del nivel de agua o hidroperíodo, el cual es considerado como una medida que integra todas las entradas y salidas de agua (Mitsch & Gosselink, 2007). Más aún, este patrón de agua se encuentra fuertemente condicionado por las características físicas del terreno y la proximidad a otros cuerpos de agua. Pero a su vez, este hidroperíodo (frecuencia de duración de la inundación), es considerado como el factor que determina la estructura y composición del suelo y de la vegetación en los humedales (López, 2009).

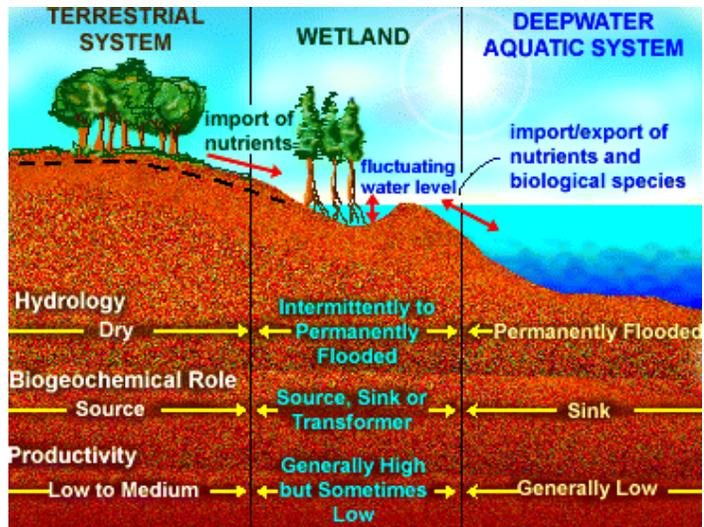


Figura 1. Ubicación de un humedal como transición entre un ambiente terrestre y uno acuático, presentando variaciones en la hidrología, rol biogeoquímico y productividad. Tomado de www.aquatic.uoguelph.ca/ (consulta: 25 de octubre de 2009).

La presencia de la lámina de agua en un humedal induce profundos cambios físico-químicos profundos en el suelo, siendo el más significativo la reducción inmediata de la disponibilidad de oxígeno. A su vez, la alternancia entre la condición de inundación y de sequía de los suelos en los humedales, ejerce un control sobre el ciclaje de nutrientes esenciales, ya que afecta la descomposición de la materia orgánica del suelo y altera la disponibilidad de nutrientes mineral (Gale y Gilmour, 1988; Lovley y col., 1991; Chacón y col., 2006). En los suelos de los humedales, los sedimentos son predominantemente finos (arenas muy finas, limos y arcillas); lo que trae como consecuencia una disponibilidad claramente mayor de nutrientes y otros solutos, así como la retención de agua en el humedal (Lesack, 1993, 1995).

Además, la inundación y la mayor movilidad del agua genera el ingreso y/o translocación importante de materiales (solutos, sedimentos suspendidos, materia orgánica coloidal) y la evapotranspiración tiene menor importancia en el balance de masas (Lesack, 1993, 1995). El agua en el suelo restringe la difusión de los gases y limita la disponibilidad de oxígeno (Smith y Tiedje 1979) con el consecuente impacto sobre la disolución mineral (Lovley y col., 1991, Chacón y col., 2006) y la disponibilidad de nutrientes (Silver y col., 1999, Chacón y col., 2006), lo que influye adversamente en la fisiología y crecimiento de las plantas causando: disminución en la absorción de nutrientes, reducción en la proporción de raíces y tallos, además de limitar a la planta fotosintéticamente, provocando su posterior muerte (López, 2009).

No obstante, la evolución de las plantas ha producido adaptaciones morfológicas para facilitar el transporte de oxígeno hacia las raíces y adaptaciones metabólicas que permiten el crecimiento bajo condiciones anaeróbicas (López, 2009). Por ejemplo, el poseer aerénquima implica formar o incrementar los espacios intracelulares en la raíz, lo cual promueve la difusión del oxígeno (Phillipson y col., 1978). También se forman en el tallo, raíces adventicias, correspondientes a respuestas morfológicas en las plantas tolerantes a la inundación (Kozlowski, 1984). Estas modificaciones, permiten aumentar la capacidad de intercambio de los cationes y absorber nutrientes (Sena y col., 1980), además de contrarrestar la intoxicación, pues se oxidan iones como el hierro, el manganeso y el sulfuro de hidrógeno, entre otros (Crawford, 1983).

Es por esto que en los humedales, existe una relación intrínseca entre la hidrografía y la distribución de su vegetación y como la misma se ve afectada por los cambios físico-químicos y biológicos que se presentan a lo largo del humedal. Según Hutchinson (1975), la zonación puede ser vista o tomada como el equivalente espacial de la sucesión en el tiempo y así mismo se ha estipulado que los cambios en los diferentes factores bióticos y abióticos, pudieran explicar la zonación de los humedales. En este sentido Pearsall (1920) quien estudió el patrón de la distribución de plantas en humedales alrededor de Inglaterra, llegó a la conclusión que los sedimentos se vuelven cada vez más finos a medida que se profundiza en el agua; de esta manera, al cambiar la composición físico-química de los suelos, se producía la distribución de la vegetación y con ello se originaba la zonación de los humedales.

Es por ello que el siguiente trabajo propone realizar la caracterización físico-química de los suelos en distintas zonas establecidas en un humedal herbáceo de agua dulce las cuales, a su vez, presentan distintos tipos de vegetación, tratando de esta manera, establecer las relaciones entre los diversos factores abióticos estudiados temporal y espacialmente, con la vegetación presente en este humedal.

ANTECEDENTES

Los humedales son ecosistemas inundados, caracterizados por la presencia de una lámina de agua asociada con el sustrato, como se muestra en la figura 1, lo que les confiere características muy distintas a las de los suelos y ambientes adyacentes. Smith (1980, citado por Mitsch y Gosselink 2000) los refiere como “un mundo mitad agua y mitad tierra”, con propiedades de cada uno de estos ambientes, sin llegar a ser propiamente uno de ellos.

Dadas las condiciones particulares que en estos ambientes pueden encontrarse, numerosos han sido los estudios acerca de su dinámica y, la caracterización de los procesos biológicos y físico-químicos que allí predominan. Es por ello que muchos científicos alrededor del mundo, han dedicado tiempo y esfuerzo para determinar y relacionar, los distintos parámetros del suelo de los humedales con la distribución de la vegetación. (Klosowski 1992; Armstrong 1985; Gopal 1986; Grelsson 1991; Keddy 1984).

Shen & Ehrenfeld (2009), determinaron la relación entre las plantas, el suelo y las comunidades microbiológicas a lo largo de un gradiente de profundidad de la columna de agua en una comunidad de pinos en Nueva Jersey, en los Estados Unidos de América, motivados por la falta información desarrollada acerca del papel de los distintos componentes de la hidrológica en la estructuración de las comunidades vegetales. Estos investigadores, realizaron estudios sobre tres tipos de humedales adyacentes uno del otro a lo largo de un gradiente hidrológico en Nueva Jersey. En este estudio, se determinó el papel de la variabilidad de la capa de agua, con relación al suelo y a las comunidades de plantas y microbios. En este sentido, los investigadores detectaron que los niveles de la capa de agua, afectaban tanto las

propiedades del suelo, como a la comunidad microbiana. Con estos resultados, no solo llegaron a la conclusión que la profundidad del agua (en su variabilidad y niveles), afectó a las comunidades de plantas de los humedales, sino que asimismo, la génesis del suelo (formada por la capa de agua y por la geología), parece ser el factor principal que afecta a las comunidades de plantas y de microorganismos.

Pocos son los trabajos realizados en cuanto a la concentración de los cationes cambiabiles en humedales herbáceos, pero uno de ellos, realizado por Phillips & Greenway (1998), quienes estudiaron el efecto del intercambio de cationes en tres suelos inundables con distintas texturas y características físico-químicas, lograron llegar a la conclusión, que el incremento en las concentraciones de Ca, Mg, K y Na es atribuido al incremento de la solubilidad del carbón orgánico y también por el incremento de la competición por los sitios de capacidad de intercambio catiónico (CIC), debido a las altas concentraciones de Hierro y Manganeso.

Rial (2000) en su trabajo sobre los aspectos cualitativos de la zonación de comunidades de plantas acuáticas, presentó la zonación y estratificación de las poblaciones de plantas acuáticas de los llanos inundables venezolanos. En este trabajo, catorce ambientes fueron estudiados durante el hidroperíodo (lluvia-sequía) de un año, encontrándose diferencias espacio-temporales en la composición de especies presentes, como respuesta a las fluctuaciones del nivel del agua. De igual manera discutió la utilidad del análisis de bioformas vegetales como indicadores de cambios biológicos en el gradiente de profundidad de los ambientes analizados y los patrones de estratificación de estas poblaciones de los Llanos del Orinoco.

Gordon y col., (2001) con su trabajo sobre la caracterización de la vegetación en un humedal herbáceo oligohalino de las sabanas de Venturini, en el estado Sucre de Venezuela, determinaron que estas sabanas son planicies cenagosas fluvio-marinas de origen reciente. En este trabajo, se relacionó la distribución de la vegetación con parámetros físico-químicos del agua y del suelo. A lo largo de una transecta, se demarcaron cuatro zonas de vegetación donde se determinaron los siguientes parámetros: número de especies, altura y cobertura de las plantas, profundidad del agua, pH, conductividad, temperatura, y se colectaron muestras compuestas de agua y de suelo

En conjunto con la determinación de las características del agua (pH y potencial redox) y del suelo (Cationes cambiabiles, Materia orgánica, entre otros), los investigadores establecieron un gradiente de salinidad y humedad del suelo, el cual permitió establecer diferencias en las características de los distintos sitios donde crecen las plantas, lo cual posiblemente podría expresar la zonación de la vegetación del humedal.

En el humedal el Clavo, se han realizado diversas investigaciones sobre la dinámica de crecimiento de la especie más importante del mismo, como lo es *Hymenachne amplexicaulis* (Feo 2002, Gordon y Feo, 2007), así como la descomposición de *Heliconia marginata* (Gordon y col., 2009). Estas investigaciones han permitido acentuar la relación entre los cambios en la profundidad de la lámina de agua producto de la estacionalidad y las variaciones de las variables biométricas (altura, densidad, longitud de los entrenudos, densidad de culmos) de la especie *Hymenachne amplexicaulis* (Feo 2002, Gordon y col., 2007), así como los cambios estacionales en la concentración de los nutrientes, producto del cambio en la profundidad de la lámina de agua.

Torres y col., (2010) lograron inferir que la descomposición foliar “*in situ*” de *Heliconia marginata* no era ocasionada por las condiciones ambientales imperantes en la zona de estudio, sino que pudo explicada por factores internos relacionados con las características estructurales del material vegetal. Gordon y Feo., (2009) estudiaron la dinámica del nitrógeno en este humedal logrando inferir que la disponibilidad del Nitrógeno total en el suelo, aumentaba a medida que se profundizaba la lámina de agua. También, determinaron que la estacionalidad influye de manera importante sobre la supervivencia, crecimiento, concentración, contenido, absorción y eficiencia del uso de N por parte de *H. amplexicaulis*.

Suárez – Villasmil (2010) realizó un estudio en este humedal acerca de la distribución de la vegetación y su relación con factores ambientales como fósforo total en el suelo y cambios estacionales en la profundidad de la lámina de agua, entre otros. De esta publicación se logran tomar aspectos importantes tales como, la disminución del pH en la temporada de inundación y la cantidad importante de materia orgánica presente en el humedal. Los resultados de este trabajo permitieron evidenciar la estrecha relación entre los componentes del humedal y los cambios observados en la abundancia y la composición de especies presentes en este sistema.

Ortega y col. (2010), estudiaron la calidad y cantidad de carbono orgánico del suelo sobre el gradiente de vegetación del humedal en el período de lluvia, en cinco zonas de vegetación de acuerdo a la dominancia de las especies presentes (*Heliconia marginata*, *Polygonum acuminatum* y *Scleria microcarpa*.), donde se analizaron variables físicoquímicas asociadas a la columna de agua (Temperatura, conductividad, O₂ disuelto, potencial redox) y cantidad de carbono orgánico de las fracciones ligera y pesada en el suelo. En este trabajo, se

llegó a la conclusión de que no existen diferencias en la concentración de carbono orgánico (CO) a lo largo del gradiente de vegetación para cada una de las fracciones. Se logró evidenciar que a pesar de tener un alto porcentaje de materia orgánica, los suelos del humedal son de tipo transicional entre suelos orgánicos y minerales (contenido de MO <25-35%) (Mitch y Gosselink, 2007).

De lo expuesto anteriormente, se destaca que en el humedal herbáceo situado en El Clavo, a pesar de los pocos los estudios realizados, aún no se ha logrado establecer cuáles son las variables ambientales que expliquen la distribución de las plantas en este humedal, en el entendido que la misma, responde tanto a los factores bióticos como a los abióticos (Keddy 2000, Seabloom 2003, Rial 200).

HIPÓTESIS

Numerosos autores, incluyendo Mitsch y Gosselink (2000), han indicado que en los humedales, la inundación, es un factor ambiental importante, en virtud a que influye en las variaciones de los procesos físico-químicos del suelo, en la composición de las especies y en el crecimiento de estas.

Este régimen de inundación, es el factor determinante en la dinámica de los humedales, produciendo además de la variación en la disponibilidad de oxígeno, cambios en la química del agua, en la proporción de materia orgánica y en la concentración de los nutrientes (Mitsch & Gosselink, 2000).

Siendo un humedal herbáceo de agua dulce el objeto de estudio y basándonos en el gradiente de profundidad de agua, es de esperar que cambien los parámetros a estudiar (pH, cationes intercambiables, potencial redox, materia orgánica, entre otros). De igual manera, es de esperar que esta variabilidad de los parámetros, provocada por el cambio de la hidroquímica del suelo, sea determinante en la distribución diferencial de la vegetación del área de estudio. Bajo estos parámetros, es que se exponen las siguientes interrogantes:

- ¿Influye la variabilidad de los parámetros físicos-químicos (concentración de cationes, materia orgánica, pH, entre otros), debido a la alternancia de condiciones de inundación y profundidad de la lámina de agua, en la distribución de las diferentes comunidades vegetales presentes en el humedal?
- ¿De que manera afecta?

General:

Determinar las características físico-químicas del suelo en un humedal herbáceo de agua dulce (el Clavo, Edo. Miranda), a lo largo de un gradiente de profundidad, sobre el cual se ha evidenciado una zonación de las comunidades vegetales presentes.

Específicos:

- Describir la vegetación del humedal indicando la cobertura de las especies, establecidas a lo largo de un gradiente de profundidad del agua.
- Determinar el pH y la conductividad del suelo a lo largo del gradiente de profundidad, durante los períodos de sequía e inundación del humedal El Clavo.
- Determinar el potencial redox del suelo a lo largo del gradiente de profundidad, durante el período de inundación del humedal El Clavo
- Determinar la cantidad de materia orgánica y textura del suelo en los primeros 10cm de profundidad, a lo largo del gradiente de profundidad, durante los períodos de sequía e inundación del humedal El Clavo.
- Determinar los cationes cambiabiles (Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio) en los primeros 10cm de profundidad del suelo, durante los períodos de inundación y sequía del humedal, a lo largo de un gradiente de profundidad de agua.

- Determinar la concentración de nutrientes (nitrógeno, hierro y manganeso) presentes en el suelo a lo largo del gradiente de profundidad, durante los períodos de inundación y sequía del humedal El Clavo.

Área de estudio

Este trabajo, fue realizado en un humedal herbáceo ubicado en el estado Miranda, en una zona conocida como “El Clavo” (Figura 2). Según Google Earth (2009), este humedal se ubica a 10°15'16” N, 66°07'53” W, con una altitud aproximada de 10 msnm, en la cuenca del Río Tuy (Bellizzia y col. 1976, citado por Suárez 2009), sobre la formación Caucaigua (Ministerio de Minas e Hidrocarburos 1970).

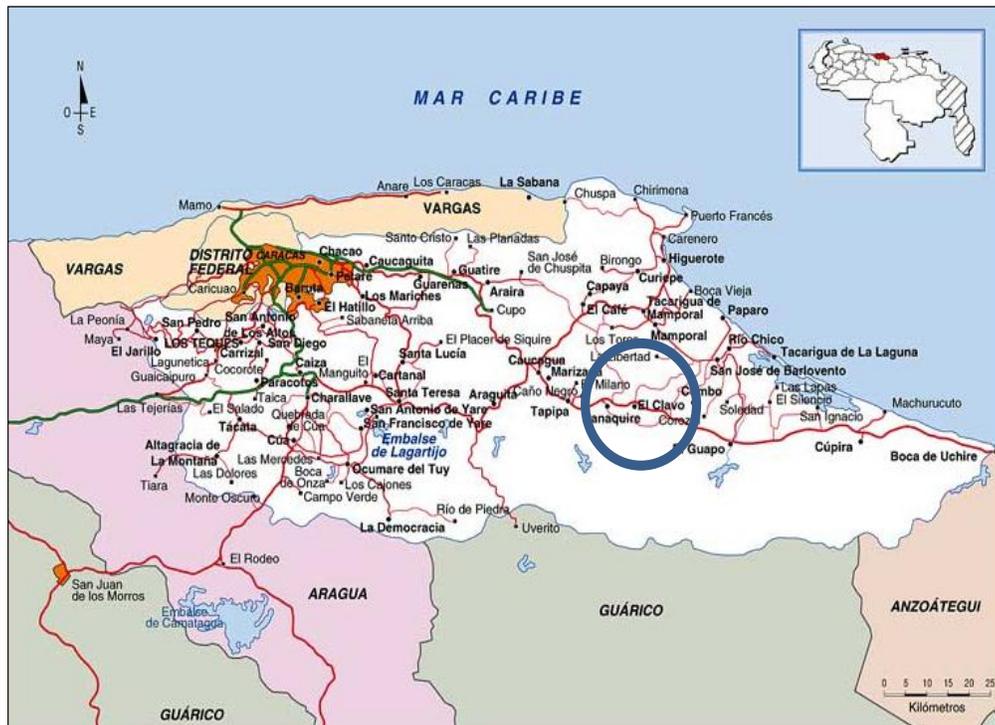


Figura 2. Ubicación relativa nacional y regional del área de Estudio en el Estado Miranda.

Adaptada de <http://www.a-venezuela.com/>. Tomado de Suárez (2009).

Suárez (2010), adoptó la clasificación geomorfológica de Zinck (1981) para la zona, indicando que la misma presenta las siguientes características:

- *Provincia Fisiográfica:* Sistema de la Costa
- *Región Natural:* Tramo Central
- *Sub Región Natural:* Depresiones intramontañas Tuy-Barlovento
- *Tipo de Paisaje:* Valle del Río Tuy
- *Relieve:* Planicie de inundación del Río Tuy
- *Forma de Terreno:* Cubeta de decantación

La temperatura promedio de la zona es de 24°C (MARN 1996 citado por Feo 2002) y su precipitación total anual es de 2355 mm (Registros MARN 1942-1999). Esta zona presenta dos picos de precipitación (junio-agosto y noviembre-diciembre) y un período seco entre febrero-marzo (Figura 3).

De acuerdo con Ewel & Madriz (1968), la zona de vida correspondiente es un bosque húmedo tropical, ya que se encuentra en la región latitudinal tropical y supera los 2000 mm de precipitación total anual.

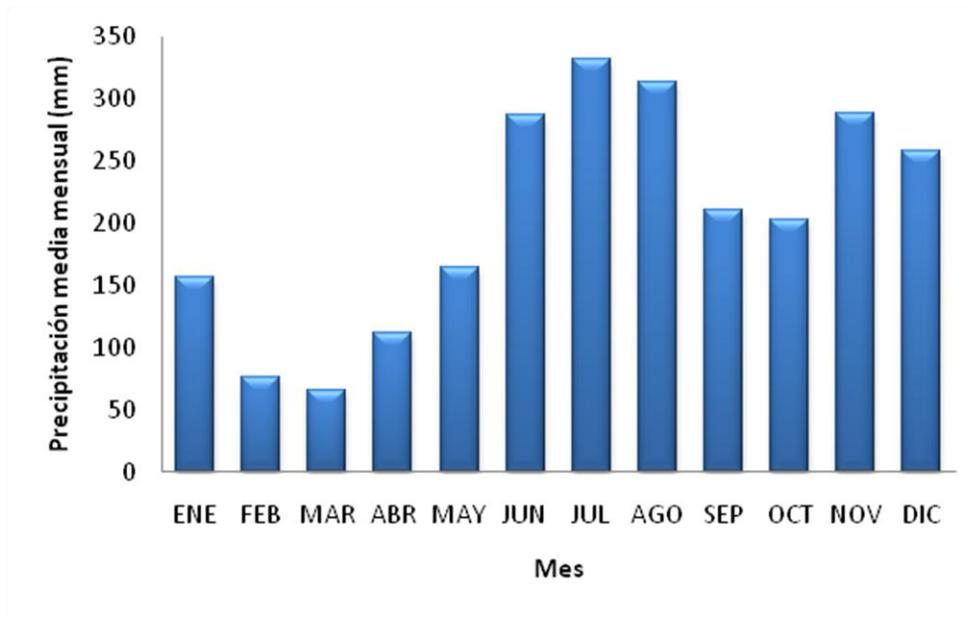


Figura 3: Precipitación promedio mensual para la estación meteorológica Panaquire (Estado Miranda). Registros suministrados entre los años 1942 y 1999 por la Dirección de Hidrología y Oceanología del Ministerio del Ambiente. Tomado de Suárez (2010).

En cuanto a la descripción de la vegetación, Feo (2002) reportó un humedal en El Clavo y determinó que la vegetación herbácea estuvo dominada en 70% por *Hymenachne amplexicaulis*. También reporta que los suelos tienen textura arcillosa (72% arcilla, 22,4% limo y 5,6% arena); porcentaje de materia orgánica 2,7%, pH del suelo 6,4, conductividad del agua entre 116 y 294,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y pH del agua entre 6 y 8.

Métodos

Fase de Campo

Estudios previos (Suarez 2010), reportan que el humedal herbáceo de agua dulce presenta un relieve que tiene forma de cubeta, quedando algunos sitios más expuestos a la inundación, por lo que existe un gradiente de profundidad. Así mismo, este humedal se caracteriza por la zonación de la vegetación a lo largo de un gradiente de profundidad, que va desde una zona dominada por *Heliconia marginata*, otra cubierta por *Hymenachne amplexicaulis* con presencia de *Polygonum acuminatum*, y otra zona donde crece un bosque.

Es por ello que se realizó una salida de campo exploratoria dirigida hacia el humedal herbáceo de agua dulce en El Clavo (Estado Miranda), a principios del mes de Noviembre del año 2009, que si bien es el mes correspondiente a la temporada de lluvia (Fig 3.), debido a los cambios climáticos, el humedal se encontraba en gran parte seco. Por esta razón se designó para este período, el término de **época de sequía**. En el sitio de trabajo, para determinar la cobertura de las especies y establecer las zonas, se delineó una transecta perpendicular a este gradiente y se realizó la caracterización del microrelieve de la zona, tomando datos como: profundidad de la lámina de agua y distribución de la vegetación. En base a esto y de acuerdo a la fisionomía de la vegetación, se logró caracterizar el área de estudio en dos ambientes: uno herbáceo y uno leñoso. El ambiente herbáceo a su vez, se encontraba representado por cuatro zonas: la primera de estas, la zona 1, situada en el borde del humedal y dominada por *Heliconia marginata*; la zona 2 dominada por *Polygonum acuminatum*; al igual que la zona 3, pero diferenciadas sobre la base de la profundidad de la lámina de agua, mayor en la zona dos

que en la tres (por lo que para efectos del trabajo en cada una de estas zonas, la especie presentara un 1 o un 2, respectivamente). La zona 4 dominada principalmente por *Scleria microcarpa*. Al ambiente leñoso se caracterizó por la presencia de un bosque húmedo se le designó el término de zona 5 (Fig 4).

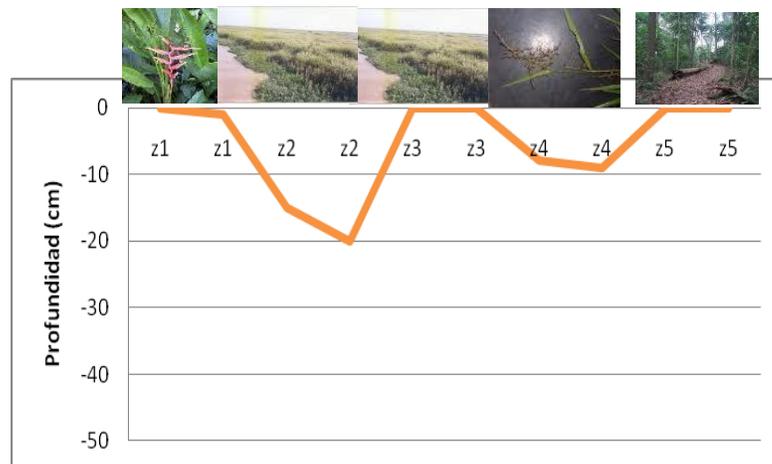


Figura 4. Zonación vegetal y perfil de profundidad de la lámina de agua en el humedal (El Clavo, Estado Miranda)

A finales del mes de Noviembre de 2009 se realizó una segunda salida de campo, donde se llevaron a cabo la recolección de las muestras de los suelos de las distintas zonas anteriormente descritas (Fig 4), para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos: porcentaje de materia orgánica, textura, pH, cationes cambiabes y nutrientes y para la evaluación de la densidad aparente. En esta salida, no se lograron evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua debido a la ausencia de la lámina de agua en las distintas zonas de estudio.

En el mes de Junio de 2010 (época de Lluvia), se llevó a cabo la tercera y última salida de campo, en donde, además de realizar la toma de muestras de suelos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, se midieron parámetros del agua tales como temperatura, oxígeno disuelto y potencial Redox, mediante el uso de un sensor multiparamétrico YSI 85, calibrado a 100 pies de altitud y un electrodo combinado de vidrio redox, marca ORION, modelo 250A respectivamente

Para el análisis de materia orgánica, nutrientes, cationes cambiabiles, pH y conductividad (para cada una de las cinco zonas, en cada uno de los distintos períodos (sequía y lluvia)), se colectaron tres muestras de suelo (removiéndose la hojarasca presente), para formar una muestra compuesta (muestreo sistemático), según (Jackson 1982), a 10 cm de profundidad, con un barreno de 7cm de diámetro (Fig. 5). Este proceso se realizó de esta manera, ya que en estudios anteriores, ha quedado demostrado que en una misma parcela pueden existir grandes diferencias físico-químicas del suelo.

Adicionalmente, para cada una de las zonas y en cada uno de los períodos, se colectaron en tubos de plásticos de PVC (4" de diámetro x 15 cm de largo), muestras de suelo (por duplicado) para determinar la densidad aparente del suelo (Fig 6), el porcentaje de humedad y el porcentaje de espacios porosos del suelo, previa eliminación de toda la hojarasca presente.

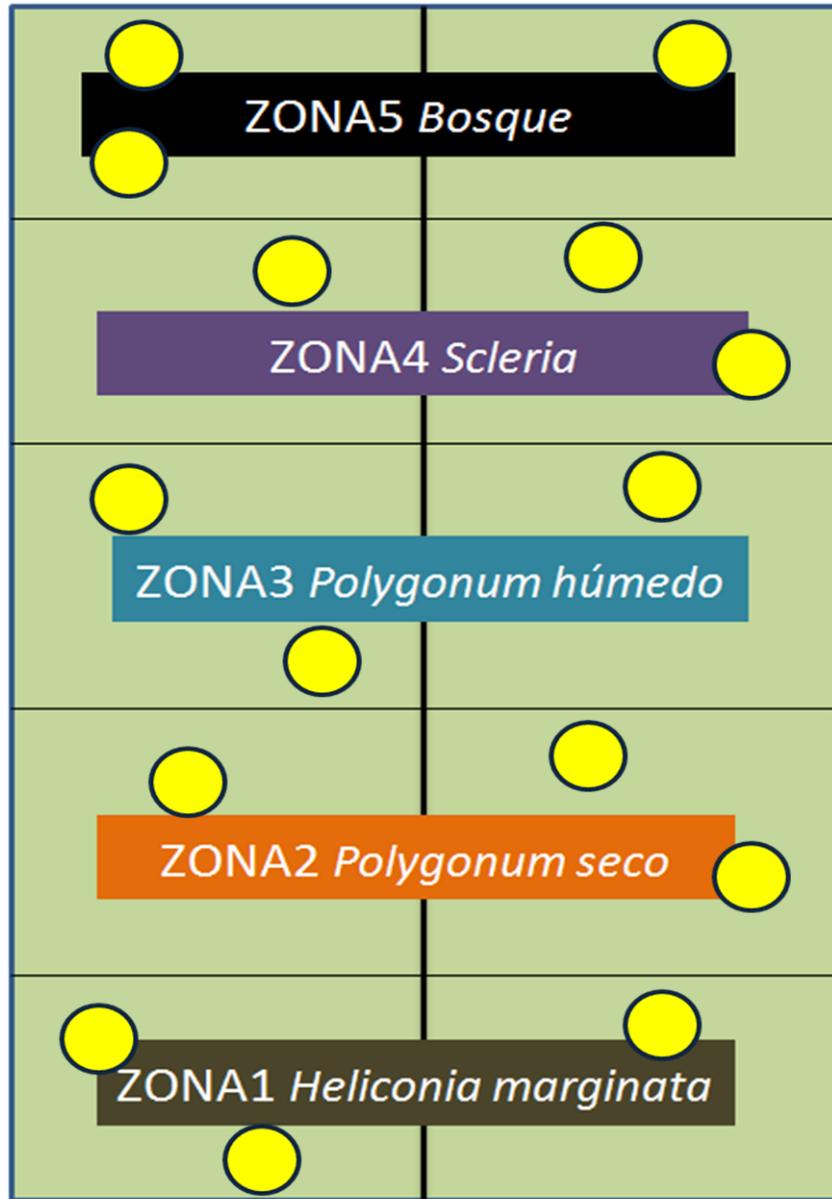


Figura 5. Diseño muestral. Se presentan las cinco zonas de estudio, con el número de muestras a tomar en cada una de ellas.

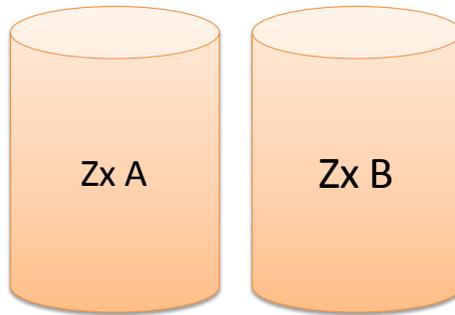


Fig 5. representación gráfico de los tubos para determinación de Densidad aparente. Zx: Zona; A y B: réplicas.

Fase de Laboratorio:

Una vez recolectadas las muestras de suelo, las mismas fueron trasladadas al Laboratorio de Ecología de Plantas Acuáticas del Instituto de Zoología y Ecología Tropical de la Universidad Central de Venezuela, las cuales se dejaron escurrir, determinando así el peso fresco de la muestra, para cuantificar el porcentaje de humedad del suelo. Posteriormente, las muestras se secaron al aire libre por espacio de dos (2) semanas y se midió el peso seco. Luego fueron tamizadas (con un tamiz de 2mm) para obtener las fracciones finas del suelo (menores de 2mm), a las que se les determinaron las siguientes variables: % de Materia Orgánica vía seca (Jackson, 1982), Cationes Cambiables (Anderson & Ingram, 1993), textura del suelo (U.C.V. 1993), concentración de hierro y manganeso (extracción con DTPA), y % nitrógeno total (método Kjendhal).

Para el caso de las muestras colectadas en los tubos PVC, se registraron sus pesos húmedos y posteriormente fueron dejadas secar en una estufa a 40°C por espacio de tres semanas, hasta obtener un peso seco constante. Gracias a estas mediciones y a las realizadas con la muestra fresca, se determinó la densidad aparente y el porcentaje de espacio poroso de los suelos de las distintas zonas del humedal.

Caracterización físico-química del suelo:

- pH y Conductividad eléctrica:

A la fracción final del suelo, se le determinó el pH (relación suelo:agua) y la conductividad, para ello se utilizó un agitador magnético, una centrífuga, un pH-metro tipo Orión Modelo 250 A, marca BICASA y un conductímetro modelo BE 32/R marca BICASA.

-Textura del suelo:

La textura del suelo se determinó por el método de Bouyocous o método del Hidrómetro, el cual proporciona los contenidos de arena, limo y arcilla. Con este método, el suelo es tratado con una solución dispersante (fosfato de sodio) y mezclado en una batidora con el objeto de individualizar las partículas del suelo. El principio básico de este método es la velocidad diferencial de sedimentación que tienen las partículas, la cual es definida por la ley de Stokes (U.C.V. 1993).

-Materia Orgánica:

La cantidad de materia orgánica se determinó a través del método de vía seca, el cual consiste en la ignición del suelo en una mufla a 500°C por espacio de 2 horas, previo pesado de las muestras. Finalmente se realiza una comparación entre el peso final y el peso inicial de la muestra, obteniendo el porcentaje de materia orgánica presente en el suelo (Jackson, 1982).

-Concentración de Cationes Cambiables:

La concentración de cationes cambiables no es una propiedad del suelo que sea independiente de los parámetros y condiciones por la cual es medida, de modo que, los resultados pueden variar dependiendo del método a utilizar. Por ello, las concentraciones de los cationes cambiables que se encuentran en el suelo, se determinaron mediante el método de Anderson & Ingram (1993), que consiste en el desplazamiento de cationes con Acetato de Amonio 1M a pH 7. Esto debido a que se obtienen mejores resultados al momento de explicar el comportamiento del suelo. Los resultados fueron medidos en cmol/Kg.

-Concentración de Nitrógeno Total

El nitrógeno total fue medido mediante el método Kjendahl y expresado en porcentaje del peso seco del suelo.

-Metales Pesados:

La extracción de los metales pesados se realizó mediante el método de extracción por medio de una solución extractora (DTPA). Para ello, se colocó en un tubo de agitación 5g de suelo y 25ml de solución extractora. Luego se procedió a agitar las muestras durante dos horas y posteriormente se filtraron por gravedad utilizando papel de filtro Whatman nº 42 y en la solución filtrada se determinó el Fe y el Mn, mediante un espectrómetro de emisión atómica.

- Análisis de los datos:

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron expresados de la siguiente manera:

- suelo en época de sequía (S.S) y suelo en época de lluvia (S.H)
- Porcentaje de Materia orgánica (% MO)
- Densidad Aparente (D.A) medida en g/cm^3
- Porcentaje de Espacios porosos (% E.P)
- Porcentaje de Humedad (% humedad)
- Potencial Redox (Eh) medido en mV
- Concentración de Nitrógeno total (% de N-total)
- Concentración de Hierro ([Fe]) y Manganeseo ([Mn]) medidas en mg/Kg
- Conductividad eléctrica (CE) medida en $\mu\text{s/cm}$
- Concentración de cationes cambiabiles (CC) medida en cmol/Kg

Para determinar si hubo diferencias en las variables físico-químicas del suelo se aplicó un Análisis de varianza (ANOVA) de una vía (gradiente de profundidad), previa comparación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza (Daniel 2002). De no cumplirse los supuestos, se empleará un ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis (Siegel y Castellan, 2001): por una sola vía (gradiente de profundidad).

Para explorar simultáneamente las relaciones entre las variables fisicoquímicas registradas en el suelo y aquellas medidas "in situ", se aplicó un análisis de componentes principales (Afifi y Clark, 1984) con el programa Past (Hammer, 2001) previamente estandarizando la matriz de datos debido a que las variables físico-químicas tienen unidades distintas. Para determinar si hay combinaciones particulares de estas variables que se asocien con cada comunidad vegetal, se utilizará un Análisis Discriminante (Afifi y Clark, 1984, Neff y Marcus 1980), que se realizará con el programa Statistica para Windows v.8.0 (StatSoft 2007).

- Descripción de la vegetación:

En la tabla 1 se muestran las características de la vegetación a lo largo del gradiente de profundidad del humedal herbáceo. El área de estudio se encontraba claramente constituida por 5 zonas: la primera de ellas (zona 1) dominada en un 100% por *Heliconia marginata*. En la segunda zona se encontró una cobertura del 80% de la especie *Polygonum acuminatum* (1), desplazando de manera significativa a *H. amplexicaulis*. Además de *P. acuminatum*, se observó la presencia de *Mikania micrantha* y *Ludwigia octovalvis*, individuos aislados de *H. amplexicaulis*. La profundidad de la capa de hojarasca presente en el suelo fue de 10 a 12 centímetros.

En la tercera zona, la presencia dominante de *Polygonum acuminatum* (2) fue de un 60% de cobertura, con un 20% de *Ludwigia octovalvis* y un 10% de *H. amplexicaulis*. La especie *M. micrantha*, recubría hasta un 80% a *P. acuminatum* (2). La profundidad de la capa de hojarasca presente en el suelo fue de 15 centímetros de profundidad.

Cabe destacar que de acuerdo a estudios previos (Feo 2002), las zonas 2 y 3 presentaban un 100% de cobertura por parte de *H. amplexicaulis*.

La zona 4 se vio dominada por la especie *Scleria microcarpa* en un 70%, con presencia en un 5% de *M. micrantha*, individuos aislados de *H. amplexicaulis*. La profundidad de la capa de hojarasca en esta zona fue de aproximadamente 20cm.

Por último, la zona de bosque (zona 5) caracterizada por una gran variedad de especies de árboles tales como: *Attalea butyracea* (Palma real), *Brownea grandiceps* (Rosa de montaña), *Bathysa pittier* (Lengua de vaca) y *Lecythis ollaria* (Coco de mono), entre otras. Es importante destacar que ninguna de estas plantas es usada en esta zona como plantas medicinales, más sin embargo, si son usadas para fabricar muebles y casas de bahareque.

Este bosque presentó un área aproximada de 30 X 30 metros. La cobertura del dosel semicerrado fue de un 100%, con dos estratos arbóreos de 25 a 35 m de altura. En el piso del bosque húmedo tropical se encontraron plantas herbáceas y enredaderas debido a la falta de luz.

Tabla 1. Características de la zona lo largo de un gradiente de vegetación en un humedal herbáceo (El Clavo, Edo. Miranda).

| ZONA | ESPECIE DOMINANTE | COBERTURA DE LA ESPECIE | OTRAS ESPECIES |
|--------|--|-------------------------|--|
| ZONA 1 | <i>Heliconia marginata</i> | 100% | - |
| ZONA 2 | <i>Polygonum acuminatum</i> (1) | ± 80% | <i>M. micrantha</i> |
| ZONA 3 | <i>Polygonum acuminatum</i> (2) | ± 60% | <i>L. octovalvis</i> , <i>M. micrantha</i> <i>Leguminosa</i> , <i>H. ampleuxicaulis</i> |
| ZONA 4 | <i>Scleria microcarpa</i> . | ± 70% | <i>H. ampleuxicaulis</i> , <i>M. micrantha</i> , <i>P. acuminatum</i> |
| ZONA 5 | <i>Attalea butyracea</i> <i>Brownea grandiceps</i> <i>Lecythis ollaria</i> | ± 100% | Arboles mayores de 25 Arbustos mayores de 3m |

NOTA: ± = aproximadamente

- **Micro topografía del terreno:**

La Fig. 7, muestra mediciones de la profundidad del terreno durante el período de muestreo. En la zona 2, la cual, se encuentra dominada por la especie *P. acuminatum*, la profundidad del terreno alcanza los 20cm con respecto a la zona 1 (0 cm); luego, la zona 3 el nivel del suelo vuelve a cero centímetros, hasta llegar a la zona 4 donde se encontró otro declive en el terreno de aproximadamente 8cm de profundidad. Por último se presenta una disminución del declive del terreno hasta llegar a la zona 5 que por su topografía mas elevada, se iguala la profundidad del terreno con respecto a la zona 1.

- **Profundidad de la Lamina de Agua:**

La Fig.8 muestra las mediciones de la profundidad de la lamina del agua durante el período de muestreo, la cual varió drásticamente entre la época de sequía y la época de lluvia. Para el mes de noviembre(período seco), la profundidad media varió entre 0 a 10 cm. En el mes de junio (período de lluvia) la profundidad del agua varió significativamente, registrandose un valor mínimo de 20 cm y un máximo de 58 cm. De esta manera el humedal presentó un comportamiento bimodal, con dos períodos marcado. Estadísticamente se logró determinar que si hubo diferencia significativa entre los períodos de sequía y lluvia ($p < 0.05$).

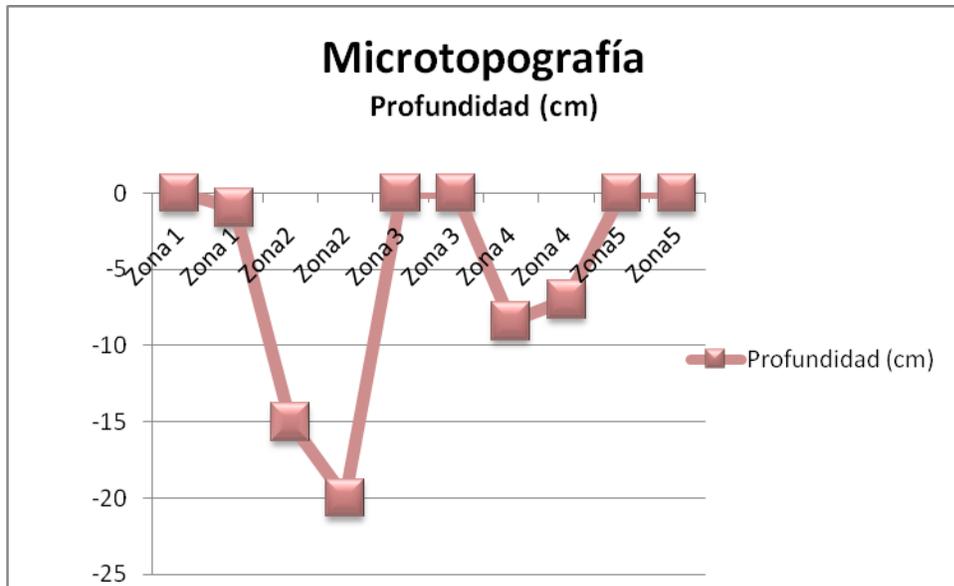


Fig 7. Microtopografía del terreno: Variación de la profundidad del terreno (cm) durante el período de muestreo.

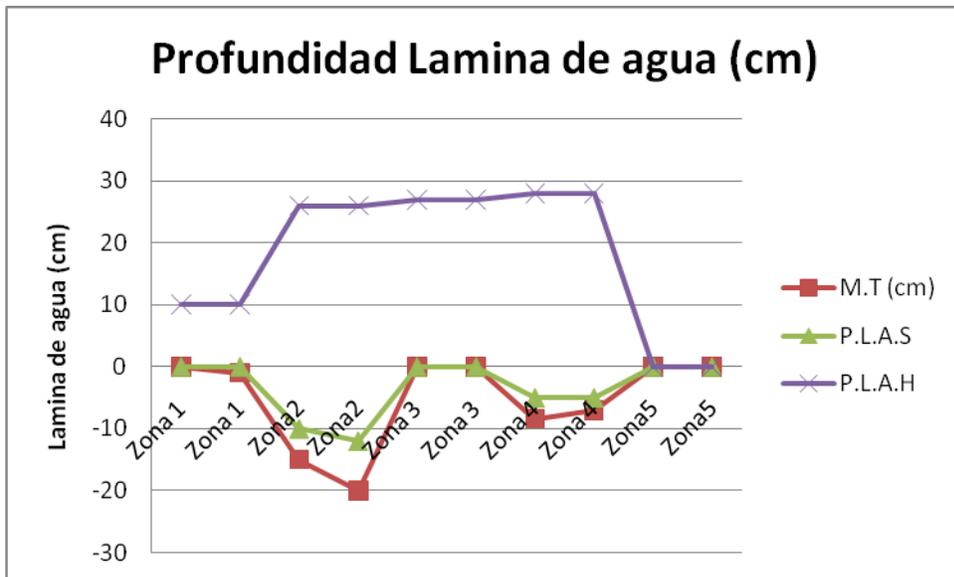


Fig 8. Variación de la profundidad de la lamina de agua (cm) con respecto a la microtopografía, durante el período de muestreo. *M.T:Microtopografía; P.L.A.S: profundidad del agua época de sequía; P.L.A.H: profundidad de agua época de lluvia*

- **Parámetros físico-químicos in situ:**

En la tabla 2 se presentan los resultados tanto del potencial Redox en la superficie y a los 10 cm de profundidad para las distintas zonas del humedal, así como también la saturación del oxígeno y el oxígeno disuelto en el agua: Se puede destacar que el menor valor del potencial redox a los 10cm de profundidad se obtuvo en la zona 2, que es la zona donde se presenta la mayor profundidad de la lámina de agua. De igual manera se observa que los valores de saturación de oxígeno y oxígeno disuelto fueron poco variables entre cada una de las zonas, aunque pueden ser vistos como valores elevados en comparación a los registrados por Suarez (2010) en el mismo humedal con una media de 0.39 mg/L.

Tabla 2. Valores medios del Potencial Redox en la superficie del agua (sup) a los 10 cm de profundidad, durante el período de lluvia (S.H) en las zonas estudiadas.

| zonas | Redox sup (mV) | Redox prof 10cm (mV) |
|----------|----------------|----------------------|
| 1 | 46,9 | -142 |
| 2 | 3,1 | -229,3 |
| 3 | -228,5 | -173,7 |
| 4 | 10,8 | 11 |
| 5 | - | - |
| promedio | -33,54 | -106,8 |

- **Prámetros Físico-químicos del suelo:**

- **pH y Conductividad:**

Temporalmente tanto el pH como la conductividad eléctrica disminuyen uniformemente sobre todas las zonas estudiadas a medida que aumenta la profundidad de la lámina de agua

(época de lluvia). A su vez, las zonas 1 y 5 fueron las que presentaron los menores valores de conductividad eléctrica en ambos períodos (Figuras 9A y 10A). Especialmente no se observan cambios significativos entre cada una de las zonas tanto para el pH ($H=8.58$; $gl=4,20$; $P=0.72$) como para la conductividad eléctrica (figuras 9B y 10B). Sin embargo, la tabla 9 refleja que en todas las zonas y en ambos períodos, los valores de pH son distintos (nivel p de significancia alto), con excepción de la zona 2 con respecto a las zonas 3 y 4 en época de lluvia. Así mismo, no difiere las zonas 4 respecto a la zona 1 en temporada de sequía. Estadísticamente el promedio de CE de todas las zonas con relación a los períodos de lluvia y sequía no fue significativa ($H=4.34$; $gl=4,20$; $p=0.36$); Por su parte, la tabla 10 muestra que los valores de CE estadísticamente significativos para todas las zonas en ambos períodos por lo que la conductividad eléctrica es heterogénea en todos los suelos.

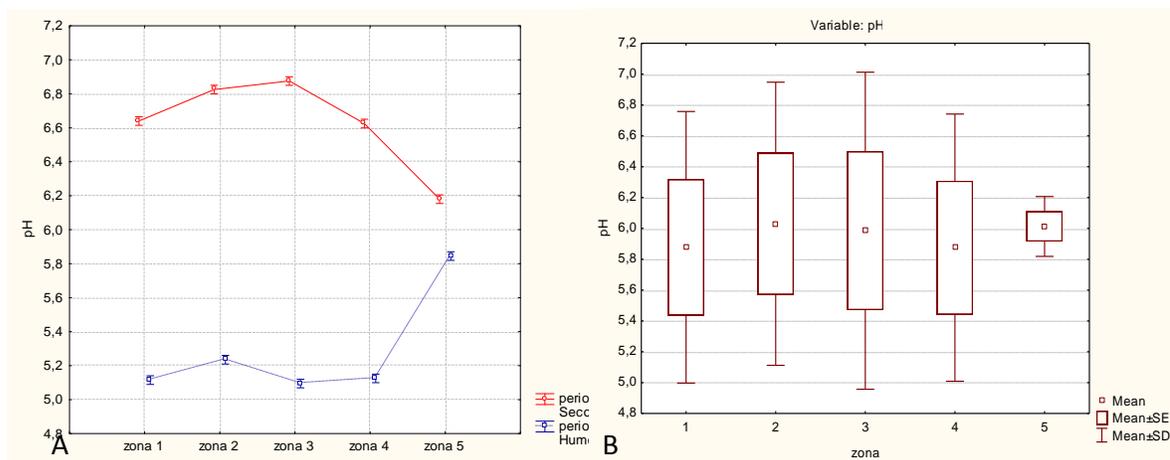


Fig 9.A:Variación del pH de las zonas estudiadas durante los períodos estudiados Lluvia (ll) y sequía (s). **B:** Cajas gráficas representativas del nivel de significancia de cada una de las zonas en ambos períodos.

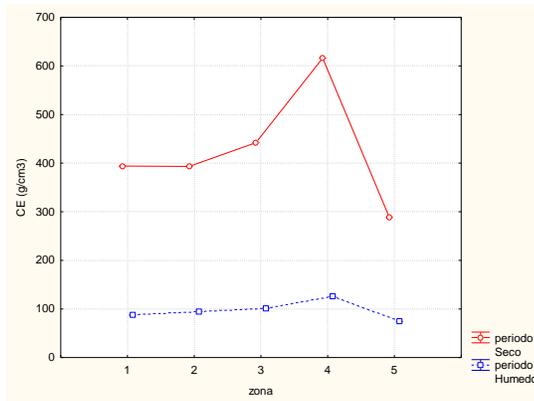


Fig 9:Variación de CE de las zonas estudiadas durante los períodos estudiados lluvia (ll) y sequía (s).

Textura del suelo:

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la textura del suelo en las zonas estudiadas. La textura predominante en la zona de vegetación herbácea es arcillosa, obteniendo el valor mayor en la zona 2 con un 59.2% de arcilla (zona de mayor inundación). Por el contrario en la zona de bosque, la textura del suelo resultó franco-arcillosa, con un 31.2% de arcilla y un 36% de limo.

– Densidad Aparente y porcentaje de espacios porosos:

La densidad aparente se refiere a la relación entre el peso seco de una muestra de suelo y el volumen que ocupó dicha con su ordenamiento natural. La densidad aparente varió entre 0.61 y 1.47 g/cm³ (Tabla 4). Entre todas las zonas, en el período de sequía los valores variaron entre 0.78 y 1.44 (g/cm³), mientras que para en el período de lluvia la variación estuvo entre 0.61 y 1.47 (g/cm³), siendo la relación entre la zona 3 y la zona 5 estadísticamente significativa (tabla 11). En la figura 12 se observa la tendencia positiva al incremento del valor de densidad aparente, obteniéndose los valore menores en la zona 1 y los valores mayores en la zona 5.

Estadísticamente el promedio de la DA de todas las zonas con relación a los períodos de lluvia y sequía fue ligeramente significativa ($H=14.75$; $gl=4,20$; $P=0.052$), sin embargo zonas 3 y 5 los valores entre las distintas épocas si difieren significativamente de las demás (Tabla 11).

En cuanto al porcentaje de espacios porosos, la tabla 4 presenta los valores para cada una de las zonas en cada uno de los períodos estudiados. El promedio de los valores para cada época indica una disminución en el valor del porcentaje en la época de sequía. También se observa que lo valores mayores fueron obtenidos en la zona 5 la cual presenta un suelo franco-arcilloso.

- Porcentaje de Humedad del suelo:

La Tabla 4, muestra que para todas las zonas estudiadas hubo una disminución en cuanto al porcentaje de humedad con respecto a los dos períodos. La mayor variación del porcentaje de humedad se encuentra en la zona 3 (suelo saturado), con un valor mínimo de 29.07% y un máximo de 50.61% (Fig 11). De igual forma se observa que el menor valor de porcentaje de humedad se presenta en la zona 5 (zona de bosque), donde se presenta un tipo de suelo franco-arcilloso.

Tabla 3. Variación de la textura del suelo en época de sequía (S.S) y de lluvia (S.H).

| ZONA | Calculo | | |
|-------------------------|----------|------|------------------|
| Zona 1 heliconia m. | %Arcilla | 55,2 | Arcilloso |
| | %Arena | 22,8 | |
| | %Limo | 22 | |
| Zona 2 Polygonum a. (2) | %Arcilla | 59,2 | Arcilloso |
| | %Arena | 16 | |
| | %Limo | 24,8 | |
| Zona 3 Polygonum a. (3) | %Arcilla | 53,2 | Arcilloso |
| | %Arena | 22 | |
| | %Limo | 24,8 | |
| Zona 4 Scleria m. | %Arcilla | 55,2 | Arcilloso |
| | %Arena | 16 | |
| | %Limo | 28,8 | |
| Zona 5 Bosque | %Arcilla | 31,2 | Franco Arcilloso |
| | %Arena | 32,8 | |
| | %Limo | 36 | |

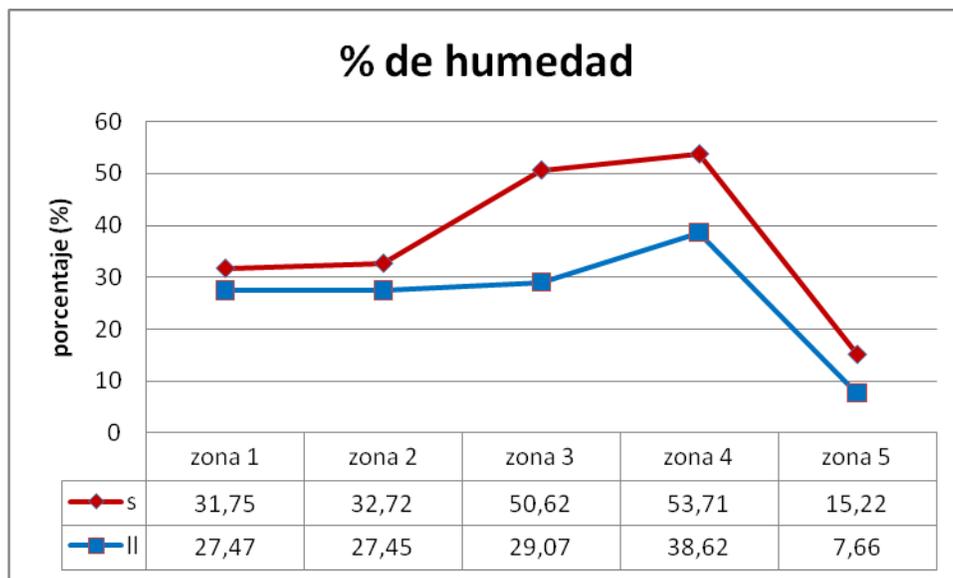


Fig 11. Variación del % de humedad durante el estudio. Ll: lluvia; S: sequía

Tabla 4 Densidad aparente del suelo (D.A), % Materia orgánica (%MO), % de humedad y % de espacios porosos, entre las distintas zonas y épocas de estudio.

| zonas | SEQUIA | | | | LLUVIA | | | |
|--------------------------|--------|-------|-----------|-------|--------|-------|-----------|-------|
| | DA | MO | % humedad | %EP | DA | MO | % humedad | %EP |
| 1 | 0,78 | 22,39 | 31,75 | 22,6 | 0,61 | 43,79 | 27,47 | 28,94 |
| 2 | 0,95 | 18,05 | 32,72 | 28,59 | 0,77 | 25,82 | 27,46 | 35,28 |
| 3 | 1,41 | 23,8 | 50,61 | 43,1 | 1,16 | 20,8 | 29,07 | 52,38 |
| 4 | 1.19 | 22,58 | 53,7 | 36,62 | 0,98 | 45,95 | 38,61 | 44,17 |
| promedio zonas herbáceas | 0,97 | 21,7 | 42,19 | 32,72 | 0,88 | 32,9 | 30,65 | 40,19 |
| 5 | 1,44 | 14,6 | 15,2 | 54,74 | 1,47 | 22,86 | 7,66 | 53,43 |

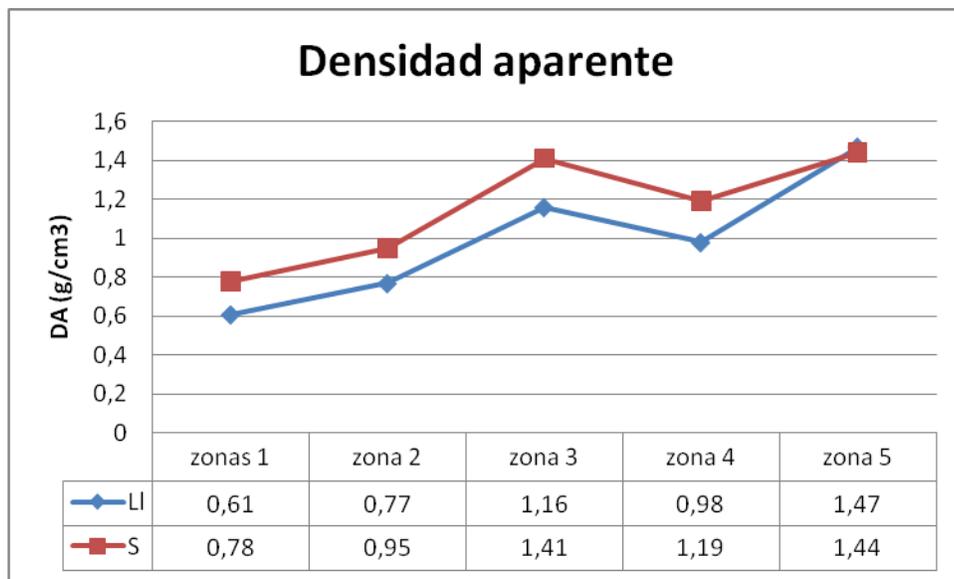


Fig 12. Variación de la Densidad Aparente del suelo durante el período de estudio.

- Porcentaje de Materia Orgánica:

La Tabla 4 y la figura 13, muestra los valores del porcentaje de materia orgánica encontrado en cada una de las zonas de los distintos períodos estudiados en el humedal. Se observa que en el período de sequía, el porcentaje MO disminuye con respecto de lluvia. Pero los porcentajes de materia orgánica no difieren significativamente entre ambos períodos el períodos ($H= 5.25$; $gL=4,20$; $P=0,2$), sin embargo existen diferencias significativas entre distintas zonas del humedal y las épocas estudiadas (tabla 12).

- Porcentaje de Nitrógeno total:

La Fig 14 muestra la concentración de nitrógeno total del suelo entre zonas y temporadas estudiadas, la cual varió entre 1.4% y 2.8%. La concentración de N-Total (%) en el suelo, tanto para el período de sequía, como para el período de lluvia, tiende a aumentar a medida que se llega a la zona 5 (zona de bosque). Entre ambos períodos se observan diferencias significativas ($H=11.68$; $gL=4,20$; $P=0.02$), más aún, hubo diferencias significativas entre las zonas 4 y 5 en las distintas épocas (Tabla 13).

- Concentración de Cationes Cambiables:

Las Figuras 15, 16 y 17 representan las variaciones de Ca, Mg, K y Na para las distintas zonas del humedal en los distintos períodos de estudio. Hubo un aumento significativo en la concentración de los cationes Ca, Mg, Na en el período de lluvia con respecto al período de sequía, sin embargo la concentración de Ca aumentó en el período de sequía para la zona 1 (Fig 15). También se observa el comportamiento poco variable en la concentración de potasio

para cada una de las zonas durante ambos períodos de estudio (Tabla 6). De manera estadística variaciones de significancia ($p < 0.05$, tabla 6), para todos los cationes y para ambos períodos estudiados. La tabla 5 representa la sumatoria de todos los cationes cambiables para las distintas zonas y temporadas estudiadas. Se observa la disminución significativa de las concentraciones en la temporada de sequía así como también, que los valores entre las zonas para cada uno de las temporadas no varía considerablemente con excepción de la zona 1 en época de sequía con un valor total 12.93 cmol/Kg (tabla 5), siendo este valor significativo con respecto a las demás valores en esta temporada.

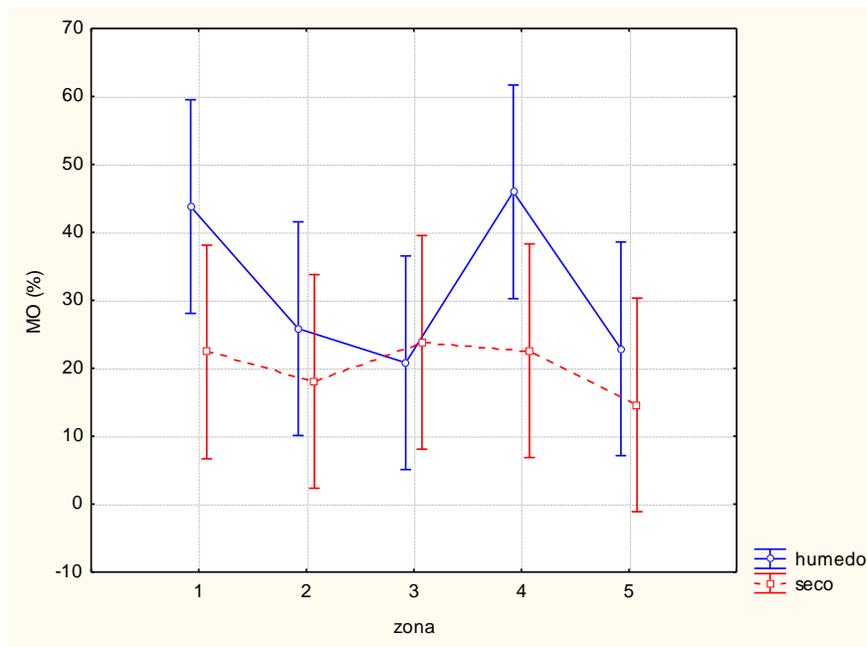


Fig 13. Cajas gráficas de la Materia Orgánica del suelo durante el período de estudio.

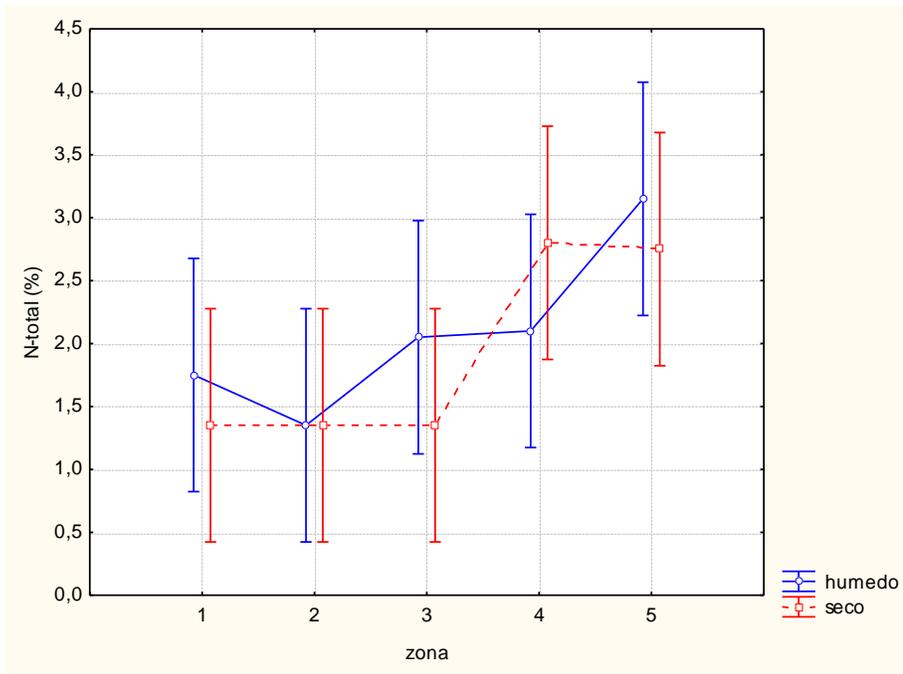


Fig 14 a. Concentración de N-total respecto a las zonas. **Fig 14 b** Concentración de N-Total entre zonas y entre temporadas.

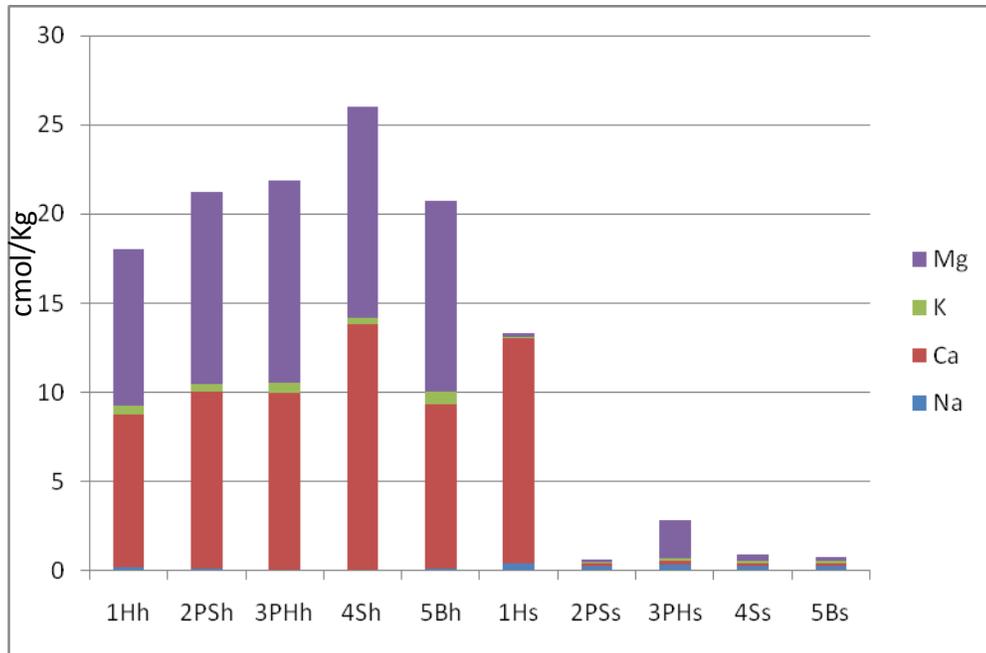


Fig 15. Concentración de los Cationes Cambiables entre temporadas a lo largo del gradiente. *Época de lluvia:* 1Hh-zona 1. 2PSh-zona 2. 3PHh: zona 3. 4Sh: zona 4. 5Bh: zona 5. *Epoca de sequía:* 1Hs-zona 1. 2PSs-zona 2. 3PHs: zona 3. 4Ss: zona 4. 5Bs: zona 5

Tabla 5. Sumatoria de las Cconcentraciones de Cationes cambiables estudiados en los períodos de lluvia (S.H) y sequía (S.S) en las zonas estudiadas

| zonas | SEQUIA | LLUVIA |
|----------|--------|--------|
| 1 | 12,93 | 17,83 |
| 2 | 0,35 | 21,09 |
| 3 | 2,5 | 21,83 |
| 4 | 0,62 | 25,94 |
| 5 | 0,55 | 20,61 |
| promedio | 3,39 | 21,46 |

Tabla 6. Nivel de significancia para cada uno de los cationes interciables entre zonas (Prueba t de student)

| Zonas | Ca | K | Na | Mg |
|------------------|--------|-------|------------|------------|
| Prueba t (<0.05) | 0,0005 | 0,002 | 9,2131E-07 | 1,4839E-13 |
| Zona 1 | 0,03 | 0,11 | 0,06 | 0,007 |
| Zona 2 | 0,017 | 0,053 | 0,18 | 0,008 |
| Zona 3 | 0,007 | 0,12 | 0,02 | 0,008 |
| Zona 4 | 0,02 | 0,11 | 0,082 | 0,024 |
| Zona 5 | 0,012 | 0,24 | 0,001 | 3,6028E-07 |

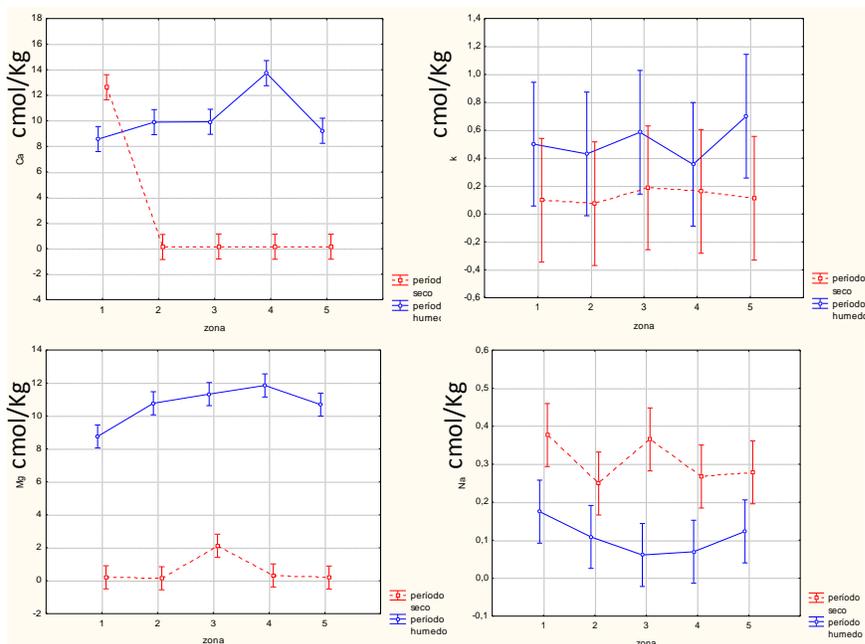


Fig 16. Variación de las concentraciones de los cationes cambiables entre las zonas durante el período de estudio

- Concentración de Metales Pesados (Fe y Mn)

Las concentraciones de metales pesados permiten revelar ciertas condiciones y características que presentan los suelos inundados. En este caso las Figuras 18 y 19, señalan que para la época de lluvia, el hierro aumentó en su concentración para todas las zonas exceptuando la zona 5. En el caso del Manganeseo no se observa una tendencia característica, sin embargo en la zona 5, aumentó la época de lluvia significativamente. En cuanto al nivel estadístico, no se observan cambios significativos entre los dos períodos ($p > 0.05$, tabla 7), pero si entre todas las zonas exceptuando la zona 3 para el hierro y la zona 2 para el manganeseo. (tablas 14 y 15).

Tabla 7. Nivel de significancia del Hierro (Fe) y el Manganeseo (Mn) durante el período de estudio. (Prueba t de student)

| Zonas | [Fe] (mg/KG) S.S | [Fe] (mg/KG) S.H | t student Fe | [Mn] (mg/KG) S.S | [Mn] (mg/KG) S.H | t student Mn |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| Prueba (<0.05) | | | 0,0772 | | | 0,1405 |
| Zona 1 | 600.16 | 810.07 | 0,017 | 30.32 | 37.48 | 0,0081 |
| Zona 2 | 411.38 | 724.26 | 0,00014 | 61.58 | 37.23 | 0,00052 |
| Zona 3 | 649.08 | 807.54 | 0,0022 | 56.27 | 83.98 | 0,0076 |
| Zona 4 | 683.54 | 684.87 | 0,391 | 58.72 | 34.05 | 0,004894 |
| Zona 5 | 180.10 | 217.15 | 0,0003 | 66.73 | 213.8 | 0,00069 |

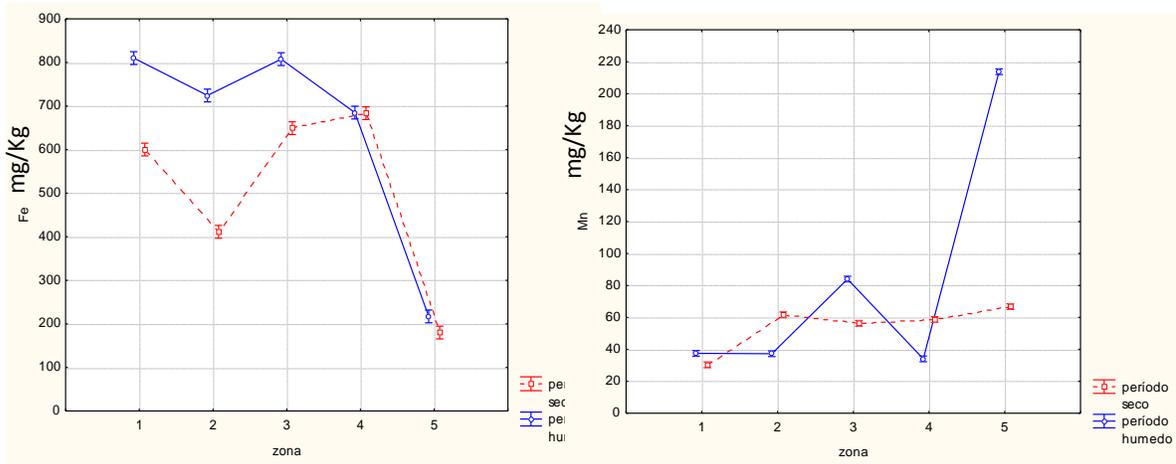


Fig 17. Variación entre las concentraciones de Hierro y Manganeso durante el período de estudio

- Análisis de componente principal (APC):

Este tipo de análisis permite reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos y a su vez permite determinar el número de factores explicativos para este conjunto. En la Figura 19, se observa un APC del sistema el cual acumuló un 80.41% de varianza en los dos primeros ejes expresando los principales factores que afectaron el sistema en el primer eje, mientras que las variaciones menores fueron ubicadas en el segundo eje (Tabla 12).

En la Figura 19, cada punto representa una zona estudiada en cada una de las temporadas, por ejemplo: 1Hs se relaciona con la zona de *H. marginata* en época de sequía. Estos puntos pueden proyectarse desde el origen de coordenadas describiendo un vector que indica el sentido en el que se incrementa la abundancia de la especie dominante en las zonas.

Gracias a este análisis se puede destacar la influencia, de manera positiva del pH, la conductividad eléctrica, el sodio y la materia orgánica. Así como la asociación de manera

negativa del Potasio, el Magnesio y el Calcio, con respecto a la mayor fuente de variabilidad del sistema.

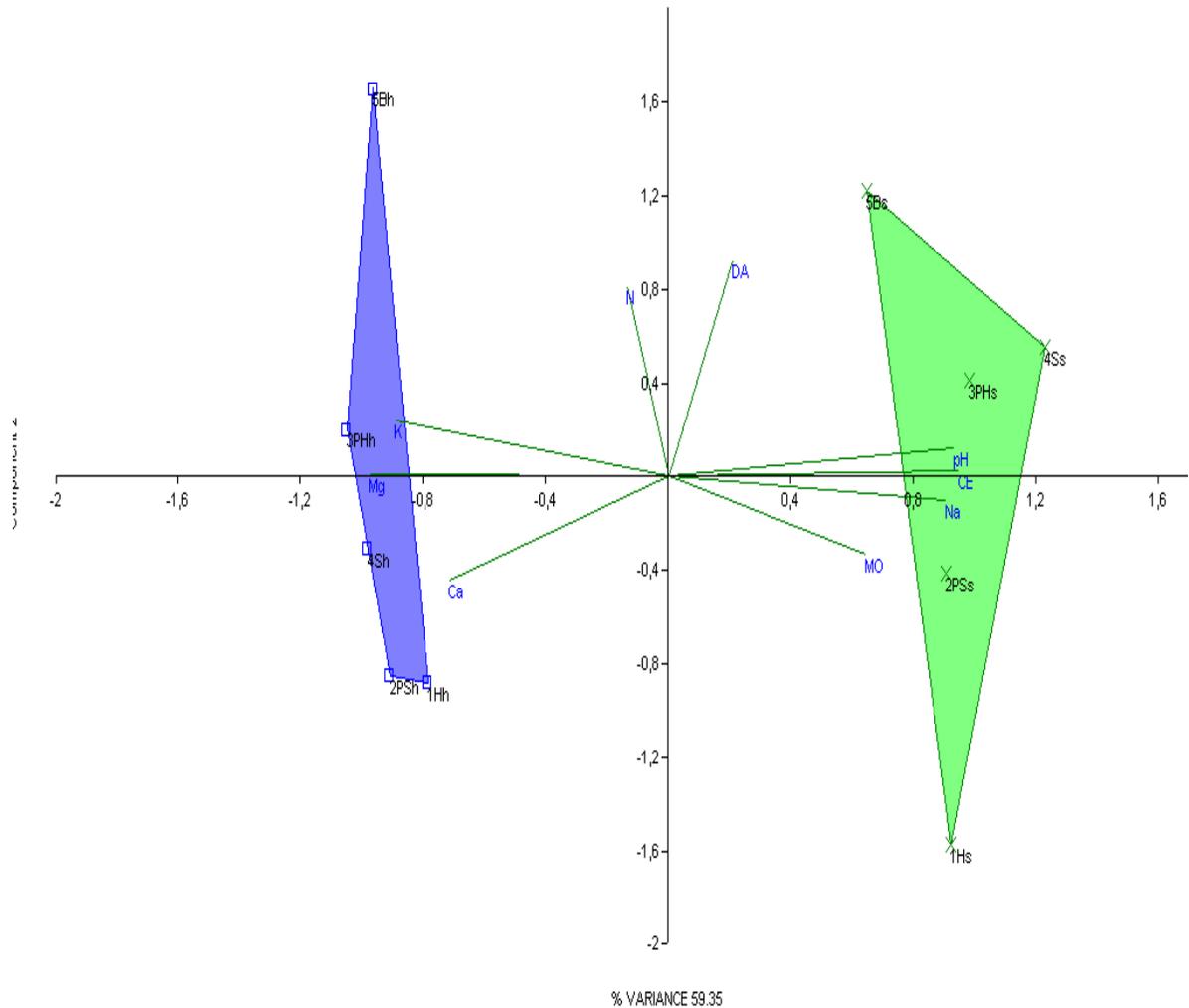


Fig 18. Análisis de componente principal: representando las variables sobre los dos primeros componentes principales. 1Hh: zona 1-época de lluvia; 2PSh: zona 2-época de lluvia; 3 PHh: zona 3-época lluvia; 4 Sh: zona 4-época lluvia; 5Bh: zona 5-época lluvia; 1Hs: zona 1-época de sequía; 2PSs: zona 2-época de sequía; 3 PHs: zona 3-época sequía; 4 Ss: zona 4-época sequía; 5Bs: zona 5-época sequía

DISCUSION

Tal y como lo indican Mitsch y Gosselink (2007), la variabilidad del suelo de los humedales herbáceos continentales así como, la distribución de su vegetación, depende tanto de su hidrología como del ambiente fisicoquímico presente. El ingreso de agua y materia orgánica a través de las distintas entradas, induce a un cambio en la físico-química del sistema, lo que permite obtener una gran gama de posibilidades químicas, y su vez, distinguir a este tipo de humedales de otros sistemas inundables.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten aseverar la relación intrínseca que existe entre la hidrología del humedal y los cambios encontrados en los parámetros físico-químicos estudiados, provocados por la entrada de materiales en la época de lluvia, gracias a que este humedal puede considerarse un sistema abierto. Este aporte de materiales se debe a la inundación del río aledaño (río Tuy), a la escorrentía de las tierras adyacentes y quizás por aguas subterráneas (Feo 2002).

Durante la inundación de un humedal, la duración y nivel del agua dependen en gran medida de la altura relativa de la unidad ecosistémica. Para entender los procesos espaciales en el ecosistema es preciso conocer la dinámica del agua en el área (Chacón-Moreno 2007). En la relación profundidad del agua-microtopografía del terreno (Fig 8), se observa el aumento en la profundidad de la lámina de agua en la temporada de Lluvia, mientras que en el lapso de sequía, pocas áreas se cubren de agua, siendo en el periodo húmedo, cuando aproximadamente toda el área estudiada se encontraba inundada. El bosque húmedo fue la única zona en la cual nunca se observó la presencia de una lámina de agua. Este cambio

importante en la hidrografía del sistema nos permite, en cierta manera, entender y teorizar, los cambios de los parámetros físico-químicos y de cierta manera, asociarlos con la distribución de la vegetación.

- **Parámetros físicos del suelo:**

- Densidad aparente, % espacios porosos del suelo y % de humedad:**

La densidad aparente (DA) del suelo se refiere a la relación entre el peso seco de una muestra de suelo y el volumen que ocupó dicha muestra, con su ordenamiento natural. Por lo tanto la DA variará en función de la textura, del estado de agregación, del contenido de materia orgánica, del manejo que recibió el suelo, de su contenido de humedad (sobre todo en suelos con materiales expandibles) <http://www.agriculturadeprecision.org>

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades: la real (relación peso-volumen de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (que toma en cuenta el volumen de los poros). Esta última refleja el contenido total de macro y micros poros presentes y es importante para el manejo de los suelos, ya que denota el nivel de compactación y por ende la facilidad con que se produce la movilización de aire, agua y nutrientes.

Podemos afirmar que cuanto más elevado es el marcador de la densidad aparente (DA) del suelo, mayor estructura tiene el suelo o lo que es lo mismo, mayor capacidad de retención de agua, mayor contenido de materia orgánica (M.O.), etc. Cuando la DA es elevada y a esto se le suma una alta proporción de limo y arcilla en la composición del suelo, se está en presencia de los llamados suelos pesados, con una tendencia manifiesta al planchado y son

los que presentan graves dificultades en la captación y almacenamiento de agua, en la movilización de los nutrientes y una resistencia importante a la penetración y al desarrollo de las raíces (Micheli, 1982)

Gosselink y col (1984) estudiaron la relación entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica en suelos de un pantano de Louisiana en Estados Unidos, determinando que existe una relación directa entre el contenido mineral del suelo y su densidad aparente, y que también en los suelos de los humedales, la densidad aparente y el contenido de materia orgánica y mineral, puede ser muy variado. Mientras que la textura del suelo fue predominantemente arcillosa a lo largo del humedal estudiado, en el presente trabajo la densidad aparente varió entre 0.6 g/m^3 en la zona 1 y 1.5 g/cm^3 en la zona 5, mientras que el contenido de la materia orgánica estuvo entre 18% y 46% aproximadamente (tabla 4). De manera que se observa una relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros. A medida que incrementan los valores de densidad aparente en el suelo desde la zona 1 hasta la zona 5, para cada una de las épocas, los valores de MO tienden a disminuir. Estos resultados, fueron muy similares a los presentados por Gosselink (1984), lo que sugiere que, en suelos de humedales, la materia orgánica forma una organización estructural con una extraordinaria relación entre la masa y el volumen en donde, la cantidad de material mineral presente que se infiltra en estas estructuras, puede que determine la densidad aparente (Gosselink, 1984).

Esta misma relación fue establecida en 1979 por Rainey quien en un estudio con suelos de un pantano en el Golfo de México, calculó la densidad aparente a partir del contenido orgánico y mineral y de la lectura de los suelos, usando complejas ecuaciones y derivadas, determinando que a menor cantidad de materia orgánica, mayor es el valor de DA.

En relación al porcentaje de espacios porosos del suelo, a medida que aumenta la densidad aparente, se reduce la porosidad del mismo, así como también el intercambio de gases y la infiltración, lo que puede influenciar en la distribución de la vegetación (Passoni y col., 2009). Los mismos resultados fueron encontrados en el humedal aquí estudiado, en donde en época de lluvia, se encontraron los mayores valores de densidad aparente y los menores valores en el porcentaje de los espacios porosos del suelo (Tabla 4). Sin embargo a medida que se avanzó a lo largo del transecto desde la zona 1 hasta la zona 5 en ambas épocas, se observó una relación directamente proporcional entre la DA y el porcentaje de espacios porosos, con una tendencia al aumento de ambos.

En los humedales también se generan cambios en el porcentaje de humedad como resultado de la acción del hidropériodo. Shen Yu y col (2009), estudiando un humedal de New Jersey Estados Unidos, determinaron que los cambios producidos por hidropériodo a lo largo del humedal provocaban variaciones en el porcentaje de humedad, lo que alteraba de forma directa las tasas de mineralización y nitrificación del nitrógeno en mayor medida, que la misma entrada de nutrientes hacia humedal. En estos estudios, además, observaron aumentos en las tasas mineralización y nitrificación a medida que disminuía los valores de humedad del suelo. Esto debido a que en los suelos de los humedales, el ciclaje de este nutriente se ve afectado por la variación en la humedad del suelo, ya que la misma se encuentra directamente relacionada con el potencial Redox del suelo

Pero esto depende a su vez en gran manera del tipo de suelo, ya que, en muchos suelos de humedales, la mineralización del nitrógeno se hace máxima cuando el porcentaje de humedad del suelo alcanza un 58% (Suleutek y col., 2008). Pero este rango de humedad presente, varía debido a la textura y la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

• **Parámetros fisicoquímicos del suelo:**

- **Relación Potencial Redox y suelo**

Ponnamperuma (1972), estableció que la disminución en el potencial Redox (Eh) genera una serie de cambios importantes tales como: la anulación en la formación de NO_3^- , la disminución en la disponibilidad de azufre y zinc, el incremento del hierro y el fósforo y el aumento de la fijación del nitrógeno. De igual manera, las propiedades del suelo influyen de manera importante la cinética del Eh, puesto que en los suelos de los humedales, la presencia de materia orgánica y el bajo contenido de NO_3^- y de MnO_2^- , favorecen la disminución en los valores del potencial redox. Entonces, como resultado de la inundación y la saturación de agua en suelos, se observa un decrecimiento en el potencial de reducción del mismo (Reddy, 2008).

Lo anterior se evidenció en la zona 2 de este humedal, la cual presenta la mayor profundidad del terreno en la época de inundación y que presentó el menor valor de potencial redox de -229.3 mV, a los 10cm de profundidad, lo que indica la presencia un ambiente anaeróbico. Este potencial de reducción refleja la intensidad en la reducción o mejor aún, mide la intensidad de la condición anaeróbica del suelo. En las zonas 1 y 3, se observaron los demás valores negativos de Eh, -142mV y -173.7mV respectivamente (valores muy similares

puesto que ambas zonas presentan la misma profundidad), a diferencia de la zona 4 la cual arrojó un valor positivo, producto presuntamente de un error humano.

El valor negativo del potencial redox, representa una alta actividad de los electrones y además, una intensa condición de anaerobiosis en donde las bacterias anaerobias estrictas reducen ciertos compuestos químicos (por ejemplo, el sulfato a sulfito), intensificando el potencial de reducción (Reddy, 2008). Este investigador indicó que este potencial de reducción puede verse influenciado por la adición de materia orgánica al sistema. En estos suelos, tal y como es este caso (elevada cantidad materia orgánica), el valor aproximado del Eh es de -100mV luego de ciertos días de inundación. En estos casos, los suelos son usualmente limitados en aceptores de electrones (oxidantes), pero contienen gran cantidad de reductantes (dadores de electrones) como lo es la materia orgánica.

Más aún, la influencia de las variables hidrológicas y, la preponderancia del potencial de reducción del suelo sobre las plantas han sido estudiada por diversos investigadores bajo condiciones controladas (Brix y Sorrell 1996, Kludze y DeLaune 1996). Estos estudios permitieron relacionar la riqueza de las especies de distintas zonas con la medida del potencial de reducción. A medida que este potencial aumenta (se hace más negativo), la riqueza de las especies disminuye debido a la poca aireación del suelo y a la escasa adaptación de ciertas plantas a estos ambientes. Condición que pudo haber afectado la riqueza de *H. amplexicaulis* en este humedal (Feo, 2002) quien fue desplazada de las zonas 2 y 3 por la especie *P. acuminatum*

- pH del suelo

Los suelos del humedal aquí estudiado, presentando valores entre 5,8-6,88, muy parecidos a los reportados por Feo (2002) para esta misma zona de estudio (6,4). Contrario a lo esperado, el pH del suelo fue más ácido en la temporada de lluvia. Sin embargo y aunque entre la mayoría de las zonas en ambos períodos estudiados, la diferencia entre los valores de pH fue estadísticamente significativa, a lo largo del gradiente no se observó una tendencia significativa del pH en ninguna de las épocas.

En los humedales, los cambios de pH dependen enteramente de la composición química del suelo y de la inundación. Generalmente el pH de los suelos ácidos aumenta y el de los alcalinos baja (Ponnamperuma, 1984). Sin embargo, la inundación reduce la capacidad de intercambio de gases entre el suelo y la atmosfera, por esto, penetra menos O_2 al suelo y se desprenden mayor cantidad de gases fitotóxicos desde el suelo como CO_2 , metano y etileno, los cuales se acumulan como producto del metabolismo anaeróbico, provocando la disociación del CO_2 en el agua formando ácido carbónico, lo que reduce el pH de los suelos en condiciones de inundación, generando un medio más ácido (Ponnamperuma, 1984).

Batjes (1995), comparó las diferencias entre las capas superiores (primeros 20cm de suelo) y las capas inferiores de dos sistemas inundados (uno a $5^\circ C$ y otro a $20^\circ C$) y observó que durante el período de inundación del sistema a $20^\circ C$, se liberaba una mayor cantidad de Mn^{2+} , Fe^{2+} , PO_4^{3-} y Ca^{2+} en comparación al sistema a $5^\circ C$. A su vez, observó que en el sistema estudiado a $20^\circ C$, el consumo de los ácidos en la primera capa de suelo, era mayor que en las capas inferiores provocando una condición ácida del suelo, lo que puede asociarse con la

producción de ácidos orgánicos (ácidos húmicos, anhídrido carbónicos, entre otros), resultado de la acumulación gradual de detritus producto de la aparición de la columna de agua, que provoca las condiciones anaeróbicas y la lenta descomposición (Batjes 1995)

Eiswirth y Hötzl (1997), determinaron que un mayor tiempo en la permanencia del flujo de agua en este tipo de sistemas, favorecería la disolución de materia orgánica del suelo y posteriormente, incrementaría la oxidación del amoníaco y nitratos, bajo las condiciones aerobias generadas en la parte superior de la columna. Dichos procesos incrementarían el contenido de CO₂ en el agua de los poros y del propio lixiviado, repercutiendo en una disminución del pH del suelo.

- **La conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica de un medio, se define como la capacidad que tiene dicho medio (que por lo general contiene las sales inorgánicas en solución o electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En el presente trabajo, en el período de lluvia se encontraron los menores de conductividad eléctrica en el suelo, resultado similar al reportado por Ortega et. al (2010) en esta misma área de estudio. A su vez y similar a los valores de pH, entre la todas de las zonas y en ambos períodos estudiados, la diferencia entre los valores de CE fueron estadísticamente significativos, sin embargo, a lo largo del gradiente la tendencia de la CE fue al aumento desde la zona 1 hasta la zona 4, con una disminución considerable en la zona 5, aunque estadísticamente esta tendencia no fue significativa.

La relativa contribución de los procesos hidrológicos a los cambios en la concentración de la materia orgánica puede ser debida en parte por la variación temporal en la conductividad eléctrica, la cual permite estimar la concentración de solutos inorgánicos. Cronberg y col. (1996) sugieren que el decrecimiento de la conductividad eléctrica durante los picos de inundación, puede deberse al efecto de dilución de los compuestos inorgánicos y que a su vez la dilución contribuye a la disminución de la concentración de la materia orgánica descompuesta, la cual se produce justo antes del pico de inundación. Inmediatamente después de la inundación y durante el tiempo de sequía, el aumento en la conductividad puede deberse al incremento en la concentración de los compuestos inorgánicos por la evaporación.

Ponnamperuma (1972), señaló que la conductividad eléctrica de la mayoría de los suelos, incrementa con la inundación hasta alcanzar un máximo pero luego decrece hasta un valor estable, el cual varía con el tipo de suelo. Este incremento se relaciona con la movilización del Fe^{+2} y el Mn^{+2} , con la formación de N_{H_4} , HCO_3 y RCOO^- y a su vez, se relaciona con el desplazamiento de los cationes desde los coloides del suelo hacia la solución del suelo gracias a la intervención del Fe^{+2} , Mn^{+2} y NH_4^+ . Esta misma relación puede ser realizada para este humedal estudiado, donde la zona 4 la cual presenta los mayores valores de CE, a su vez muestra los picos máximos de calcio y magnesio (cationes cambiables), mientras que la zona 5 la cual presenta los valores menores de CE, muestra los valores menores de hierro total.

- **La materia orgánica y el suelo:**

La materia orgánica juega un papel importante en la formación del suelo y sus procesos biogeoquímicos, afectando tanto directa como indirectamente las propiedades y la dinámica del suelo. En suelos hídricos, la materia orgánica se comporta como sustrato para la actividad de microorganismos anaeróbicos, por consiguiente, es la causa principal de los cambios característicos en el potencial Redox y en el pH. Por ejemplo, la descomposición de los sustratos orgánicos se encuentra interrelacionada con los cambios sucesivos en la actividad microbiana, por ende, viene dada por la reducción química y bioquímica del suelo y así la disminución del potencial redox. Es por esto que, la descomposición de la materia orgánica es un proceso complejo que se manifiesta a nivel de comunidad, involucrando a múltiples organismos a distintas escalas espaciales y temporales.

Esta descomposición constituye un proceso clave y limitante en los ciclos de macronutrientes por lo que desde épocas pasadas, se ha intentado comprender los mecanismos que lo controlan (Waksman y Tenney, 1928). Un aspecto importante en la biogeoquímica de los humedales es la alta concentración de materia orgánica disuelta (DOM) presente en ellos (Mann y Wetzel 1995), la cual influencia tanto la física como la química de los humedales a través de su dinámica (Zafiriou y col. 1984) y su relación con los metales (Kolka y col., 2001).

Los niveles de materia orgánica (Tabla 4) fueron similares a los reportados por Gordon (2000) para un humedal dulceacuícola lacustrino ubicado en el estado Monagas (38-52%) y también a los reportados por Ortega (2010) en el período de lluvia (34.4%), para el mismo humedal herbáceo de agua dulce ubicado en el Clavo. Esta cantidad elevada de materia orgánica puede explicarse por el hecho de que en condiciones anegadas, se reduce la disponibilidad de oxígeno y su difusión, lo que inhibe la descomposición de la materia orgánica y por ende provoca su acumulación (Larmola y col, 2006). En este humedal estudiado, la cantidad de materia orgánica en la época de inundación fue mayor que en la época de lluvia. Más aún, en las zonas más profunda (zona 2 y 4) es donde se obtuvieron diferencias significativas, lo que corrobora el supuesto de que en las zonas más profundas, se acumula mayor cantidad de materia orgánica. En cuanto al gradiente de profundidad, a medida que se avanzó por el transecto desde la zona 1 hacia la zona 5, tanto en época de sequía como en época de lluvia, se observó una tendencia de la MO a la disminución con excepción de la zona 2 y 4 en época de sequía y lluvia respectivamente.

En este sentido, la acumulación de materia orgánica es determinante tanto en el ciclaje de nutrientes como en el comportamiento de los humedales (Gordon 2001). Más aún, debido a la descomposición de la materia orgánica, se propicia el crecimiento de organismos heterotróficos que a su vez, permiten la incorporación de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes al humedal, modificando así el ciclaje de nutrientes (McKnight y coll. 1985, Qualls y Richardson 2002, Qiu y col. 2003), lo que abre paso a la explicación del aumento de la concentración de nitrógeno en el período de lluvia en el humedal herbáceo de agua dulce.

- **Nitrógeno Total en el suelo:**

Los nutrientes añadidos a los humedales por medio de la inundación, son rápidamente incorporados a las plantas y al detritos y eventualmente, incorporados a la materia orgánica del suelo (Puriveth, 1980; Day, 1982; Davis y van der Valk, 1983). La retención de los nutrientes a largo plazo por la materia orgánica del suelo se ve afectada por numerosos factores ambientales tales como la temperatura, el fuego y más importante, el hidroperíodo.

En el caso del nitrógeno, este se ve afectado debido a su dinámica compleja, dado que depende de la formación de amonio y nitratos, cuyo gradiente de concentración determina el proceso de desnitrificación o pérdida de nitrógeno hacia la atmósfera (Gordon y Feo 2009). Para este trabajo las mayores concentraciones se obtuvieron en la época de lluvia (período de inundación), lo que puede deberse a la predominancia de procesos de amonificación, que permiten la acumulación de nitrógeno en el suelo (Ponnamperuma 1972). Los valores de N-Total fueron muy parecidos a los reportados por Gordon y Feo (2009) que obtuvieron valores de concentración entre 1.13 -2.8%, los cuales a su vez coinciden con los reportados por Oomes y col. (1996) y por Bedford *et al.* (1999) para humedales herbáceos de Norte América.

La concentración de nitrógeno en el suelo para este trabajo incrementó gradualmente desde la zona 1 hacia la zona 5 y del período de sequía (Noviembre) al período de inundación (Junio), lo que coincide con lo obtenido por Gordon y Feo (2009), en el humedal dominado por *H. amplexicaulis*, quienes encontraron igual tendencia para la concentración de N-total en el suelo. La relación positiva entre la concentración de nitrógeno en el suelo con el aumento en la

profundidad de la lámina de agua se atribuye a restricciones en el proceso de desnitrificación (Andersen, 2003). En este proceso, el nitrógeno en forma de NO_3^- se reduce a gas N_2 , el cual pasa de nuevo a la atmósfera (Ponnamperuma 1972). Más aún, en suelos anaerobios, el nitrato es sustituido por el amonio (amonificación), lo que implica disminución en el suministro de nitrato para las plantas (Mitsch & Gosselink 2007), y al mismo tiempo ocurre acumulación de N-amonio debido a restricciones en el proceso de desnitrificación, dando como resultado aumentos en la concentración de N-Total.

La amonificación viene dada por la conversión de N-orgánico, proveniente de los tejidos vegetales y de la materia orgánica, por parte de los microorganismos anaerobios (Patrick 1982). A su vez se limita o se restringe la desnitrificación, proceso que es rápido (Andersen 2003) y que depende de la presencia de nitratos (Reddy y Patrick 1984; Reddy y DeLaune 2008). Asimismo, al ser el nitrógeno un nutriente limitante en suelos inundados, se produce una menor concentración del mismo debido a la disminución de la actividad microbiana en los primeros períodos de inundación (Broadbent y Reyes 1971). La desnitrificación es lenta en suelos con baja proporción de materia orgánica (suelos minerales) (Ponnamperuma, 1972), lo que permite suponer que los resultados de N-total en el suelo de este humedal se deben a los cambios en la profundidad del agua y duración de los períodos de inundación, los cuales influyen en el proceso de mineralización y desnitrificación.

Clement y col. (2005), en su estudio sobre la relación entre el amonio y el Fe^{+3} , observaron una reacción de reducción nunca antes documentada. Estos investigadores lograron medir una producción rápida de NO_2^- y Fe^{+2} . Gracias a esto postularon la hipótesis que bajo condiciones de anaerobiosis, existía un proceso biológico que usaba el Hierro+3 como aceptor de electrones para oxidar el amonio a NO_2 obteniendo así energía. Este Fe, el cual en humedales riparinos se encuentra en elevadas concentraciones, es una vía para la mineralización de la materia orgánica no recalcitrante en sedimentos anaeróbicos. (Roden y col., 1996). Más aún en suelos inundados, las condiciones de reducción influyen la cristalinidad de los óxidos de hierro y usualmente, se bloquea la mineralización del Nitrógeno orgánico en el ciclo del amonio, provocando la subsecuente acumulación del amonio en el suelo (Waring y col., 1964).

- **El Hierro y el Manganeso:**

Es importante destacar que tanto el hierro como el manganeso son elementos abundantes presentes en la tierra, además de ser piezas claves en las reacciones de oxidoreducción de la biosfera y elementos esenciales para un gran número de microorganismos. Estos microorganismos utilizan estos elementos de manera compleja tanto en procesos bióticos como abióticos, tal y como es el caso de la reducción del hierro +3 y el manganeso +4 acoplado a la materia orgánica descompuesta de manera tal que se genera un desbalance en la biogeoquímica del ambiente. Más aún, este cambio en el estatus de oxidación dependen directamente del potencial redox del suelo, por lo que, en zonas anaeróbicas, con bajo potencial redox, se promueve la movilización del hierro y el manganeso hacia zonas aeróbicas (Gotoh y Patrick, 1972)

Como ya se ha reseñado con anterioridad, seguido de la inundación de un humedal, se produce el agotamiento del oxígeno, lo que conlleva al cambio de la respiración aeróbica a la anaeróbica. Como resultado de este proceso, sustancias potencialmente tóxicas tales como Fe^{2+} , NH_4^+ and S_2^- son capaces de acumularse. Adicionalmente, la reducción del Fe^{+3} a Fe^{+2} , puede causar la liberación de PO_4^{3-} el cual originalmente se encontraba absorbido por hidróxidos de hierro (Patrick y Khalid, 1974; Ponnampereuma, 1984), debido a alta afinidad del P hacia el Fe^{+3} . A su vez, se ha demostrado que en sistemas lacustrinos, cantidades extras de fosfatos son liberados debido a la unión S_2^- -Fe (Caraco y col., 1989; Smolders y oelofs, 1993; Roden y Edmonds, 1997; Lamers y col., 1998).

En ambientes anaeróbicos como el humedal estudiado en este trabajo, la disolución del hierro y el manganeso pueden resultar de la disolución de los minerales y de la reducción microbiana y, dependiendo del pH del suelo y de su potencial redox, estos elementos pueden o no permanecer en solución. A su vez, en este tipo de ambientes, estos elementos tienen la tendencia a formar estructuras complejas con la materia orgánica y permanecer en solución por amplios períodos. En suelos con alto contenido de materia orgánica y de arcilla, el contenido de estos elementos es elevado en comparación con suelos orgánicos. Más aún, los suelos con condiciones anaeróbicas, promueven el aumento del hierro y el manganeso disuelto. Para el caso del hierro, esta misma relación puede realizarse en este humedal estudiado, ya que en ambas temporadas, los valores de este metal y los valores de MO fueron directamente proporcionales. A medida que se avanzó en el transecto, se observó que si el porcentaje de MO incrementaba, así también aumentaban los valores de concentración de hierro, a su vez que, a medida que los valores de MO disminuían, la concentración de este metal presentaba el mismo resultado.

Gotoh y Patrick (1972), realizaron experimentos controlados donde pusieron en evidencia la relación directa entre el pH, el potencial redox y la actividad del Fe^{+2} . En esta investigación basada en la determinación de concentraciones de hierro y manganeso de los suelos de un humedal de Missisipi a diferentes pH y potenciales redox, se encontraron incrementos en las concentraciones totales de las de hierro y manganeso a medida que el pH y el potencial redox disminuían. Estos resultados fueron similares a los encontrados en humedal estudiado en este trabajo, donde en la época de lluvia, los valores de hierro y manganeso fueron mayores que en la época de sequía mientras que los valores de pH y Eh disminuyeron. Sin embargo y en cuanto al gradiente estudiado, no se logró evidenciar una relación directa entre estos parámetros

En suelos ácidos, las altas concentraciones de estos elementos puede deberse no solo a la reducción de los mismos, sino también a las condiciones ácidas del medio. A pH 5, es muy probable que el suelo y el agua contengan fracciones tanto de Mn^{+2} como Mn^{+4} , debido a la presencia de H^+ y Al^{+3} dominando los complejos de cationes cambiables, resultando en el desplazamiento de los iones de manganeso hacia el suelo (Gotoh y Patrick, 2000).

Por otro lado, Ann y col. (2000), encontraron que en suelos inundados con alto % de materia orgánica, la concentración de hierro total incrementaba a medida que disminuía el pH y del Eh. Subsecuentemente, un incremento en el Eh, decrecía los valores en la concentración del hierro total debido a la oxidación, resultados similares a los encontrados en el humedal estudiado con relación a las épocas.

- **Concentración de Cationes Intercambiables en el humedal:**

Las propiedades del suelo, durante la inundación, afectan fuertemente las concentraciones de cationes como calcio, magnesio y potasio. Pero, muchos de los humedales entre ellos los arrozales, presentan altas concentraciones de estos cationes ya que la mayoría de estos suelos son inceptisoles y entisoles, ricos en Ca y Mg, e incluso en suelos como ultisoles y oxisoles, las cantidades de estos cationes puede ser significativa. El aumento en la concentración de la mayoría de los cationes cambiabiles en la época de sequía en este humedal, puede ser directamente asociado con el aumento en las concentraciones de Nitrógeno en forma de amonio y el incremento en las concentraciones de Hierro. Según Roden y Wetzel (2003), las altas concentraciones de amonio reportadas en los suelos de los humedales estudiados, no se debe directamente a la descomposición de la materia orgánica sino más bien al aumento en la concentración de los cationes cambiabiles. Esta tasa en la concentración de estos cationes, según los investigadores, era elevada debido a la producción de altas concentraciones de Fe^{+2} .

Por otra parte, el aumento en las concentraciones de calcio presentado en todas las zonas del humedal, menos en la zona 1, puede a su vez explicar el comportamiento del nitrógeno. Banerjee y Mosier (1989) fueron los primeros investigadores en demostrar que en altas concentraciones de calcio, la producción de carbonatos de calcio, producía la lenta formación de C_2H_2 lo que inhibía el proceso de nitrificación y reducía el flujo de NO_2 en suelos y que a su vez, esta pérdida incrementaba las concentraciones de N-Total.

En cuanto al potasio, un elemento ampliamente estudiado pero poco entendido, aunque los valores obtenidos en la época de lluvia no son elevados como el calcio y el magnesio, en relación con los valores obtenidos en la época de sequía, se observó un aumento significativo en las concentraciones de este elemento. Mengel, (1982) indicó que la liberación y por ende, el incremento en las concentraciones de potasio en el suelo se debe principalmente al control ejercido por las partículas de arcillas, las cuales poseen la capacidad de adsorberlo. Greenland y col (1984), indicó que las concentraciones de potasio en la época de inundación aumentan considerablemente debido al desplazamiento o cambio producido en el potasio intercambiable por las altas concentraciones de Fe^{+2} y Mn^{+2} presentes en la solución del suelo.

Todos estos resultados observados por los distintos investigadores fueron similares a los encontrados en el humedal estudiado, el aumento en las concentraciones de hierro, de nitrógeno y de la mayoría de los cationes cambiabiles (exceptuando el sodio), en la temporada de inundación, aunque debido a la falta de ciertas investigaciones (como la forma en la que se encuentra el nitrógeno) solo podemos hacer afirmaciones presuntivas.

La disminución en las concentraciones de Sodio puede ser atribuida a que este es un humedal herbáceo de agua dulce, por lo que las entradas de agua proporcionan el ingreso de esta con bajas concentraciones en sodio.

En cuanto al gradiente estudiado, la tendencia tanto del calcio como del sodio desde la zona 1 hasta la zona 5 es hacia el decrecimiento mientras que el potasio y el magnesio tienden a incrementar. Sin embargo de manera estadística no se presentó ninguna diferencia significativa.

RELACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO Y LA DISTRIBUCION DE LA VEGETACION

Análisis de componente principal (APC):

En esta investigación se aplicó el análisis de componentes principales, con el objetivo de determinar la influencia de las características fisicoquímicas del suelo sobre la distribución de la vegetación en este humedal. Este análisis permitió obtener una visual muy marcada del humedal estudiado, diferenciando notablemente la distribución de la vegetación tanto en época de sequía como en época de lluvia y, a su vez, logrando poner en evidencia, los principales parámetros fisicoquímicos que intervinieron en esta distribución. Para la época de lluvia, los parámetros que posiblemente influyen directamente sobre la distribución de la vegetación son las concentraciones de potasio, calcio y magnesio, mientras que en la temporada de sequía son el pH, la CE, la materia orgánica y la concentración de sodio.

Tanto para la temporada de sequía como para la de lluvia, las zonas 1 y 5 se relacionaron en mayor manera con el componente principal uno, debido están situadas en los extremos del eje X. Por su parte, las zonas 3 y 4 están más vinculadas con el componente principal dos (eje Y). A su vez, las zonas 3, 4 y 5 en la época de sequía, y las zonas 1 y 2 en el lapso de lluvias, fueron las que presentaron mayor similitud en su comportamiento con respecto a las variables medidas debido a las proximidades que se observan entre cada una de estas zonas (Fig.18).

Para el segundo componente principal, se encuentran asociados el nitrógeno y la densidad aparente, siendo estos factores poco significativos a la hora de determinar la variabilidad del sistema, dado que los mismos a la largo de las zonas y de los períodos de estudios, se mantuvieron relativamente constantes. Más aún, haciendo una superposición de ambos gráficos, se logra observar una similitud en la posición de cada una de las zonas (con excepción de la zona 4), lo que indica que si bien para cada una de las épocas, los parámetros que alteran la distribución de las especies son distintos, esta distribución se mantiene a lo largo del tiempo.

Zonación vegetal

Si bien las plantas necesitan del suelo para obtener sus nutrientes y como medio de sostén, este puede sufrir alteraciones en su composición o su estructura, como es el caso de los suelos de humedales. Como estos no tienen buen drenaje, suelen permanecer anegados y no arrastran sales minerales, debido a esto y a la retención del agua, las plantas, que tienen asegurada buena provisión de humedad para sus raíces, pueden experimentar deficiencias de oxígeno.

Más aún, cada planta presente en estos sistemas crecerá con el tipo de suelo adecuado para su desarrollo óptimo y estable. Por esto, cada propiedad fisicoquímica del suelo juega un papel muy importante en el crecimiento y en la distribución de la vegetación. Por ejemplo: La disminución en las concentraciones de calcio pueden producir tejidos con poca consistencia y menores defensas frente a las enfermedades en ciertas plantas (Banerjee y Mosier, 1989). Ante la disminución del magnesio, las plantas pueden presentar poco desarrollo y raíces

raquíticas, mientras que la disminución en los porcentajes de nitrógeno reduce la función clorofílica y el desarrollo es pobre. Pero la obtención de estos nutrientes por parte de las plantas inundadas es complicado y depende en gran parte del tipo de suelo, específicamente en la absorción de iones minerales y la tolerancia de las especies a distintos niveles de inundación, provocando así una distribución de la vegetación en estos sistemas (López, 2009).

En este caso, la zonación de este humedal puede ser atribuida al gradiente de profundidad del agua y a los diversos cambios en los factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. Cada una de las zonas estudiadas, constituida por un tipo de vegetación específica, está limitada por características particulares en un punto del gradiente dado que determinan el cambio por otra comunidad vegetal. En los suelos inundados o húmedos de este humedal (zonas 1, 2, 3 y 4) se instalan comunidades hidrófilas herbáceas, pero a medida que aumenta el alejamiento del humedal hacia suelos más secos (zona 5), se desarrollan otras plantas adaptadas a condiciones más secas, compuesta por elementos leñosos.

En este tipo de humedales, la abundancia de agua agota rápidamente el oxígeno en el suelo, afectando sensiblemente el crecimiento de las plantas, disminuyendo su metabolismo, el crecimiento de las raíces y los procesos de oxido-reducción, entre otros. Pero la respuesta a la inundación varía con el tipo de planta, con el tiempo de duración de la inundación y las condiciones de la lámina de agua, lo que permite que en cada tipo de suelo, crezca y se reproduzca algún tipo de planta en específico, que tolere las condiciones allí presentadas. Por ejemplo, en este humedal estudiado se observó que debido a los cambios estacionales y por lo tanto a las variaciones en la duración y el flujo de la lámina de agua, las zonas 2 y 3 presentaron un cambio en la vegetación, ya que Suárez-Villasmil (2010), reportó que estaban

dominadas por *Hymenachne amplexicaulis*, sin embargo para el momento de este trabajo, la especie más importante fue *Polygonum acuminatum* lo que puede deberse a que *H. amplexicaule* crece en ambientes donde fluctúa la lámina de agua y en aquellos donde se inundan periódicamente (Hill 1996, Gordon y Feo 2007), sin embargo *Polygonum acuminatum* es capaz de crecer en ambientes más secos, por lo que pudo desplazar a *Hymenachne amplexicaulis*. Por lo tanto la zonación de la vegetación cambia dependiendo de las variaciones en las fluctuaciones de la lámina de agua y su efecto sobre las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos, como el pH y el potencial Redox del suelo. Aunque para este humedal, el pH se mantuvo relativamente estable entre cada una de las zonas, un pH ácido en el suelo, puede volver ciertos minerales como el hierro o el manganeso tan solubles, que pueden ser tóxicos para el vegetal (López 2009).

Si bien es cierto que el tiempo de estudio fue relativamente corto y los parámetros estudiados y establecidos para el análisis fueron pocos, todos estos factores permitieron vislumbrar ciertos aspectos básicos e importantes a la hora de establecer la relación entre el suelo del humedal y su vegetación, así como la distribución de esta a lo largo del sistema.

CONCLUSIONES

1. La variabilidad de los parámetros físicos-químicos, debido a la alternancia de condiciones de inundación y profundidad de la lámina de agua, influyeron en la distribución de las diferentes comunidades vegetales presentes en el humedal como se demostró en el análisis de componente principal (ACP).

1.a Los cambios observados en la profundidad de la lámina de agua producto del hidroperíodo presente en el humedal herbáceo de agua dulce, determinaron las variaciones en la disponibilidad de nutrientes y de metales pesados, así como la variabilidad del potencial Redox y del pH.

1.b Cuando la profundidad de la lámina de agua aumentó en la época de lluvia, se observó un incremento considerable en la concentración de ciertos cationes cambiabiles (Ca, Mg; K), al igual que el incremento en la concentración de Hierro total y la disminución del potencial Redox debido a las condiciones de anoxia presentes en esa época.

1.c Este aumento en las concentraciones de cationes cambiabiles y de Hierro pudo generar un aumento en las concentraciones de Nitrógeno total y más aún en, forma de amonio.

1.d Durante la época de Lluvia se observó la disminución del pH, provocada presuntamente por la cantidad de materia orgánica y la producción de ácidos húmicos y ácidos carbónicos.

2. En el humedal estudiado la cantidad de materia orgánica observada fue abundante, lo que pudo haber influenciado cambios en ciertos parámetros físicos del suelo como el aumento en la densidad aparente, que a su vez pudo haber provocado la disminución del porcentaje de espacios porosos en época de lluvia.

3. El humedal estudiado presenta variaciones en la distribución de los nutrientes debido a la microtopografía del mismo. Este humedal, presentó en sus diferentes zonas, distintos valores en la profundidad de la lámina de agua, lo que condiciona a ciertas especies de plantas en su distribución y reproducción a lo largo del humedal, lo que a su vez condiciona la formación del paisaje y la composición vegetal del sistema.

4. La zonación y composición de las comunidades de plantas en el humedal herbáceo de agua dulce, refleja las habilidades competitivas, los requerimientos nutricionales y la tolerancia al stress hídrico de las plantas, debido a las condiciones anóxicas presentes en este sistema.

5: La distribución de la vegetación a lo largo del humedal estudiado se mantuvo constante (con excepción de la zona 4) a lo largo del tiempo, a pesar de que los parámetros fisicoquímicos que afectaron esta distribución en ambas épocas (lluvia y sequía) fueron distintos.

RECOMENDACIONES

Desarrollar un proyecto especializado donde se lleve a cabo una investigación acerca del comportamiento per se del humedal herbáceo de agua dulce ubicado en El Clavo, estado Miranda, debido a su importancia sobre las comunidades vegetales, animales y sobre la población humana circundante, quienes utilizan este humedal como fuente de alimentos y de recursos. En base a lo planteado, se sugiere realizar salidas de campos a lo largo de varios años para ejecutar una extensiva recolección de muestras de suelos y así observar el comportamiento de las distintas variables físico-químicas y biológicas presentes en las distintas zonas del humedal a lo largo del año

Más aún, se presenta viable la idea de ampliar los análisis realizados sobre los parámetros fisicoquímicos del suelo del humedal, ejecutando estudios sobre las distintas formas en la que se encuentran, por ejemplo, los metales pesados, el Nitrógeno, el Fosforo y de la materia orgánica

BIBLIOGRAFIA

1. Álvarez, S. 2005. La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. *Ecosistemas*. 14: 17-29.
2. Afifi, A.A., Clark, V. 1984. Computer-Aided Multivariate Analysis. Wadsworth, Inc. **3**: 25-46.
3. Ann, Y., K. R. Reddy, and J. J. Delfino. 2000. Influence of Redox potential on P solubility in chemically amended wetland soils. *Ecol. Eng.* 14:151-167.
4. Armstrong, E.J., Wright, S.L., Gaynard, T.J. 1985. Plant zonation and the effects of the spring-neap tidal cycle on soil aeration in a humber salt marsh. *Journal of Ecology*. **73**: 323-339.
5. Banerjee, N. K, Mosier, A. R. 1989. Coated calcium carbide as nitrification inhibitor in upland and flooded soils. *J Indian Soc Soil Sc i*.37:306-313
6. Batjes NH (1995) A global dataset of soil pH properties (Technical paper 27). International soil reference and information centre, Wageningen, pp 1–27
7. Brix, H. and B. K. Sorrell. 1996. Oxygen stress in wetland plants: comparisons of de-oxygenated and reducing root environments. *Functional Ecology* 10:521-526
8. Chacón-Moreno, Smith, E.J., Skidmore, A.K., Prins, H.T., Toxopeus, A.G. 2007. Modeling spatial patterns of plant distribution as a consequence of hydrological dynamic processes in a venezuelan flooding savanna. *Ecotropicos*. **20**: 55-73.

9. Chapman, D., Pratt, P. Metodología de análisis para suelos, plantas y aguas. *Editorial Trillas*, México, 1973. **2**: 18-108.
10. Clement, J., Shrestha, J., Ehrenfeld, J. G., 2004. Ammonium oxidation coupled to dissimilatory reduction of iron under anaerobic conditions in wetland soils. *Soil and Biochemistry*. **37**:2323-2328
11. Dezzee, N., Herrera R., Escalante G., Briceño, E. 1998. Mass and nutrient loss of fresh plant biomass in a small Black-water tributary of Caura river, Venezuela.. *Biogeochemistry*. **43**: 197-210.
12. Eiswirth M. y H. Hotzl (1997). The impact of leaking sewers on urban groundwater. - In:Chilton, J. et al. (ed.): Groundwater in the urban environment. Vol. 1: Problems, Processes and Management, pp. 399-404.
13. Eriksson, P.G., Andersson, J.L. 1999. Potential Nitrification and cation exchange on litter of emergent, freshwater macrophytes. *Freshwater Biology*. **42**: 479-486.
14. Feo, Y. 2002. Dinámica de crecimiento de *Hymenachne amplaxicaulis* (rudge) Nees, en un humedal herbáceo localizado en El Clavo (EDO. Miranda). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
15. Flores, S., Chacón, N., Rangel, M., Dezzee, N. 2000. Actividad enzimática en suelos de un gradiente de bosque estacionalmente inundable en la parte baja del río Orinoco. Implicaciones de estacionalidad. *Ecotrópicos*.

16. Gerard, M., El Kahloum, M., Mertens, W., Verhagen, B., Meire, P. 2008. Impact of flooding on potential and realised grassland species richness. *Plant Ecology*. **194**: 85-98.
17. Gopal, B. 1986. Vegetation dynamics in temporary and shallow freshwater habitats. *Aquatic Botany*. **23**: 391-396.
18. Gosselink J. G., Hatton, R. 1984. Relationship of organic carbon and mineral content to bulk density in Louisiana Marsh soils.
19. Gotoh, S and Patrick, Jr. 1972. Transformation of manganese in a water logged soil as affected by redox potential and pH. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 36:738-742.
20. Gotoh, S and Patrick, Jr. 1974. Transformation of iron in a water logged soil as affected by redox potential and pH. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 36:738-742.
21. Gordon, E., Feo, Y. 2007. Growth dynamics of *Hymenachne amplexicaulis* in a herbaceous wetland in Miranda State (Venezuela). Instituto de Zoología. *Acta Botánica venezolica*. **30**: 1-18.
22. Gordon, E., Peña, C., Rodríguez, C., Rodríguez, J., Delgado, L. 2001. Caracterización de la vegetación en un humedal herbáceo Oligohalino (Sabanas de Venturini, Sucre, Venezuela). *Acta Biológica venezolica*. **21**: 41-49.
23. Greenland, D. J. 1981. Recent progress in studies of soil structure, and its relation to properties and management of paddy soils. Pages 42-57. Science press, Beijing.

24. Grelsson, G., Nilsson, C. 1991. Vegetation and seed-bank relationships on a lakeshore. *Freshwater Biology*. **26**: 199-207.
25. Hammer, Ø., Harper, D. A. T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* **4**(1):9p.
26. Herrera, R., Medina, E., Klinge, H., Jordan, Carl., Uhl, C. 1990. Ecology in practice. F. Di Castri, F.W.G Baker, Hadley M (eds), Ecosystem management: Nutrient retention mechanisms in tropical forests: the amazon Caatinga, San Carlos pilot Project, Venezuela.
27. Hill, A.R. (1996). Nitrate removal in stream riparian zones. *J. Environ. Qual.* **25**:743-755.
28. Hunter, K.S., Wang, Y., VanCappellen, P. (1998). Kinetic modeling of microbially-driven redox chemistry of subsurface environments: coupling transport, microbial metabolism and geochemistry. *J. Hydrol.* **209**: 53-80.
29. Hrivnák, R. 2005. Effect of ecological factors on the zonation of wetland vegetation. Instituto de Botánica, Academia de Ciencias Eslovaca, Bratislava, Eslovaquia. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. **1**: 73-81.
30. Hutchinson, G.E. 1975. A treatise on Limnology. Jhon Wiley & Sons, Inc. **31**: 408-425.
31. Jongman, R.H.G., Smith, J.K., Chacón-Moreno, E.J., Loedeman, J.H. 2008. Assessing flooding patterns in Llanos of the Apure region (Venezuela) using radar. *Ecotrópicos*. **21**:34-45.
32. Kadlec, R.H., Knight, R.L. 1996. Treatment Wetlands. CRC Press LLC. Florida, USA. 49-107.

33. Keddy, P. A. 1984. Plant zonation on lakeshores in Nova Scotia: A test of the resource specialization hypothesis. *Journal Ecology*. **72**: 797-808.
34. Keddy, P. 2000. *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge. Cambridge University Press. Sheffield, UK. 81:120.
35. Kludze, H. K. and R. D. DeLaune. 1996. Soil redox intensity on oxygen exchange and growth of cattail and sawgrass. *Soil Science Society of America Journal* 60:616-621.
36. Kozłowski, S. 1992. Temporal and spatial variation of the habitat conditions in the zonation of littoral plant communities. *Aquatic Botany*. **43**: 199-208.
37. Kolln, F. T., Tejada, R. 2009. Vegetación de un humedal natural tropical, de régimen permanente, en la zona caribe de costa rica. *Tierra Tropical*. **5**: 103-108.
38. López, O. 2009. Fisiología y ecología de comunidades arbóreas en habitats inundables.. *Acta Biologica Panamensis*. **1**: 68-86
39. Medina, E., Cuevas E. 2000. Eficiencia de utilización de nutrientes por plantas leñosas. Eco-fisiología de bosques de San Carlos de Río Negro. Estado Bolívar, Venezuela. *Scientia Guianae*. **11**: 51-70.
40. Mengel, K. 1982. Dynamics and availability of major nutrients in soils. *Adv. Soil Sci.* 2:65–131.
41. Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. 2002. *Wetlands*. Wiley & Sons, Inc. 4^o Edición. New Jersey, Canada.

42. Miller, R. C., Zedler, B. 2002. Responses of native and invasive wetland plants to hydroperiod and water depth. *Plant Ecology*. **167**: 57-69.
43. Miragaya, J.G., Schargell, R., Ramia, M., Martìn. 1990. Chemical properties of soils where palm trees grown in Venezuela.. *Communitie en Soil Science*. **21**: 337-349.
44. Miragaya, J.G. 1993. Charge distribution of selected Venezuelan soils with some pedogenic and agrotechnological implications. *Communitie en Soil Science*. **22**: 1495-1508.
45. Mitch, W.J., Gosselink, J.G. 2007. Wetlans. Jhon Wiley \$ Sons, Inc. **2**: 107-207.
46. Moret, Y., Valera, L., Mora, A., Garay, V., Jerez, M., Plonczak, M. 2008. Horizontal and vertical estructura of *Pachira quinata* (jacq.) W.S. Alverson in the university forest "el Caimital ", Barinas, Venezuela. *Ecotròpicos*. **21**: 62-74.
47. Neff, N., Marcus, L. 1980. A sourvey of multivariate methods for sistematics. New York, privetly published.
48. Neue, H. U. 1984. Gaseous products of the decomposition of organic matter in submerged soils. International Rice Research Institute. 311-328.
49. Ortega, L., Rodríguez, E., Pérez, M. Calidad y cantidad de carbono orgánico del suelo en un gradiente de vegetación de un humedal herbáceo en el estado Miranda (Venezuela). *Ecología de Humedales*

50. Pansu, M., Gautheyrou, J. 2006. Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer. **23**: 672-684.
51. Passoni, M., Morari, F., Salvato, M. 2009. Medium-term evolution of soils properties in a constructed surface flow wetland with fluctuating hydroperiod in North Eastern Italy. *Desalination*. 246:215-225
52. Pennings, S., Grant, M. B. 2005. Plant zonation in low-latitude salt marshes: disentangling the roles of flooding, salinity and competition University of Georgia Marine Institute, Sapelo Island, USA. *Journal Ecology*. **93**: 159-167.
53. Ponnampereuma, F.N. 1972. The chemistry of submerge soils. *Advanced Agronomy*, **24**: 29-96.
54. Rainey, G. B. 1979. Factors affecting nutrient chemistry distribution in Louisiana coastal marshes. LOUISIANA State Univ.
55. Rader, R., Batzer, D. P., Wissinger, S. A. 2001. Bioassessment and Management of North American Freshwater Wetlands: An Introduction to wetland Bioassessment and Management. *John Wiley & Sons, Inc.* 2-10.
56. Reddy, R., Delaune, R. 2008. Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications. CRC PRESS. Florida, USA. 45-256.

57. Rial, A.B. 2000. Aspectos cualitativos de la zonacion: estratificacion de comunidades de plantas acuaticas en un humedal de los llanos de Venezuela. *Memoria de la fundacion la salle de ciencias naturales*. **153**: 69-95.
58. Richardson, J.L., Vepraskas, M-J. 2000. Wetland soils: genesis, hidrology, landscapes and classification. Lewis Publishers. Florida, USA. 85-107.
59. Ruiz, E., Martínez, M., García, C., Uriarte, J. A. 2005. Transporte y degradación de nitratos en suelos del humedal de Salburua (país vasco). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. **7**
60. Roden, E. E, Wetzel, R. G. 2003. Competition between Fe(III)-reducing and methanogenic bacteria for acetate in iron rich freshwater sediments. *Microb Ecol*. 45:252-258.
61. Roden, E. E, Wetzel, R. G. 1996. Organic carbón oxidation an supression of methane production by microbial Fe (III) oxide reduction in unvergetated freshwater wetland sediments. *Limnol Oceanogr*. 41:1733-1748.
62. Sarmiento, G., Pinillos, M., De silva, M.P., Acevedo, D. 2004. Effects of soil water regime and grazing on vegetation Diversity and production in a hyperseasonal savanna in the Apure Llanos, Venezuela. *Journal of Tropical Ecolgy*. **20**: 209-220.
63. Seabloom, E.W., Van Der Valk, A.G. 2003. The development of vegetative zonation patterns in restored prairie pothole wetlands. *Journal of Apllied Ecology*. **40**: 92-100.

64. Yu, Shen and **J. G. Ehrenfeld**. 2009. Relationships among plants, soils and microbial communities along a hydrological gradient in the New Jersey Pinelands, USA. *Annals of Botany*. 105:185-196.
65. Siegel, S., Castellan, N.J. 1995. "Estadística no Paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta". Trillas. 4ª ed. New York, USA.
66. StatSoft, Inc. 2007. Statistica (Programa para análisis estadísticos), version 8.0. www.statsoft.com.
67. Suárez, L. 2009. "La comunidad vegetal y su relación con los factores abióticos en un humedal herbáceo del estado Miranda". Trabajo de Ascenso para la categoría de Profesor Asistente. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
68. Torres, R; Gordon, E.,; Lugo, C y Suárez-Villasmil, 2009. L. Descomposición foliar "in situ" de *Heliconia marginata* en un humedal herbáceo (El Clavo, estado Miranda). En prensa.
69. U.C.V. 1993. Cuadernos de Agronomía. Publicación para la difusión del conocimiento sobre el suelo. Instituto de Edafología. Maracay. Año 1: N°6
70. Vegas, T., Herrera, R. 1993. Effects of periodic flooding on the water chemistry and primary production of the mapire Systems, Venezuela. *Hidrobiología*. 31-42.
71. Waring, S. A., Bremner, J.M., 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*. 201:951-952.

72. Wiley, L. 2002. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. Jhon Wiley & Sons, Inc. 4^o Edición. New York. USA. 204-270.

Tabla 8. . Valores estadísticos representativos de cada una de las variables estudiadas

| Variable | Descriptive Statistics | | | | |
|----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | Valid N | Mean | Minimum | Maximum | Std.Dev. |
| DAP | 20 | 1,0786 | 0,5980 | 1,7910 | 0,3549 |
| MO | 20 | 26,0675 | 12,6300 | 63,5400 | 12,4497 |
| Ntotal | 20 | 1,9950 | 1,3000 | 4,2000 | 0,7917 |
| Na | 20 | 0,2074 | 0,0170 | 0,3770 | 0,1197 |
| Ca | 20 | 6,4537 | 0,1240 | 14,8000 | 5,5097 |
| k | 20 | 0,3200 | 0,0730 | 1,2800 | 0,2994 |
| Mg | 20 | 5,6372 | 0,1470 | 12,7500 | 5,2658 |
| Fe | 20 | 576,8085 | 179,9160 | 827,7910 | 223,0720 |
| Mn | 20 | 68,0216 | 30,0750 | 215,7330 | 52,5502 |

Tabla 9 Nivel de significancia del pH de las distintas zonas (Prueba post-hoc)

| LSD test; variable pH (Spreadsheet6) | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Probabilities for Post Hoc Tests | | | | | | | | | | | | |
| Error: Between MS = ,00026, df = 10,000 | | | | | | | | | | | | |
| Cell No. | zona | periodo | {1} | {2} | {3} | {4} | {5} | {6} | {7} | {8} | {9} | {10} |
| | | | 6,6400 | 5,1150 | 6,8250 | 5,2350 | 6,8750 | 5,0950 | 6,6250 | 5,1250 | 6,1800 | 5,8450 |
| 1 | 1 | Seco | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,37414 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 2 | 1 | Humedo | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00002 | 0,00000 | 0,24316 | 0,00000 | 0,54901 | 0,00000 | 0,00000 |
| 3 | 2 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,01123 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 4 | 2 | Humedo | 0,00000 | 0,00002 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00004 | 0,00000 | 0,00000 |
| 5 | 3 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,01123 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 6 | 3 | Humedo | 0,00000 | 0,24316 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,09243 | 0,00000 | 0,00000 |
| 7 | 4 | Seco | 0,37414 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 8 | 4 | Humedo | 0,00000 | 0,54901 | 0,00000 | 0,00004 | 0,00000 | 0,09243 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 |
| 9 | 5 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 |
| 10 | 5 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | |

Tabla 10 Nivel de significancia de CE de las distintas zonas (Prueba post-hoc)

| LSD test; variable CE (Spreadsheet6) | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Probabilities for Post Hoc Tests | | | | | | | | | | | | |
| Error: Between MS = ,00800, df = 10,000 | | | | | | | | | | | | |
| Cell No. | zona | periodo | {1} | {2} | {3} | {4} | {5} | {6} | {7} | {8} | {9} | {10} |
| | | | 394,05 | 87,450 | 393,20 | 95,050 | 442,15 | 101,45 | 616,25 | 125,85 | 288,35 | 74,500 |
| 1 | 1 | Seco | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 1 | Humedo | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 2 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 2 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 3 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 3 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 4 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 4 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 9 | 5 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 |
| 10 | 5 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

Tabla 11. ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis para la densidad aparente

| Multiple Comparisons p values (2-tailed); DAP (físicoquímico) Independent (grouping) variable: zona Kruskal-Wallis test: H (4, N= 20) =14,75714 p =,0052 | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Depend.: DAP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | R:3,0000 | R:6,7500 | R:15,250 | R:11,000 | R:16,500 |
| 1 | | 1,000000 | 0,034087 | 0,558293 | 0,012504 |
| 2 | 1,000000 | | 0,421645 | 1,000000 | 0,197694 |
| 3 | 0,034087 | 0,421645 | | 1,000000 | 1,000000 |
| 4 | 0,558293 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 |
| 5 | 0,012504 | 0,197694 | 1,000000 | 1,000000 | |

Tabla 12 Nivel de significancia de MO de las distintas zonas (Prueba post-hoc)

| LSD test; variable mo (Spreadsheet6) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 99,584, df = 10,000 | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cell No. | zona | periodo | {1} | {2} | {3} | {4} | {5} | {6} | {7} | {8} | {9} | {10} |
| | | | 43,795 | 22,395 | 25,825 | 18,055 | 20,800 | 23,805 | 45,960 | 22,580 | 22,860 | 14,600 |
| 1 | 1 | Seco | | 0,057591 | 0,101921 | 0,027441 | 0,043931 | 0,073001 | 0,832601 | 0,059421 | 0,062301 | 0,015151 |
| 2 | 1 | Humedo | 0,057591 | | 0,738171 | 0,672861 | 0,876191 | 0,890441 | 0,039851 | 0,985571 | 0,963751 | 0,452821 |
| 3 | 2 | Seco | 0,101921 | 0,738171 | | 0,454231 | 0,625481 | 0,843641 | 0,071251 | 0,751741 | 0,772451 | 0,286921 |
| 4 | 2 | Humedo | 0,027441 | 0,672861 | 0,454231 | | 0,788861 | 0,577211 | 0,018911 | 0,659901 | 0,640521 | 0,736351 |
| 5 | 3 | Seco | 0,043931 | 0,876191 | 0,625481 | 0,788861 | | 0,769481 | 0,030321 | 0,861991 | 0,840591 | 0,548301 |
| 6 | 3 | Humedo | 0,073001 | 0,890441 | 0,843641 | 0,577211 | 0,769481 | | 0,050681 | 0,904731 | 0,926421 | 0,378021 |
| 7 | 4 | Seco | 0,832601 | 0,039851 | 0,071251 | 0,018911 | 0,030321 | 0,050681 | | 0,041131 | 0,043151 | 0,010461 |
| 8 | 4 | Humedo | 0,059421 | 0,985571 | 0,751741 | 0,659901 | 0,861991 | 0,904731 | 0,041131 | | 0,978161 | 0,442481 |
| 9 | 5 | Seco | 0,062301 | 0,963751 | 0,772451 | 0,640521 | 0,840591 | 0,926421 | 0,043151 | 0,978161 | | 0,427131 |
| 10 | 5 | Humedo | 0,015151 | 0,452821 | 0,286921 | 0,736351 | 0,548301 | 0,378021 | 0,010461 | 0,442481 | 0,427131 | |

Tabla 13 Nivel de significancia de N.total de las distintas zonas (Prueba post-hoc)

| LSD test; variable N-total (Spreadsheet6) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,34600, df = 10,000 | | | | | | | | | | | | |
|--|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cell No. | zona | periodo | {1} | {2} | {3} | {4} | {5} | {6} | {7} | {8} | {9} | {10} |
| | | | 1,7500 | 1,3500 | 1,3500 | 1,3500 | 2,0500 | 1,3500 | 2,1000 | 2,8000 | 3,1500 | 2,7500 |
| 1 | 1 | Seco | | 0,511921 | 0,511921 | 0,511921 | 0,621101 | 0,511921 | 0,565051 | 0,104561 | 0,038601 | 0,119961 |
| 2 | 1 | Humedo | 0,511921 | | 1,000001 | 1,000001 | 0,261511 | 1,000001 | 0,231121 | 0,033381 | 0,012041 | 0,038601 |
| 3 | 2 | Seco | 0,511921 | 1,000001 | | 1,000001 | 0,261511 | 1,000001 | 0,231121 | 0,033381 | 0,012041 | 0,038601 |
| 4 | 2 | Humedo | 0,511921 | 1,000001 | 1,000001 | | 0,261511 | 1,000001 | 0,231121 | 0,033381 | 0,012041 | 0,038601 |
| 5 | 3 | Seco | 0,621101 | 0,261511 | 0,261511 | 0,261511 | | 0,261511 | 0,933931 | 0,231121 | 0,091001 | 0,261511 |
| 6 | 3 | Humedo | 0,511921 | 1,000001 | 1,000001 | 1,000001 | 0,261511 | | 0,231121 | 0,033381 | 0,012041 | 0,038601 |
| 7 | 4 | Seco | 0,565051 | 0,231121 | 0,231121 | 0,231121 | 0,933931 | 0,231121 | | 0,261511 | 0,104561 | 0,295021 |
| 8 | 4 | Humedo | 0,104561 | 0,033381 | 0,033381 | 0,033381 | 0,231121 | 0,033381 | 0,261511 | | 0,565051 | 0,933931 |
| 9 | 5 | Seco | 0,038601 | 0,012041 | 0,012041 | 0,012041 | 0,091001 | 0,012041 | 0,104561 | 0,565051 | | 0,511921 |
| 10 | 5 | Humedo | 0,119961 | 0,038601 | 0,038601 | 0,038601 | 0,261511 | 0,038601 | 0,295021 | 0,933931 | 0,511921 | |

Tabla 14 Nivel de significancia de Fe de las distintas zonas (Prueba post-hoc)

| LSD test; variable Fe (Spreadsheet6) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 86,797, df = 10,000 | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cell No. | zona | periodo | {1} | {2} | {3} | {4} | {5} | {6} | {7} | {8} | {9} | {10} |
| | | | 810,04 | 600,17 | 724,21 | 411,38 | 807,54 | 649,08 | 684,87 | 683,54 | 217,15 | 180,10 |
| 1 | 1 | Seco | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,79389 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 2 | 1 | Humedo | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00037 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 3 | 2 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00001 | 0,00176 | 0,00141 | 0,00000 | 0,00000 |
| 4 | 2 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 5 | 3 | Seco | 0,79389 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 6 | 3 | Humedo | 0,00000 | 0,00037 | 0,00001 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00325 | 0,00411 | 0,00000 | 0,00000 |
| 7 | 4 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,00176 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00325 | | 0,88904 | 0,00000 | 0,00000 |
| 8 | 4 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00141 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00411 | 0,88904 | | 0,00000 | 0,00000 |
| 9 | 5 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00261 |
| 10 | 5 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00261 | |

Tabla 15 Nivel de significancia del Mn de las distintas zonas (Prueba post-hoc)

| LSD test; variable Mn (Spreadsheet6) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1,2865, df = 10,000 | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cell No. | zona | periodo | {1} | {2} | {3} | {4} | {5} | {6} | {7} | {8} | {9} | {10} |
| | | | 37,487 | 30,325 | 37,237 | 61,587 | 83,987 | 56,275 | 34,058 | 58,725 | 213,80 | 66,733 |
| 1 | 1 | Seco | | 0,00008 | 0,82998 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,01282 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 2 | 1 | Humedo | 0,00008 | | 0,00011 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00813 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 3 | 2 | Seco | 0,82998 | 0,00011 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,01870 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 4 | 2 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00086 | 0,00000 | 0,03019 | 0,00000 | 0,00108 |
| 5 | 3 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 6 | 3 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00086 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,05610 | 0,00000 | 0,00000 |
| 7 | 4 | Seco | 0,01282 | 0,00813 | 0,01870 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 8 | 4 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,03019 | 0,00000 | 0,05610 | 0,00000 | | 0,00000 | 0,00003 |
| 9 | 5 | Seco | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | | 0,00000 |
| 10 | 5 | Humedo | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00108 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00003 | 0,00000 | |

Tabla 16. Vectores del análisis de componentes principales y sus distintos niveles de significancia

| PC | Eigenvalue | % variance |
|----|------------|------------|
| 1 | 5,34154 | 59,35 |
| 2 | 1,89601 | 21,067 |
| 3 | 0,893057 | 9,9229 |
| 4 | 0,372043 | 4,1338 |
| 5 | 0,204945 | 2,2772 |
| 6 | 0,179155 | 1,9906 |
| 7 | 0,0796356 | 0,88484 |
| 8 | 0,0336148 | 0,3735 |
| 9 | 2,79E-06 | 3,10E-05 |

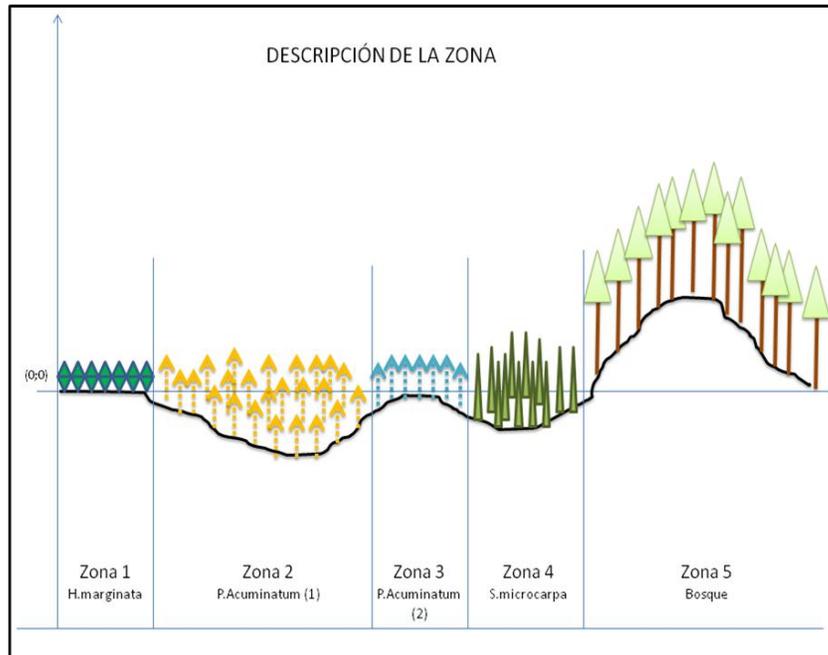


Fig 20. Descripción gráfica de la zona de estudio

- H. marginata 
- P.Acuminatum (1) 
- P.Acuminatum (2) 
- S.Microcarpa 
- Bosque 