



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Sistema Radical y Biogeoquímica del N, P, K,
Cu Mn y Mg en una Selva Baja Caducifolia.
Área: Edafología



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A :

Itzel Leylie Sancheznagore Brindis

Director de Tesis: M en C. Ramiro Ríos Gómez

Prof. De Carrera Titular "A"

FES Zaragoza, UNAM

Ciudad de México a 27 de junio de 2017





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A María Guadalupe Irais Victoria Brindis Pulido,
por el gran esfuerzo y dedicación

A Axayacatl Daniel Grimaldo Sancheznagore,
por su sacrificio y comprensión

A Gerardo Daniel Grimaldo Vázquez, por el
apoyo y constancia

A Mextli Erendira Brindis Pulido y Yosicandini
Vladimir Brindis Pulido por la ayuda en estos
años

Agradecimientos

iii

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, donde tuve la oportunidad de desarrollarme académicamente y a todos los profesores y compañeros que intervinieron en el camino.

Ramiro Ríos Gómez	Claudia Casillas
Aida Zapata Cruz	Josué Barranco Rojas
Eloy Solano Camacho	Christian Veloz Lucas
Eliseo Cantellanos	Miguel Rivera Lugo
Isaías Salgado Ugarte	Rodrigo Horacio Reskala Sánchez
Jorge Gallegos Galicia	Ana Cristina Pérez Sauza
Armando Cervantes Sandoval	Georgina Villar Rodríguez
Eduardo Ehnis Dunne	Denisse Dellanire Ayala Alor
David Nahum Espinoza	Merari Naranjo
Ester Matiana García Amador	Ricardo Ortiz Rosales
Francisco Mandujano	Eduardo Espinosa
Angélica Flores	Daniel Mata
Angélica González Schaff	Jorge Ocampo
Eloísa Guerra	Hugo Soria Tapia
Arcadio Monroy Ata	Balam Quitze Aguirre López
María del Carmen Niño de Rivera	Nalleli Judith Roa Gómez
Bertha Peña	Isis Mejia Rojas
Rigoberto Rodríguez	Karla Mendez Loyola
Leticia López Vicente	Karen Elizabeth Ramírez Gómez
Patricia Velazco	Iliana Victoria Martínez López
Manuel Rico Bernal	Yatsiri Santana Eslava
Jorge Gallegos	Mayra Yesenia Bustos Luviano
Gerardo Flores	Mauricio Antonio Rangel
Irma Gisela Nieto Castañeda	Juan Carlos Mercado Alpizar
Xanath Pérez Castillo	Mixtli Crisóstomo Pérez
Ademar Gómez Alons	Arely Eliam Paredes Martínez
Rodolfo Alvares Betancourt	Cesar Zeferino Arrazola
Roberto Vázquez León	Erick Alberto Correa Padilla
Hugo Gómez Trinidad	Aletia De La Orta
Claudia Montealegre	Alonzo Acevedo Jonathan steve
Mario González Aranda	Beatriz Gonzáles

Contenido

Resumen	1
Introducción	2
Marco Teórico.....	3
Relación suelo-vegetación	3
Sistema radical.	4
Minerales.....	6
Nutrimentos.....	8
Biogeoquímica de suelos.....	15
Almacenaje de nutrimentos.....	17
Materia orgánica	18
Selva baja Caducifolia.....	19
Justificación	21
Hipótesis.....	21
Objetivos	21
General.....	21
Particulares	22
Material y Método.....	22
Descripción del área de estudio.....	22
Trabajo en campo	23
Selección del sitio	23
Apertura y descripción morfológica del perfil de suelo.....	23
Muestreo del materia vegetal.....	24
Muestreo de la vegetación	24
Muestreo del tejido foliar	24
Recolecta de raíces.....	24
Recolecta de mantillo	25
Colocación de trampas y recolecta de hojarasca	25
Trabajo en laboratorio.....	25
Suelo.....	25
Biomasa y distribución de raíces en el suelo.....	26
Vegetación.....	26
Trabajo de gabinete.....	27
Determinación del suelo y descripción del perfil	27
Índice de Valor de Importancia de la vegetación	27
Tratamiento de los datos de tejido vegetal	30
Análisis estadístico	38
Resultados	39
Descripción de perfil del suelo.....	39

Descripción características físicas y químicas del suelo	31
Correlación entre características físicas y químicas del suelo.....	41
Nutrientes del suelo	42
Correlación entre nutrientes	47
Correlación entre nutrientes y características físicas del suelo.....	48
Correlación entre nutrientes y características químicas del suelo.....	50
Descripción del sistema radical	52
Correlación entre diámetros de raíz.....	56
Correlación entre raíz y características físicas y químicas.....	57
Análisis de la vegetación	59
Listado florístico	60
Aporte anual de hojarasca.....	70
Nutrientes en tejido vegetal.....	72
Correlación entre los cinco estratos.....	79
Discusión.....	80
Conclusiones.....	88
Fuentes consultadas	89

Lista de cuadros

Cuadro 1: Funciones de los macronutrientes en plantas	14
Cuadro 2: Funciones de los micronutrientes de las plantas.....	15
Cuadro 3. Ubicación geográfica y descripción ecológica.....	29
Cuadro 4. Descripción morfológica del perfil de suelo.....	30
Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del suelo en periodo seco.....	32
Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas del suelo en periodo húmedo.	35
Cuadro 7. Nutrientes en el suelo seca.	42
Cuadro 8. Contenido de nutrientes en el suelo en húmeda	43
Cuadro 9. Listado de especies	60
Cuadro 10. Aporte medio anual de hojarasca	71
Cuadro 11. Concentración de nutrientes en tejido foliar	72
Cuadro 12. Concentración de nutrientes en la hojarasca húmeda	72
Cuadro 13. Concentración de nutrientes en la hojarasca seca.	73
Cuadro 14. Concentración de nutrientes en el mantillo húmeda.	73
Cuadro 15. Concentración de nutrientes en el mantillo seca.....	74
Cuadro 16. Concentración de nutrientes en tejido radical húmeda	74
Cuadro 17. Concentración de nutrientes en tejido radical seca	75

Lista de figuras

Figura 1: Descomposición de la materia orgánica.	9
Figura 2. Selva baja caducifolia.....	23
Figura 3. Variación del porcentaje de M.O. del suelo.....	38
Figura 4. Capacidad de intercambio catiónico en las dos épocas.	39
Figura 5. Conductividad eléctrica en las dos épocas.....	40
Figura 6. Correlación de las características físicas y químicas del suelo.....	41
Figura 7. Nitrógeno total en las dos época.....	44
Figura 8. Fósforo en las dos épocas.	44
Figura 9. Potasio en las dos épocas.....	45
Figura 10. Magnesio en las dos épocas.....	45
Figura 11. Manganeso en las dos épocas.....	46
Figura 12. Cobre en las dos épocas	46
Figura 13. Correlación entre macronutrientes y micronutrientes	47
Figura 14. Correlación de macronutrientes y propiedades físicas del suelo.	48
Figura 15. Correlación de micronutrientes y pruebas físicas del suelo	49
Figura 16. Correlación de macronutrimetos con las características químicas	50
Figura 17. Correlación de macronutrientes y características físicas	51
Figura 18. Variación en la masa (g) de raíces a lo largo del perfil en época seca	52
Figura 19. Variación en la masa (g) de raíces a lo largo del perfil en época húmeda	53
Figura 20. Variación del área de superficie expuesta por la raíz en época seca	54
Figura 21. Variación del área de superficie expuesta por la raíz la época húmeda	55
Figura 22. Correlación de los cinco diámetros de la raíz en las dos épocas	56
Figura 23. Correlación de los diámetros de la raíz y las características físicas.	57
Figura 24. Correlación de los diámetros de la raíz y las características químias	58
Figura 25. Índice de valor de importancia	69
Figura 26. Número de individuos y cobertura de las especies vegetales	69
Figura 27. Frecuencia relativa, dominancia relativa y densidad relativa	70
Figura 28. Aporte medio anual de hojarasca	71
Figura29. Variación del nitrógeno en los diferentes almacenes y épocas	75
Figura 29. Variación del fósforo en los diferentes almacenes y épocas	76
Figura 30. Variación del potasio en los diferentes almacenes y épocas	76
Figura 31. Variación del manganeso en los diferentes estratos y épocas	77
Figura 32. Variación del manganeso en los diferentes estratos y épocas	77
Figura 33. Variación del cobre en los diferentes estratos y épocas	78
Figura 34. Correlación entre los cinco estratos y épocas	79

Resumen

El estudio se realizó en una selva baja caducifolia ubicada en Izúcar de Matamoros (18°31'40" norte, 98°24'49" oeste), pocos estudios se han realizado en torno a los ciclos de nutrimentos en los ecosistemas de México y son menores si consideramos a cada uno de los tipos de vegetación. La selva baja caducifolia es el tipo de vegetación más abundante en México, representa el 64 por ciento, y es la que tiene más riesgo de desaparecer, esto es de preocupar ya que se encuentran más del 40 por ciento de plantas endémicas y más del 55 por ciento de su vegetación es utilizada por las comunidades humanas y provee la mayor parte de las plantas medicinales del país.

En este sitio encontramos *Ayenia ovata* y *Painteria leptophylla* como las especies dominantes seguidas de *Marina scopa* y *Montanoa arborescens*, pero *Bursera vejar-vazquezii*, *Bursera schlechtendalii* y *Lysiloma divaricatum* son las más frecuentes. El mayor aporte anual de hojarasca se presenta en

el mes de agosto, la longitud radical varía de época seca a húmeda, se nota el cambio sobre todo en las raíces muy finas ya que se encontró solo un 12 por ciento en época seca y en época húmeda aumenta a un 36 por ciento ya que es cuando la disponibilidad de agua aumenta; por tanto, la rizosfera fina se incrementa. El magnesio tiene mayor presencia en el tejido foliar y en la hojarasca en la época húmeda y, en contraste, en época seca el potasio se acumula, mientras que en raíz se concentró más el fósforo, el potasio y el magnesio y solo las raíces menores a 0.5 mm tenían mayor concentración de nitrógeno y fósforo, mientras que en el resto el potasio y el hierro fueron más abundantes.

Los ciclos biogeoquímicos fueron uniformes y en ellos se relacionan los estratos a la perfección esto en época húmeda, ya que en época seca sólo hojarasca y mantillo presentan una correlación, al igual que la raíz con el sustrato.

INTRODUCCIÓN

La estructura de la biogeoquímica de los ecosistemas naturales fue resultado de la co-evolución de la geósfera y la biósfera; durante esta co-evolución cada unidad elemental geoquímica (la unidad más pequeña de la organización superficial de la Tierra) ha correspondido a un ecosistema específico con redes biogeoquímicas regulares de nutrición. Los ciclos biogeoquímicos en gran medida son determinados por la biota, especialmente por la producción primaria de las plantas y por la descomposición microbiana (biogeoquímica del ecosistema). Por tanto los ciclos biogeoquímicos son los responsables de que existan nutrientes disponibles en la naturaleza, puesto que el carbono, nitrógeno y fósforo son indispensables para toda forma de vida. Estos ciclos han ido cambiando a lo largo de la historia del planeta debido al trabajo de los microorganismos. En los ciclos biogeoquímicos participan un gran número de procesos que es importante mencionar; 1) entrada de nutrientes, ya sea por vía atmosférica o por meteorización, 2) la salida de nutrientes por exportación hídrica o gaseosa o de forma particulada y 3) la recirculación de nutrientes entre el suelo y los organismos por los procesos de descomposición, producción, mineralización y absorción, en el caso de la vegetación la raíz es el órgano principal (García-Oliva *et al.*, 2010).

Los nutrientes con funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas se clasifican según su concentración y el requerimiento para el crecimiento y la reproducción de la planta en micronutrientes y macronutrientes. Con experimentos en agua y arena se evaluó el crecimiento y los síntomas visuales de las deficiencias y se llegó al reconocimiento de esencialidad de los siguientes micronutrientes: Fe, Mn, Cu, Mo, Co, B, Cl y Ni, mientras que los macronutrientes son: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S, estos últimos son constituyentes de las biomoléculas estructurales tales como proteínas, lípidos o carbohidratos, pero también pueden actuar como osmolitos, en el caso del K. Su concentración puede variar de una planta a otra. Pero en cantidades óptimas, éstos aseguran la producción. Los procesos y factores que contribuyen a la transferencia de los nutrientes del suelo a las plantas son variados e involucran a la raíz, la concentración de los iones en la rizosfera, el ambiente y la actividad de los microorganismos en el suelo (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009; Kirkby y Römheld, 2007).

Debido al continuo desarrollo del sistema radical para explorar y explotar nuevas zonas del suelo, las raíces son capaces de crecer en proporciones mayores a las distancias que se pueden difundir los iones a través del suelo. Es probable que las raíces jóvenes estén rodeadas de mayor concentración de nutrientes que las raíces maduras, lo que favorece la absorción nutricional (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009).

La selva baja caducifolia (SBC) es el tipo de vegetación tropical de mayor cobertura geográfica en México y de los más ampliamente distribuidos en Latinoamérica, ya que del total de las

vegetaciones tropicales del país ésta representa el 64 por ciento y 36 por ciento son bosques de hoja perenne. A su vez, está sujeta al mayor riesgo de desaparecer ya sea por el poco interés que ésta genera, principalmente en la época seca que abarca de octubre a mayo, donde se desprende de la mayor parte de las láminas foliares y se muestra con colores grisáceos, mientras que en la época de lluvias de junio a septiembre, luce una exuberante cobertura verde. Pero biológicamente tiene gran relevancia, ya que en ésta se encuentran más del 40 por ciento de plantas endémicas y más del 55 por ciento de su vegetación es utilizada por las comunidades humanas y provee la mayor parte de las plantas medicinales del país, además de salvaguardar muchas especies de mamíferos superiores. La superficie de la selva baja caducifolia original era del ocho al 14 por ciento del territorio nacional, pero se ha visto reducida en gran medida, además la mayor parte de las regiones rurales habitan en una SBC. Por lo que su importancia biológica, ecológica y cultural es primordial (Jaramillo, 2010; Arias *et al.*, 2002; Trejo y Dirzo, 2002) Por lo anterior este trabajo tiene como objetivo generar mayor interés en su manejo.

MARCO TEÓRICO

Relación suelo-vegetación

El ecosistema es un conjunto de organismos bióticos y componentes abióticos, cuya distribución depende de las relaciones existentes entre las características fisiográficas y climáticas de la región y las propiedades intrínsecas de las especies vegetales. El reclutamiento de plantas ocurre bajo la sombra de árboles o arbustos que proveen de protección a sus plántulas o a las de otras especies en un ambiente hostil (planta nodriza); los efectos de estas plantas también se extienden a las plantas anuales; debido a que los arbustos actúan como una trampa colectora de restos orgánicos transportados por el viento y proveyendo de un mejor ambiente edáfico. Los arbustos y árboles con raíces pivotantes que alcanzan capas freáticas pueden también facilitar la presencia de otras plantas a través del levantamiento hidráulico (Doménech y Peral, 2006; Ríos, 1999; Lavado *et al.*, 1989; Grimm y Fassbender, 1981)

El suelo puede reflejar las causas de las diferencias de la distribución y tipo de vegetación en cualquier ecosistema, ya que las características físicas y químicas de éste se asocian a ciertos tipos de vegetación. Edafológicamente, los procesos químicos, físicos y biológicos funcionan de manera conjunta, dado que los tres tipos de procesos son complejos de manera independiente al interactuar entre sí generan una mayor complejidad. Para poder aplicar un mejor manejo y restauración a largo plazo, es esencial estudiar la organización y función del suelo a través de estudios de este en el mejor estado de conservación en el que se encuentre. El estudio de sus interacciones bióticas y abióticas a diferentes escalas, desde nivel molecular

hasta biomas, nos permite conocer los mecanismos del suelo. Otro enfoque es el estudio de sus interacciones suelo-planta lo cual permite comprender su impacto ecológico pues esta interacción puede ser retroalimentación positiva o negativa (Lavelle y Spain, 2012; Bonanomi *et al.*, 2006; Hooper *et al.*, 2005; Escamilla, 1999).

Cuando hay retroalimentación negativa suelo-planta, las condiciones para el establecimiento, crecimiento y reproducción son deficientes, estas condiciones son propiciadas por las mismas plantas (disminución de nutrientes en suelo, desarrollo de poblaciones patógenas, remplazo de la composición de la comunidad de microorganismos del suelo, liberación de compuestos alelopáticos durante la descomposición de la materia orgánica que causa fitotoxicidad). En el caso contrario la positiva, provee de las condiciones favorables para el establecimiento, crecimiento y reproducción, dichas condiciones son inducidas por las mismas plantas. Árboles y arbustos con rizosfera extensa facilitan la captación de nutrientes y acumulan materia orgánica, esto conduce a una distribución local de los nutrientes bajo el dosel llamada islas de fertilidad que promueve el desarrollo de nuevas especies. Lo que conlleva a efectos positivos sobre la especie misma y otras distintas (Bonanomi *et al.*, 2006; Rietkek, 2004; Wied y Galen, 1997; Schlesinger *et al.*, 1996; Callaway, 1995; Schlesinger *et al.*, 1990)

Las especies ecológicamente dominantes tienen fuerte influencia sobre las propiedades físicas, químicas y microbianas del suelo, así a largo plazo cada especie vegetal bajo las condiciones particulares del suelo obtienen características y funciones específicas dentro de su papel ecológico en una comunidad vegetal y en los procesos fundamentales del ecosistema tienen una gran influencia (Johnson *et al.*, 2003).

Los individuos arbóreos influyen en las propiedades del suelo, ya que cada uno tiene diferente demanda de agua, nutrientes, aporte de materia orgánica y determinan las comunidades bióticas en el suelo a través del flujo de energía por las dos vías (mantillo y secreciones radicales). Cambios en las propiedades del suelo pueden generar una realimentación positiva afectando composición y crecimiento de las plantas. Así mismo, la vegetación llega a afectar las propiedades del suelo de forma sutil pero siendo de utilidad para otros organismos. Por lo que, es difícil interpretar las relaciones suelo-planta (Aguilar *et al.*, 2012; Bais *et al.*, 2004; Morehead *et al.*, 1998;)

Sistema radical

La raíz es el órgano que crece en dirección contraria al tallo y que al introducirse en la tierra sirve para absorber agua, nutrientes y como sostén del organismo vegetal; también sirven como almacén alimenticio para un periodo de crecimiento posterior y excretan sustancias

capaces de inhibir el desarrollo de otros organismos. Las raíces perennes suelen ser gruesas y sólidas sirviendo principalmente como soporte a las plantas; las finas son estacionales o perviven pocas semanas o días y son ellas las que exploran el suelo para tomar agua y nutrimentos. El sistema radical de las plantas se encuentra generalmente en los horizontes superiores ligado íntimamente a la cantidad de nutrimentos, aireación y temperatura, sin embargo, dependiendo de la especie y tipo de suelo pueden alcanzar profundidades considerables (Doménech y Peral, 2006; Rzedowski, 1978).

En las especies perennes, las raíces secundarias son las que preferentemente se encargan de la absorción de nutrimentos. El sistema radical es acuñado para referirse a todo el conjunto de raíces ya que estas por sí solas presentan menor variabilidad morfológica que las hojas; tal vez por selección natural, el sistema de raíces fue mejorando en lugar de raíces individuales, por tanto la estructura es más importante que la morfología individual. Por lo general, la mayor parte de las raíces se localiza en los primeros 60 cm del suelo, pero estas pueden existir hasta llegar a la roca madre (Serra-Stepkel y Carey, 2010; Gutiérrez y Squeo, 2004).

El desarrollo y forma que va adquiriendo el sistema radical, depende de la textura del suelo, aireación, humedad, temperatura, compactación, nutrimentos, pedregosidad, herencia y el uso que se le dé a este recurso natural. Hardy en 1974 define al espacio radical, como el suelo que posee las características idóneas para permitir el desarrollo pleno de las raíces. Por tanto, al aumentar la compactación disminuye el número de raíces; sin embargo, en suelos con porosidades mayores a 40 por ciento, las raíces penetran con facilidad. El término de raíz, no se utiliza como tal ya que las raíces individuales no presentan una variabilidad morfológica considerable en comparación con las hojas, por ello se designa el término de sistema radical, ya que el conjunto de raíces fue el que evoluciona y no las raíces individualmente, por lo que en las raíces la arquitectura es más importante que la morfología (Serra-Stepke y Carey, 2010; Contreras-Morales *et al.*, 2008; Gutiérrez y Squeo, 2004).

Asimismo la planta es capaz de incorporar los elementos indispensables para su desarrollo a través de la raíz, tallos, hojas, órganos foliares y frutos. La entrada de la planta puede ser para algunos elementos directamente de la fase gaseosa; para otros en forma iónica después de ser solubilizados en agua y aún en forma de compuestos orgánicos de bajo peso molecular a través del follaje o la raíz (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009).

En el acceso de los nutrimentos hacia la raíz, es decir, la forma en que llegan a la zona del rizoplasma se plantean tres rutas que son:

- 1) **Intercepción:** en esta ruta de acceso, un ion adsorbido electrostáticamente, ya sea por raíz o el coloide, no queda retenido con demasiada fuerza si no que oscila dentro de un determinado y pequeño volumen, permitiendo un estrecho contacto entre la raíz y

los coloides del suelo. La planta crece y como consecuencia de su metabolismo excreta ácido carbónico por las raíces, el que al estar en contacto con la solución del suelo se disocia para formar H^+ y HCO_3^- ; los protones difunden hasta el coloide y tienen la capacidad de intercambiarse por otros cationes que se encuentren adsorbidos en este. El intercambio ocurre a una distancia no mayor a 5 nm entre la raíz y el coloide.

- 2) **Flujo de masas:** en esta ruta se requiere un flujo de nutrimentos disueltos en la solución desde la matriz del suelo hacia la raíz. Es un proceso pasivo y la cantidad de iones que se acumulen en la raíz dependerá de la concentración de los nutrimentos en la solución del suelo y de la tasa de evapotranspiración de la planta. La cantidad de un nutrimento en la rizosfera puede incrementar, mantenerse constante o disminuir, dependiendo del balance entre el suministro a la raíz por flujo de masas y su tasa de absorción.
- 3) **Difusión:** es el movimiento de una molécula de una región de mayor concentración a otra de menor concentración a través de un gradiente. Cuando la fuente de suministro en la rizósfera no se satisface por procesos de interceptación o flujo de masas se genera una fuerza de difusión para solventar la deficiencia nutrimental, este proceso es directamente proporcional al gradiente de concentración (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009).

Minerales

Los minerales de selvas tropicales húmedas han sido muy documentados, mientras que a las selvas tropicales secas se ha puesto menor atención en el pasado y aun hoy en día. Por un lado los minerales de estas zonas son calcita, yeso, dolomita o sales más solubles y se caracterizan por tener una estructura más sencilla, por lo que aparentemente no hay problemas que resolver. Por otra parte la ciencia del suelo tomó auge en climas templados húmedos, en los que por razones de régimen de humedad los minerales citados no existen en los suelos, lo que hizo adquirir una consideración menor frente a los minerales de arcilla. Por otra parte la baja cantidad de lluvia anual, por la frecuencia de eventos de baja pluviosidad, la poca penetración en el suelo, la baja percolación y la alta relación entre la evaporación potencial y la lluvia, sugieren una lixiviación limitada en los suelos de estas selvas; sin embargo la existencia de lluvias de alta densidad permite la intemperización de los minerales primarios de las rocas en este ecosistema ya que los factores del ambiente, incluidos los organismos, determinarán el ciclo de nutrimentos (Porta y López-Acevedo 2003).

Calcita y carbonato de calcio

En los carbonatos el anión CO_3^{2-} y los cationes se hallan unidos por enlaces iónicos. Las especies presentes en los suelos son las calcitas (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y a veces calcitas magnésicas por su constitución de Mg^{2+} ($\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{CO}_3$). Junto a los carbonatos pueden coprecipitar otros minerales adsorbidos en la calcita a base de P, V, Mn, Fe, Co y Cd o como inclusiones, este es el caso de los minerales de Zn y Cu. Los carbonatos de Ca y Mg se disuelven fácilmente en agua que contenga anhídrido carbónico pero no que contengan agua pura, dado que la actividad biológica hace que el suelo en un medio con CO_2 , será posible una movilización de estos carbonatos, lo que tendrá implicaciones genéticas y agronómicas. Esto permite explicar el lavado de carbonatos en climas húmedos en suelos con humedad percolante, también explica la ausencia de estos en suelos ácidos, así como su translocación en suelos con régimen de humedad no percolante en zonas semiáridas y áridas. Puede dar origen a acumulaciones filiformes (pseudomicelios), esferoidales (pisolitos, oolitos y nódulos), recubrimientos en las bases de los clastos (cemento geopetal), acumulaciones generalizadas en horizontes cálcicos o acumulaciones cementadas (horizonte petrocálcico) (Porta y López-Acevedo 2003).

Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

El yeso cristaliza en el sistema monoclinico. El Ca^{2+} está unido a seis átomos de O de grupos SO_4^{2-} y coordinado con dos moléculas de agua. Constituye la forma más común de sulfato de calcio en el suelo, ya que la anhidrita (CaSO_4), de ser heredada del material originario sólo se conserva en el suelo en climas muy áridos. En los demás casos evoluciona hidratándose rápidamente, lo que implica un crecimiento de volumen. En campo este yeso es blancuzco, puede formar acumulaciones cilíndricas de poco más de 1 mm (yeso vermiforme) o continuas (horizonte hipergypsico de yeso lenticular). En algunos suelos aparece otra modalidad de yeso, mucho más suave al tacto, como harinoso, de color entre blancuzco y rosado. A medida que aumenta la proporción de yeso en el suelo aumenta la resistencia a la penetración de las raíces. Los horizontes hipergypsicos formados por un 60 por ciento de yeso, resultan estériles para las plantas (Porta y López-Acevedo 2003).

Sales más solubles que el yeso

La expresión sales solubles, se emplea para designar a la halita (NaCl), cloruro magnésico ($\text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), tenardita (Na_2SO_4), mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y otras sales de fórmula más compleja, todas ellas posibles en suelos salinos. Trona ($\text{Na}_3\text{H}[\text{CO}_3]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y nacolita (NaHCO_3) son posibles en suelos alcalinos. La solubilidad de estos se halla en un intervalo de 250 a 400 gL^{-1} , de ahí las repercusiones para las plantas (Porta y López-Acevedo 2003).

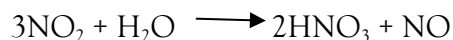
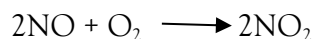
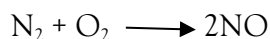
Estudios realizados en ecosistemas semiáridos muestran que los nutrientes del suelo pueden limitar la producción biológica en épocas cuando la humedad del suelo no es limitante para el crecimiento de las plantas. La distribución vertical y horizontal de nutrientes del suelo, está estrechamente relacionada con la distribución de la vegetación, su composición y biomasa. En asociación directa con la presencia de árboles y arbustos, los nutrientes están concentrados en parches o islas de fertilidad; estos patrones espaciales resultan de la absorción de nutrientes a través de sus sistemas radicales y que son retornados al suelo cuando eliminan sus hojas. Además, la actividad descomponedora se ve incrementada con la humedad del suelo que prevalece bajo la sombra de los arbustos. Los microorganismos asociados con las islas de fertilidad son importantes para el crecimiento de las plantas ya que favorecen la asimilación de nutrientes, producen hormonas que promueven el crecimiento, fijan nitrógeno y suprimen patógenos entre otras funciones (Grimm y Fassbender, 1981; Bohon *et al.*, 1993; Ríos, 1999; Cox, 2002; Doménech y Peral, 2006).

Nutrientes

Nitrógeno

Participa en la absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis, multiplicación y diferenciación celular, herencia y todo el metabolismo (ver cuadro 1). Los procesos que aportan nitrógeno aprovechable para las plantas son los siguientes:

- 1) **Precipitación pluvial;** contiene óxidos de nitrógeno o nitratos sintetizados por las descargas eléctricas mediante las siguientes reacciones:



O como productos de la contaminación del ambiente, causadas por la industria. La cantidad de nitrógeno aportado por el agua de lluvia se estima entre 1 y 50 kg ha⁻¹ por año. Los aportes más grandes se localizan en las zonas industriales y las zonas tropicales en las que son frecuentes las descargas eléctricas.

- 2) **Mineralización de la materia orgánica;** por lo regular del 97 al 99 por ciento del nitrógeno en el suelo se encuentra en formas orgánicas muy complejas, por lo que al mineralizarse la materia orgánica libera nutrientes entre ellos nitrógeno.

Residuos animales y vegetales

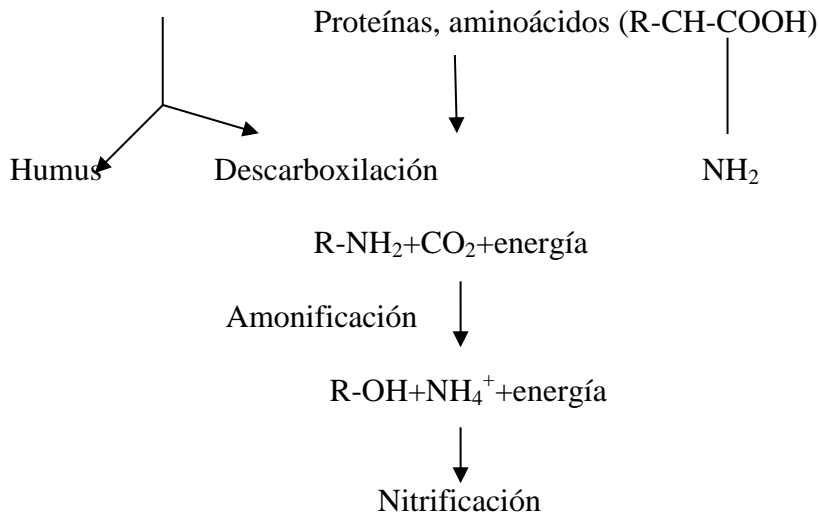


Figura 1. Descomposición de la materia orgánica (Alcántar y González, 2009)

- 3) **Fijación de nitrógeno atmosférico por organismos simbióticos.** La simbiosis puede ocurrir en casi todas las leguminosas, aunque las plantas de otras familias, son también capaces de exhibir este fenómeno (Betulnaceae, Eleagnaceae, Coriaceae, Rhamnaceae, Casuarinaceae) *Rhizobium* es el género de bacterias involucradas en la simbiosis con las leguminosas, ella fija el nitrógeno atmosférico cediéndolo a la planta y en cambio recibe carbono orgánico fijado por la planta en la fotosíntesis.
- 4) **Fijación de nitrógeno atmosférico por microorganismos bajo simbiosis facultativa,** esto se refiere a bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, *Azotobacter paspalum*, que se encontró asociada a un zacate tropical de nombre *Paspalum notatum*. También se han encontrado asociaciones de bacterias con el maíz, caña de azúcar y arroz.
- 5) **Fijación de nitrógeno atmosférico por organismos no simbióticos** como: las bacterias de los géneros, *Clostridium*, *Azotobacter*, *Rhodospirillum*, *Beijerinckia* y *Dexia*; los hongos del género *Phoma* y las algas *Cianoficeas* (Azul-Verdes) de las familias Nostocaceae y Oscillatoriaceae (Alcántar y Trejo-Téllez 2009; Navarro y Navarro, 2003).

Fósforo

El fósforo se encuentra en el suelo en forma orgánica e inorgánica, el fósforo inorgánico en el suelo se encuentra en tres formas; a) como constituyente de minerales fosfatados, b) adsorbido a la fracción mineral u orgánica del suelo y c) en solución. El fósforo orgánico representa entre el 20 y el 80 por ciento del total presente en el suelo y se encuentra prácticamente ausente en la solución del mismo, las formas orgánicas de fósforo son; a) fosfatos del inositol, los más abundantes representando hasta el 30 por ciento del total de fósforo orgánico, b) ácidos nucleicos (ribonucleico y desoxirribonucleico), constituidos por mononucleótidos, los cuales están formados por un azúcar, bases nitrogenadas y un grupo fosfato y c) fosfolípidos, constituidos por moléculas de glicerol, dos ácidos grasos y una base unida al glicerol a través del ion fosfato.

También el fósforo orgánico requiere mineralizarse para ser aprovechable para las plantas. Dicha mineralización ocurre por una enzima llamada fosfatasa y está influenciada por la temperatura, el pH, la aireación, la naturaleza de la materia orgánica y la relación Ca/P, ya que si esta es menos de 200, el fósforo orgánico se mineraliza, pero si es igual o mayor a 300 se inmoviliza. El fósforo inorgánico, en la naturaleza de los minerales fosfatados predominantes en un suelo depende principalmente del pH del propio suelo. En los suelos neutros o alcalinos la mayor proporción del fosfato se encuentra asociado con el calcio, en los siguientes compuestos en orden descendente de solubilidad y consecuente orden creciente de relación Ca/P:

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ fosfato monocálcico, CaHPO_4 fosfato dicálcico, $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3\text{H}_2\text{O}$ fosfato octacálcico, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ fosfato tricálcico, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ hidroxiapatita y $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ fluorapatita.

En los suelos ácidos, el fósforo se encuentra asociado normalmente al aluminio o al hierro en forma de fosfatos amorfos o de minerales como:

$\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ variscita, $\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ wavelita, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ estrengita y $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ vivianita.

Promueve el almacenamiento y transferencia de energía y participa en todo el metabolismo (cuadro 1).

Factores que afectan la disponibilidad del fósforo:

- 1) Reacción pH en el suelo; Precipitación al reaccionar con aluminio, hierro y manganeso en suelos con pH menor a 5, Adsorción en suelos ácidos con valores

mayores a 5, el hierro y el aluminio se encuentran en forma de sesquióxidos hidratados coloidales, con una alta capacidad de adsorción de fosfatos. Oclusión es cuando los fosfatos van quedando cubiertos por otros minerales, Reversión sucede cuando los fosfatos de calcio se precipitan reduciendo su solubilidad.

- 2) Tipo de arcilla mientras más cristalino es el material arcilloso, menor es su capacidad de fijación de fósforo.
- 3) Mientras mayor sea el aporte de materia orgánica, mayor será el aprovechamiento de fósforo (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009; Navarro y Navarro, 2003).

Potasio

El potasio es el séptimo elemento más abundante en la Tierra. Se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre que tiene 2.6 por ciento de potasio, formando parte de los minerales primarios como los feldspatos ($KAlSi_3O_8$) principalmente ortoclasa y microlina en arenas y limos, o bien en forma de micas como muscovita $H_2K Al_3 (SiO_4)_3$ o biotita $(H, K)_2 (Mg, Fe)_2 Al_2 (SiO_4)_3$ en esos mismos separados texturales. La susceptibilidad de intemperización decrece en el orden biotita, muscovita, feldspatos.

El potasio se localiza también en la estructura de muchos minerales secundarios, especialmente en ilitas, vermiculitas, cloritas y otras arcillas interstratificadas. La intemperización de los minerales primarios y secundarios libera potasio hidrosoluble e intercambiable que puede ser aprovechado por las plantas.

Se relaciona con las propiedades osmóticas, apertura y cierre de estomas, fotosíntesis, transporte de carbohidratos y otros productos, respiración, síntesis, fijación simbiótica del nitrógeno (cuadro 1). Aunque el contenido total de potasio en el suelo no correlaciona con el potasio absorbido por las plantas, representa una disponibilidad potencial. Desde el punto de vista de su aprovechamiento de las plantas se puede clasificar en tres formas:

- 1) Potasio no aprovechable.- Constituido por el potasio estructural que forma parte de minerales primarios y secundarios, representa del 90 al 99 por ciento de potasio en el suelo, aunque no es directamente aprovechable, constituye una reserva mediante la intemperización.
- 2) Potasio lentamente aprovechable.- Representa de uno al 10 por ciento del total y se considera en esta categoría al potasio fijado en los espacios intermicelares de arcillas tipo 2:1 como illita, vermiculita y montmorillonita. Esta fijación no ocurre en caolinita o humus.
- 3) Potasio fácilmente aprovechable.- Esta categoría la constituye el potasio hidrosoluble y el intercambiable y representa el uno al dos por ciento del total.

El potasio hidrosoluble y el presente en la materia orgánica en el suelo representan una fracción muy pequeña del total; pero el equilibrio dinámico entre el potasio hidrosoluble, el intercambiable y el fijado, puede abastecer los requerimientos vegetales.

El potasio puede sustraerse de la zona de las raíces de cuatro formas:

- 1) Absorción del potasio por las plantas es proporcional a su contenido en forma aprovechable en el suelo, aun en condiciones muy superiores a las requeridas para el máximo requerimiento, lo que origina su acumulación en los tejidos, fenómeno conocido como “consumo superfluo”. La máxima acumulación ocurre durante la floración. Después puede ocurrir un importante retorno de potasio al suelo. El potasio interactúa en la absorción de otros nutrientes, tal es el caso de la interacción potasio-calcio. Los excesos de potasio reducen la absorción del calcio. Por el contrario el calcio favorece la absorción del potasio, ya que aquel es un cofactor en la utilización del complejo K-transportador, sintetizado en el proceso de la absorción activa del potasio. Existe un antagonismo potasio-magnesio similar al encontrado entre potasio y calcio.
- 2) Si el boro es limitante en el suelo, fuertes adiciones de potasio inducen una mayor deficiencia de aquel elemento; sin embargo este antagonismo no ocurre si hay suficiente boro en el suelo.
- 3) Lixiviación, la pérdida de potasio a capas inferiores fuera del alcance de las raíces es muy frecuentes en suelos arenosos, altamente permeables de regiones lluviosas.
- 4) La fijación del potasio ocurre cuando el suelo tiene arcillas tipo 2:1 con sustitución isomórfica en tetraedros, las cuales son capaces de permitir este fenómeno. Sin embargo, no es definitiva ya que es una forma de reserva (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009; Navarro y Navarro, 2003).

Magnesio

Se estima que el magnesio constituye el 1.93 por ciento de la corteza terrestre, formando parte de minerales primarios y secundarios como la biotita, dolomita, clorita, serpentinas, olivino, talco, ágüita y hornblenda, que al interperizarse liberan Mg^{2+} a la solución del suelo en donde puede ser luego lixiviado, absorbido por plantas superiores o microorganismos, adsorbido en el complejo de intercambio o reprecipitado.

Absorción iónica, fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, síntesis orgánicas, balance electrolítico, estabilidad de los ribosomas. Las deficiencias de magnesio son frecuentes en zonas de suelos arenosos de regiones lluviosas, la absorción de

magnesio por las plantas se ve estimulada por los nitratos, en cambio algunos otros iones antagonizan con su absorción o agravan la deficiencia de magnesio en las plantas. Tal es el caso del amonio, fosfatos, potasio, calcio, hidrogeno y sulfatos (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009).

Manganeso

El contenido de manganeso total en los suelos varía de 200 a 300 ppm en forma de cationes intercambiables, combinaciones orgánicas y óxidos. La forma divalente Mn^{2+} es común en pH inferiores a 6.5 y se le encuentra como óxido (Mn_2O_3) muy activo, por lo que se le considera aprovechable. La forma tetravalente Mn^{4+} es común a pH mayores de 8 y se encuentra como óxido estable (MnO_2) insoluble. Participa en la absorción iónica, fotosíntesis, respiración, control hormonal y en la síntesis de proteínas. Sin embargo, entre las tres formas de manganeso hay cierto equilibrio dinámico.

Los factores que afectan la aprovechabilidad de manganeso en los suelos son las siguientes:

- ① La materia orgánica forma complejos muy estables con el manganeso, que lo hacen aprovechable. Las deficiencias de manganeso se acentúan en los veranos secos, porque la falta de agua reduce la velocidad de mineralización de la materia orgánica y en consecuencia la liberación de manganeso aprovechable.
- ② Altos valores de pH favorecen la oxidación química y bacteriana del manganeso, reduciendo su aprovechabilidad. Las toxicidades de manganeso son comunes en suelos ácidos y las deficiencias se acentúan en suelos alcalinos.
- ③ La humedad en el suelo también influye, ya que en suelos inundados, orgánicos, en épocas frías las deficiencias son mayores y comunes, debido a la reducida actividad microbiológica que conserva la materia orgánica y al no liberar CO_2 mantiene alto el pH (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009 y Navarro y Navarro, 2003).

Cobre

La concentración total de cobre varía de 2 a 200 ppm y la mayor parte se encuentra atrapado en la materia orgánica una pequeña fracción se encuentra como Cu^{2+} intercambiable, participa en la fotosíntesis, respiración, regulación hormonal, fijación de nitrógeno (efecto indirecto) y en el metabolismo de compuestos secundarios (cuadro 2). Como factores que regulan el aprovechamiento del cobre en los suelos puede señalarse:

- ① Las deficiencias de cobre son comunes en los suelos orgánicos debido a la formación de complejos muy estables del metal con la materia orgánica. La estabilidad de estos

complejos es mayor mientras mayor es el contenido de nitrógeno y/o azufre en la materia orgánica. Aparentemente el azufre interviene en las ligaduras entre el cobre y los complejos orgánicos.

- ④ La actividad del Cu^{2+} decrece al aumentar el pH en la solución del suelo.
- ④ Cantidades altas de fosfatos en el suelo reducen la disponibilidad de Cu, Mn y Zn (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009; Navarro y Navarro, 2003).

Cuadro 1: Funciones de los macronutrientes en plantas (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009).

Elemento	Estructural	Constituyente o activador de enzimas	Procesos
Nitrógeno	Aminoácidos, proteínas bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, vitaminas, glico y lipoproteínas, pigmentos	Constituyente en todas	Absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis, multiplicación y diferenciación celular, herencia y todo el metabolismo
Fósforo	Esteres de carbohidratos, fosfolípidos, coenzimas, ácidos nucleicos, nucleótidos	Deshidrogenasas, reductasas, cinasas, sintasas.	Almacenamiento y transferencia de energía y todo el metabolismo
Potasio	Predominante en forma iónica y unido a moléculas de bajo peso molecular (carboxilatos) por enlaces de baja energía.	Cinasas, sintetasas, deshidratasas, aldolasas, deshidrogenasas.	Propiedades osmóticas, apertura y cierre de estomas, fotosíntesis, transporte de carbohidratos y otros productos, respiración, síntesis, fijación simbiótica del nitrógeno.
Magnesio	Clorofilas	Tiocinasas, cinasas, hexocinasas, enolasas, deshidrogenasas, descarboxilasas, carboxilasas, sintetasas, transferasas	Absorción iónica, fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, síntesis orgánicas, balance electrolítico, estabilidad de los ribosomas.

Cuadro 2 Funciones de los micronutrientos de las plantas (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009).

Elemento	Estructural	Constituyente o activador de enzimas	Procesos
Cobre	Proteínas (anurina, estelacianina, umecianina, glicoproteínas)	Oxidasa, polifenoloxidasas, carboxilasas.	Fotosíntesis, respiración, regulación hormonal, fijación de nitrógeno (efecto indirecto), metabolismo de compuestos secundarios.
Manganeso	Manganina	Sintetasas, ATP-asas, cinasas, enolasas, deshidrogenasas, descarboxilasas, pirofosforilasas, transferasas, oxidasas.	Absorción iónica, fotosíntesis, respiración, control hormonal, síntesis de proteínas.

Biogeoquímica de suelos

La estructura de la biogeoquímica de los ecosistemas naturales fue resultado de la co-evolución de la geosfera y a biosfera, durante esta co-evolución cada unidad elemental geoquímica (la unidad más pequeña de la organización superficial de la Tierra) ha correspondido a un ecosistema específico con redes biogeoquímicas regulares de nutrición. Los ciclos biogeoquímicos en gran medida son determinados por la biota, especialmente por la producción primaria de las plantas y por la descomposición microbiana (biogeoquímica del ecosistema). Por lo que, los ciclos biogeoquímicos son los responsables de que existan nutrientes disponibles en la naturaleza, puesto que el C, N, y el P son indispensables para toda forma de vida. Estos ciclos han ido cambiando a lo largo de la historia del planeta debido al trabajo de los microorganismos. En los ciclos biogeoquímicos participan un gran número de procesos que es importante mencionar: 1) entrada de nutriente ya sea por vía atmosférica o por meteorización, 2) la salida de nutrientes por exportación hídrica o gaseosa o de forma particulada y 3) la recirculación de nutrientes entre el suelo y la vegetación por los procesos de descomposición, producción, mineralización y absorción por las hojas y raíces (García-Oliva *et al.*, 2010, Bosco *et al.*, 2004).

La cantidad de nutrientes que son transferidos al suelo desde la planta puede ser modificada por el proceso de absorción o retranslocación. El proceso consiste en la hidrólisis de los nutrientes de las hojas y el transporte de éstos hasta los tejidos donde se almacenarán y desempeñarán sus diversas funciones. La reabsorción es importante en el caso del N y P (Gallardo *et al.*, 2005).

Se designa ciclo biogeoquímico al conjunto de los procesos que aseguran el reciclado

permanente y más o menos rápido de distintos elementos y que los hacen pasar del estado orgánico al mineral y a la inversa. Un ciclo de nutrimento representa el desplazamiento de éste de la parte abiótica a la parte biótica y de regreso a la reserva, donde nuevamente queda a disposición de los productores. Otra forma de entenderlo es que consta de la circulación de nutrimentos entre las plantas y el suelo por absorción radicular y foliar, retranslocación, pluviolavado y puede haber pérdidas por herbivoría, desfronde y descomposición. Los ciclos biogeoquímicos contribuyen a asegurar la homeostasia de los ecosistemas y su permanencia. También al ciclo biogeoquímico se le conoce como ciclo interno de nutrimentos (Audesirk *et al.*, 2003; Bosco *et al.*, 2004; Dajoz y Leiva, 2003).

El ciclo biogeoquímico representa la circulación permanente de elementos entre los distintos compartimientos del ecosistema, la vegetación y los horizontes del suelo acompañados por el sistema radical. Los elementos preservados en el suelo, sirven para la elaboración de biomasa anual y perenne; una parte de esos elementos es inmovilizada, otra se devuelve al suelo; una parte importante es utilizada para el soporte de los órganos y crecimiento vegetal. Este ciclo posee conexión: por aportes atmosféricos y los elementos producidos por la alteración de los minerales, también por el drenaje de la zona de las raíces, la erosión y las pérdidas gaseosas con el exterior por desnitrificación y pérdida de CO₂ (Álvarez-Sánchez, 2001).

Es importante destacar la diferencia que existe entre la biogeoquímica, el ciclo geoquímico y el ciclo bioquímico. El ciclo geoquímico es un ciclo continuo de nutrimentos entre la litosfera, biosfera, hidrósfera y atmósfera. Consta de una entrada de nutrimentos al ecosistema por meteorización de la roca madre, aportes atmosféricos o transferencias por biota y de las salidas de nutrimentos del ecosistema por lixiviación, escorrentía, transferencias por la biota y la explotación de recursos. También se conoce como ciclo externo. El ciclo bioquímico es el proceso de redistribución de nutrimentos de tejidos viejos hacia tejidos nuevos en la planta, o sea, la transferencia de nutrimentos se lleva a cabo en el interior de la biomasa (Bosco *et al.*, 2004; Oxford-Complutense, 2000; Winckler *et al.*, 1999).

En resumen se tiene que las entradas y salidas de nutrimentos del ecosistema constituyen el ciclo externo de nutrimentos o ciclo geoquímico, a la retranslocación como ciclo bioquímico y la circulación de nutrimentos entre las plantas y el suelo el ciclo interno, ciclo biogeoquímico o biogeoquímica. Existen diferentes almacenes en el ecosistema por donde transcurren los nutrimentos como son: biomasa aérea (fuste, corteza, ramas y hojas), raíces, mantillo, suelo y material geológico. No todos los nutrimentos tienen la misma movilidad a través de la naturaleza y cada uno de ellos tiene características particulares (Bosco *et al.*, 2004; Dajoz y Leiva, 2003).

El retorno anual de la materia orgánica y bioelementos al suelo están asociados bajo la forma de hojarasca, conformada por un conjunto de estructuras vegetales (como las hojas, tallos, frutos y flores), es uno de los condicionantes más importantes en la renovación de los nutrimentos en los matorrales. Las fluctuaciones estacionales en la producción de hojarasca están reguladas fundamentalmente por procesos y factores biológicos y climáticos aunque también son relevantes la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal y edad de los ecosistemas. La hojarasca que cae al suelo forma un estrato orgánico conocido como mantillo, cuya estructura y composición es característica de cada ecosistema. Este estrato cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura y humedad, evita la erosión, y retorna elementos nutritivos en una cantidad importante. Por descomposición y mineralización de las sustancias orgánicas, los elementos nutritivos son liberados y captados en la solución del suelo, siendo la principal ruta de entrada de nutrimentos minerales y materia orgánica en los sistemas vegetales, así mismo constituye el principal abastecimiento para los organismos que en él habitan e interrelacionando los sistemas suelo-planta (IUSS, 2007; García-Sánchez, 2005; Gutiérrez y Squeo, 2004; Russell y Russell, 1984; Bohm, 1979).

Almacenaje de nutrimentos

En los ecosistemas, la hojarasca constituye estructuras de muy distinta naturaleza, fundamentalmente hojas, estructuras leñosas y en menor medida, estructuras derivadas de los procesos reproductivos de las plantas, como partes florales, frutos, semillas y accesorios de éstas. Los principales ingresos de nutrimentos al ecosistema son a través de la caída de hojarasca, además de la lluvia directa y de la lluvia que ha tenido contacto con el dosel de la vegetación. Por otro lado, el mantillo es la capa de residuos orgánicos que yace sobre la superficie del suelo de las comunidades vegetales. La complejidad y profundidad del mantillo en un sitio dado están determinadas por un balance entre la caída de hojarasca y su destrucción por agentes físicos, reacciones químicas y actividad de los organismos del suelo, por lo que, una vez que la hojarasca entra en contacto con la superficie del suelo cambia a mantillo por las interacciones entre factores bióticos y abióticos con esta. El suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra. Desde el punto de vista científico el suelo constituye el objeto de estudio de la Edafología, cuya definición es: ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre la roca madre (Facelli y Pickett, 1991).

También cada especie vegetal aporta cantidades variables de hojarasca e incorpora a su tejido cantidades distintas de nutrimentos, mismos que son retornados al ambiente edáfico a través de la mineralización del mantillo aportado, de este modo las especies vegetales tienen efectos significativos en los procesos del ecosistema como: ciclo de nutrimentos, descomposición del mantillo, formación de suelo, tasas de mineralización neta del N y tamaño y distribución de

los almacenes de C y N en el piso forestal e induce a cambios persistentes en el tiempo que son determinantes en la estructura y función del ecosistema (Madritch y Cardinale, 2007; Smolander y Kitunen, 2002).

Materia orgánica (M.O.)

El proceso más importante en la naturaleza es el de descomposición de la materia orgánica, la cual es transformada en compuestos elementales. En el proceso se pueden distinguir las siguientes etapas: trituración, lixiviación, catabolismo y humificación en las que intervienen los factores climáticos, las propiedades físicas y químicas del suelo y la biota. Los suelos, por lo general se forman a partir de materiales originarios sin material orgánico. La M.O. fresca (biomasa muerta o necromasa) procedente de plantas, animales, microorganismos, son los que permiten explicar, la presencia de M.O. en los suelos. Las entradas de M.O. llegan a compensar las pérdidas, lo que tiene lugar en un periodo de 100 años para epipediones con textura fina y de unos 1.500 años para los arenosos (Álvarez-Sánchez, 2001; Porta y López-Acevedo, 2003).

La M.O. de un suelo se compone de:

- ① **M.O. no humificada:** Biomasa vegetal, necromasa procedente de la parte aérea de la vegetación y raíces, y de restos, deyecciones y secreciones de animales. Constituye una fuente de energía para las comunidades saprófitas que las consumen.
- ② **Biomasa microbiana:** masa de microorganismos y microfauna menores a $5 \times 10^3 \mu\text{m}$. esta poco o nada alterada y no se encuentra unida a la fracción mineral. Se puede separar por procesos físicos.
- ③ **Humus:** se encuentra constituido por sustancias resultantes de la alteración (desnaturalización, desorganización y cambios en la funcionalidad) de productos sintetizados por las plantas y los microorganismos. Con uniones débiles de fracción mineral.

En los suelos forestales, la vegetación aporta a la superficie del suelo: hojarasca, ramas restos vegetales y deyecciones, que forman el mantillo. La calidad determina la velocidad de descomposición. Cuando más lábil sea una M.O. incorporada al suelo, más rápida será su contribución energética a los microorganismos del suelo y al flujo de nutrimentos, es decir la productividad del ecosistema. La relación C/N entre el contenido de carbono orgánico (C) y del nitrógeno (N), determina la tasa a la cual el nitrógeno estará disponible para las plantas, por lo que se puede utilizar como indicador de calidad de M.O. de medios anaerobios, si solo se atiende a la facilidad de descomposición (Porta y López-Acevedo, 2003).

Los factores que afectan la descomposición de la M.O. en el suelo son los siguientes:

- 1) Naturaleza de sus componentes, está constituida por carbohidratos (celulosa, hemicelulosas, almidones, azúcares) ligninas, taninos, ácidos orgánicos, grasas, ceras, aceites, resinas, compuestos nitrogenados (proteínas, aminoácidos) y pigmentos. Los productos más difíciles de descomponer son las ligninas y las ceras.
- 2) Agua y oxígeno disponible, el exceso de humedad retarda y hace incompleta la descomposición de la M.O. mientras que la falta de oxigenación retarda la oxidación de la materia orgánica y por tanto la liberación de CO₂.
- 3) pH en el suelo afecta al tipo de microorganismos que realizan la descomposición, en pH ácido predomina la actividad fungosa, mientras que en pH neutro o alcalino, predominan la descomposición de bacterias y actinomicetos. Los hongos son más eficientes que las bacterias o actinomicetos en la generación de humus
- 4) Relación Ca/N si esta es mayor de 30, no hay una liberación inmediata de nitrógeno aprovechable liberado en el suelo; por el contrario si es menor de 20, algo de nitrógeno se mineraliza quedando disponible para las plantas.
- 5) Temperatura ya que si esta es alta favorece la descomposición de la M.O. El óptimo esta entre 30° y 45° C (Alcántar yTrejo-Téllez, 2009).

Selva Baja Caducifolia (SBC)

Pocos estudios se han realizado en torno a los ciclos de nutrimentos en los ecosistemas de México y son menores si consideramos a cada uno de los tipos de vegetación. La SBC de Miranda y Hernández (1963), conocida también como bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1978), bosque tropical deciduo (Leopold, 1950), bosque tropical seco (Gentry, 1982) y recientemente, como bosque tropical seco estacional ("seasonally dry tropical forest"). Presenta un clima cálido, con una temperatura media anual de 20 a 29°C, que guarda relación con su grado de humedad, presenta una estación de secas que puede ir de cinco a ocho meses y otra de lluvias muy marcadas a lo largo de año, su precipitación media anual oscila de 600 a 1200mm (Leon de la Luz *et al* 2012; SEMARNAT, 2002; Rzedowski, 1978).

En condiciones poco alteradas sus árboles son en promedio de ocho a 12 m de alto, pero pueden llegar hasta 15 m de altura. Entre las especies más frecuentes de este tipo de vegetación se encuentran: *Bursera spp.* "cuajote" o "copal", *Ceiba aesculifolia* "pochote", *Cyrtocarpha procera* "coco de cerro", con *Neobuxbaumia spp.* "gigante". En épocas de secas, el 50 por ciento o más de la vegetación pierden sus hojas. Cubre grandes extensiones casi continuas desde el sur de Sonora y el suroeste de Chihuahua hasta Chiapas, así como parte

de Baja California Sur. En la vertiente del Golfo se presentan tres franjas aisladas mayores: una en Tamaulipas, San Luis Potosí y norte de Veracruz, otra en el centro de Veracruz y una más en Yucatán y Campeche, cubre así mismo el cinco por ciento del territorio nacional. Se localiza en lomeríos y laderas, los suelos son someros y pedregosos, muy pocas veces son profundos. Se encuentra a altitudes de 0 a 1900 msnm, pero son más comunes entre los 500 y 1500 msnm, los climas que presenta son: Aw (tropical con secas en invierno), BS (clima semiárido) y Cw (templado con secas en invierno) (Rzedowski *et al.*, 2005; Raven *et al.*, 2004).

Como actividades de importancia económica destaca la ganadería (principalmente vacuno), agricultura a base de hortalizas como maíz, frijol, ajonjolí y frutales, forestal en especial maderas para artesanías y aceites y la producción de agaves para destilados. Actualmente es un ecosistema que se encuentra seriamente amenazado, con una tasa de destrucción de alrededor del dos por ciento anual (SEMARNAT, 2002).

La SBC es el tipo de vegetación tropical más abundante en México y de los más ampliamente distribuidos en Latinoamérica, ya que del total de las vegetaciones tropicales del país ésta representa el 64 por ciento, el resto (36 por ciento) son bosques de hoja perenne. A su vez, está sujeta al mayor riesgo de desaparecer ya sea por el poco interés que esta genera, principalmente en la época seca que abarca de octubre a mayo, donde se desprende de la mayor parte de las láminas foliares y se muestra con colores grisáceos, mientras que en la época de lluvias de junio a septiembre, luce una exuberante cobertura verde. Pero biológicamente tiene gran relevancia, ya que en ésta se encuentran más del 40 por 100 de plantas endémicas y más del 55 por 100 de su vegetación es utilizada por las comunidades humanas y provee la mayor parte de las plantas medicinales del país, además de salvaguardar muchas especies de mamíferos superiores. La superficie de las selva baja caducifolia original era del ocho al 14 por ciento del territorio nacional, pero se ha visto reducida en gran medida, además la mayor parte de las regiones rurales habitan en una SBC. Por lo que su importancia biológica, ecológica y cultural es primordial (COMABIO, 2011; Arias *et al.*, 2002, Jaramillo, 2000; Trejo y Dirzo, 2000).

En México se estima que solo el 27 por ciento del área original cubierta por selvas tropicales secas ha permanecido intacta, esto a partir de la década de 1990, pero irónicamente, sigue siendo uno de las menos estudiadas de los ecosistemas tropicales. Al igual que la mayoría de las zonas neotropicales, la tasa de conversión de la tierra y el cambio de la cubierta vegetal son muy altos en México. Se ha estimado que el 1.4 al 1.9 por ciento de la selva baja caducifolia de Chamela cada año cambia su uso de suelo, la selva baja caducifolia ocupa un 15.69 por ciento de la superficie del estado de Puebla, sobre las laderas abruptas de la Sierra Madre del Sur; abarca casi por completo la zona semiárida y subhúmeda de la Mixteca Alta, en los límites con los estados de Guerrero, Oaxaca y Morelos. Los elementos que conforman este tipo de vegetación alcanzan hasta los 10 metros de altura. En general, las comunidades que se

encuentran sobre pendientes accidentadas están conservadas, debido a su difícil acceso; pero en terrenos con pendientes menos abruptas, generalmente se encuentran en estado secundario (arbóreo, arbustivo y herbáceo), debido al desmonte y quemas por la poca agua, los suelos someros son fácilmente erosionados (COMABIO, 2011; Trejo y Dirzo, 2000).

JUSTIFICACIÓN

La selva baja caducifolia es un ecosistema con una gran diversidad, y particularmente tiene muchos endemismos. Es uno de los ecosistemas que abarca una gran área de superficie en México, es muy útil antropológicamente ya que el tipo de suelo hace posible una muy buena producción de la agricultura y ganadería, razón por la cual existen grandes asentamientos humanos, mismos que ejercen una alta presión sobre estos ecosistemas provocando el cambio de uso forestal a agrícola y pecuario de extensas áreas, lo cual provoca pérdida de biodiversidad y degradación del ecosistema. Por otro lado existen pocas investigaciones enfocadas al conocimiento de los ciclos de nutrientes en estos ecosistemas que permitan comprender su dinámica. La importancia del presente estudio radica en que aporta información sobre la estructura y composición de estos ecosistemas y su relación con el ambiente edáfico a través del estudio del ciclo interno de seis nutrientes esenciales que permitirán comprender su funcionamiento para proponer alternativas de manejo para su conservación.

HIPÓTESIS.

Si la cobertura vegetal es un reflejo de las condiciones edafoclimáticas del lugar, evaluando la biomasa vegetal y las características físicas, químicas y nutrimentales en ésta y en el suelo, en época húmeda y seca, será posible comprender la circulación de nutrientes entre lo vivo y lo no vivo, para de este modo proponer alternativas de manejo y rehabilitación.

OBJETIVOS:

GENERAL

Comprender la relación entre las características físicas y químicas del perfil del suelo y la distribución del sistema radical en una Selva Baja Caducifolia, en Izúcar de Matamoros, Puebla.

PARTICULARES

Determinar las especies vegetales encontradas en el sitio de estudio

Realizar un análisis de la vegetación para conocer el valor de importancia de las especies presentes en el sitio de estudio.

Conocer el aporte anual de hojarasca dentro del ecosistema.

Conocer las concentraciones de N, P, K, Cu Mn y Mg en hojarasca, mantillo, suelo, raíz y láminas foliares en los periodos de humedad y sequía de la selva baja caducifolia

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción del área de estudio

Puebla cuenta con una superficie de 34 290 km², que representa el 1.7 por ciento del territorio nacional, cuyos límites encierran cuatro provincias fisiográficas: Sierra Madre Oriental, Llanura costera del Golfo Norte, Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Sur, constituidas a su vez por 10 subprovincias fisiográficas, que se distinguen por su geología, altitud, hidrología, clima, precipitación pluvial, suelos y vegetación. Izucar de Matamoros se localiza Entre los paralelos 18° 19' y 18° 41' de latitud norte; los meridianos 98° 17' y 98° 34' de longitud oeste; altitud entre 1 000 y 1 600 m. Colinda al norte con los municipios de Tilapa, Tepeojuma y Epatlán; al este con los municipios de Epatlán, Ahuatlán y Tehuiztingo; al sur con los municipios de Tehuiztingo y Chiautla; al oeste con los municipios de Chiautla, Chietla, Atzala, Chietla y Tilapa. Ocupa el 1.6 por ciento de la superficie del estado, cuenta con 86 localidades y una población total de 69 413 habitantes. Se localiza en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico con las subprovincias Sierras del Sur de Puebla (62 por ciento) y Lagos y Volcanes de Anáhuac (38 por ciento) (CONABIO, 2011).

El estudio se realizó en una selva baja caducifolia ubicada en Izúcar de Matamoros (18°31'43" norte, 98°24'54" oeste) entre los poblados de San Juan Raboso y el Tepenene sobre la carretera federal a Oaxaca (figura 2). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, presenta temperaturas medias anuales entre 22 ° y 26 °C y precipitaciones totales al año que van de 700 a 900 mm, su porcentaje de lluvia invernal es menor de 5mm cálido subhúmedo con lluvias en verano (92 por ciento) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano (ocho por ciento). En cuanto a su geología cuenta con rocas de los tipos; ígnea extrusiva: andesita-toba intermedia (28 por ciento), dacita (tres por ciento) y toba ácida (dos por ciento) Sedimentaria: conglomerado (18 por ciento), caliza (7 por ciento) y yeso (dos por ciento) Metamórfica: metasedimentaria (16 por ciento) y Suelo: aluvial (18 por ciento), y tipos de suelos Leptosol (74 por ciento), Vertisol (18 por ciento) y Gypsisol (dos por ciento),

una vegetación Selva (57 por ciento) y bosque (uno por ciento) y un uso de suelo para agricultura (36 por ciento) y zona urbana (seis por ciento) (INEGI, 2009).



Figura 2. Selva baja caducifolia en las dos épocas, ubicada en Izúcar de Matamoros entre los poblados de San Juan Raboso y el Tepenene sobre la carretera federal a Oaxaca.

TRABAJO EN CAMPO

Selección del sitio

Se efectuaron recorridos en el sitio de interés a estudiar para elegir los diez puntos de muestreo, el sitio específico se seleccionó utilizando como criterios: la estructura de la cobertura vegetal, presencia o ausencia de tocones, presencia de mantillo y composición de la comunidad vegetal, el fin fue elegir un sitio con el menor grado de perturbación posible en un área total de 300 m x 300 m.

Apertura y descripción morfológica del perfil de suelo

La apertura de perfiles, descripción morfológica y toma de muestra se efectuó con base al manual de Cuanalo de la Cerda (1975) y NOM-021-SEMARNAT-2000, la identificación de los suelos se realizó con base en la Base Referencial Mundial (WRB), versión 2007.

El perfil de suelo se realizó dentro del área elegida, considerando cinco puntos al azar diferentes para cada época, de los cuales una vez seleccionados se procedió a tomar un monolito de 20 cm x 20 cm de área superficial cada 10 cm de profundidad; realizando la descripción morfológica de su estructura y colocando las muestras en bolsas plásticas para su transporte y posterior análisis (Cañellas y San Miguel 1996).

Los perfiles de suelo representativos de la época seca se realizaron en el mes de marzo de 2011 y en época húmeda se tomaron en el mes de octubre de 2011, en el sitio seleccionado para realizar los muestreos, mismo que fue independiente en una y otra época.

Muestreo del materia vegetal

Muestreo de la vegetación

Valor de importancia de las especies presentes

El muestreo de la vegetación se hizo por el método de cuadrantes considerando un área mínima de 20 m x 20 m para vegetación arbórea 5 m x 5 m para vegetación arbustiva y de cinco m² para el estrato herbáceo. Con los datos recabados se calculó la densidad relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa, con el fin de conocer el índice valor de importancia (IVI) de las especies presentes en el sitio, el cual es una medida de cuantificación para asignarle a cada especie su categoría de importancia. (Cañellas y San Miguel 1996; Cox, 2002) De las cinco especies que se obtuvo un mayor índice de valor de importancia se tomaron muestras de tejido foliar, para su posterior análisis en el laboratorio. Ya que las hojas son los sitios primarios de la actividad fisiológica, incluyendo la fotosíntesis, respiración, transpiración, intercambio del gas y almacén (Cox, 2003).

Herborización de las especies presentes

La recolección de la vegetación se realizó en las cinco visitas al sitio durante el año 2011, procurando el menor daño de sus estructuras básicas al momento de herborizar, con el fin de facilitar su reconocimiento al momento de la determinación taxonómica.

Muestreo de tejido foliar

Se recolecto tejido foliar de 10 árboles de cada una de las especies, para superar el factor de variabilidad de las plantas. Las muestras fueron tomadas de las ramas que se encontraron en los cuatro puntos cardinales, bien soleadas, expuestas, en las parte media de la copa del árbol y cuyas hojas estaban maduras y fisiológicamente activas. Las muestras así recolectadas se lavaron en fresco a fin de retirar el polvo adherido al material vegetal, posteriormente fueron colocadas dentro de una bolsa de papel previamente etiquetada (Dawson y Atkinson, 1991 ; Champman y Pratt, 1991).

Recolecta de raíces

Para la descripción de la biomasa y distribución radical a lo largo del perfil de suelo, se procedió a extraer un monolito de suelo de 20 x 20 cm de lado, se tomaron muestras cada 10 cm de espesor, cada muestra se colocó en bolsas de plástico. Posteriormente fueron separadas en el laboratorio de manera manual (Dawson y Atkinson, 1991).

Muestreo de mantillo

El muestreo de mantillo se realizó en febrero de 2011 (época seca), eligiendo 15 puntos al azar, de los cuales se tomaron cinco muestras compuestas, formadas cada una por 3 puntos con un área de 20 cm x 20 cm.

Colocación de trampas y recolecta de hojarasca

Para la recolecta de hojarasca se colocaron aleatoriamente dentro del área de estudio quince trampas a una distancia del suelo de 10 cm; la dimensión de cada trampa fue de 1 m x 1 m y el contenido de hojarasca retenida en ellas se recolectó periódicamente a lo largo de un año, lo cual representa el aporte vegetal que las especies presentes en el sitio de estudio retornan al suelo en un periodo anual. La colocación de trampas se realizó en febrero de 2011, siendo la primera recolecta en el mes de marzo de 2011 y la última en marzo de 2012, momento en que se retiraron las mismas.

TRABAJO EN LABORATORIO

Suelo

Las muestras de suelo obtenidas en campo fueron secadas al aire y tamizadas en una malla de 2mm para su posterior análisis (Porta y López- Acevedo, 2003; Raven *et al.*, 2004; Rzedowky, *et al.*, 2005). Las propiedades evaluadas en el suelo son las siguientes:

- ④ **Físicas:** porcentaje de pedregosidad; color por comparación de tablas Munsell; porcentaje de agua a capacidad de campo, agua higroscópica y agua capilar, según indica Reyes (1996); textura, por el método de Bouyoucos (1962); densidad real por el método del picnómetro; densidad aparente por el método de la probeta y porcentaje de espacio poroso calculado a partir de los valores de las densidades aparente y real.
- ④ **Químicas:** pH real y potencial en proporción 1:1 mediante la lectura de potenciómetro; porcentaje de materia orgánica por el método de Walkley y Black y capacidad de intercambio catiónico por el método del versenato.
- ④ **Cuantificación de nutrientes:** Determinación de N por el método de semimicro-kjeldahl, determinación de P extractable por el método de Olsen; determinación de K por el método de extracción con AcONH₄ 1N pH 7 y su posterior lectura por absorción atómica determinación de Cu, Mg y Mn por el método de extracción con

solución triácida y su posterior lectura por absorción atómica (Olsen y Sommers, 1982).

Biomasa y distribución de raíces en el suelo

En el laboratorio se separaron las raíces en cinco grupos definidos por su diámetro ≤ 0.5 mm, 0.5-1.0 mm, 1.0-2.0 mm, 2.0-3.0 mm y ≥ 3.0 mm. Este parámetro fue medido utilizando un vernier. Para cada grupo, además del diámetro, se calculó la longitud radical (h) utilizando la fórmula.

$$h = L1 * Mt$$

Dónde:

h= longitud radical

L1 = longitud de la raíz de tamaño promedio de cada diámetro

Mt= masa total de las raíces de cada diámetro.

Área de superficie, calculada con la fórmula:

$$Ast = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

Dónde:

Ast = área de superficie expuesta

$\pi = 3.1416$

r = radio

h = longitud radical

Vegetación

Los ejemplares recolectados y herborizados se determinaron con floras, claves regionales y revisiones taxonómicas en el herbario FEZA donde fueron depositados.

La hojarasca y el mantillo se dejaron secar al ambiente para su posterior separación en tallo, hoja y aparato reproductor; de cada componente se registró el peso total y con base en éste dato se creó una muestra representativa de la proporción original y se molió.

En el caso de la lámina foliar fue extendido en un lugar fresco y seco, dejándolo secar al ambiente y moliéndolo posteriormente.

Las raíces se extrajeron manualmente de las muestras recolectadas para los estudios físicos y químicos del perfil del suelo, separándolas posteriormente en cinco grupos de acuerdo a su diámetro (≤ 0.5 mm, de 0.5-1mm, 1-2mm, 2-3mm y ≥ 3 mm); de cada grupo se tomó una muestra de un gramo y se midió la longitud radical multiplicando el resultado por el peso

total del grupo correspondiente, con el fin de conocer la biomasa que representan dentro del perfil del suelo. Posteriormente se hizo una muestra compuesta de cada uno de los grupos representativos, se molieron y se realizaron los análisis nutrimentales (Bohon *et al.*, 1993). La cuantificación nutrimental de los tejidos vegetales molidos se realizó mediante un tratamiento químico para conocer su contenido en N, P, K, Cu, Mn y Mg, de acuerdo a la siguiente metodología:

- ④ N por el método de semimicro- kjeldahl.
- ④ P por digestión diácida con HNO₃/HClO₄ y posteriormente leída en espectrofotómetro a una longitud de 862nm.
- ④ K, Cu, Mn y Mg por digestión diácida con HNO₃/HClO₄ y posteriormente leída por absorción atómica

TRABAJO DE GABINETE

Determinación del suelo y descripción del perfil

La determinación del suelo fue realizada de acuerdo a los criterios establecidos por la WRB. Los datos de la descripción del perfil de suelo fueron vaciados en cuadros que permiten apreciar su composición general al momento de la recolecta. De las características físicas, químicas y nutrimentales que se obtuvieron como resultado de los análisis en laboratorio se calcularon las medias estadísticas como representantes de las condiciones del sitio.

Índice de Valor de Importancia de la vegetación

Tras la determinación y caracterización de la vegetación se calcularon la densidad relativa, frecuencia relativa y dominancia relativas, para finalmente calcular el Índice de Valor de Importancia (IVI) mediante las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 \text{Densidad Relativa} &= \left(\frac{\text{Densidad para una especie}}{\text{Densidad para todas las especies}} \right) \times 10 \\
 \text{Dominancia Relativa} &= \left(\frac{\text{Dominancia para una especie}}{\text{Dominancia para todas las especies}} \right) \times 100 \\
 \text{Frecuencia Relativa} &= \left(\frac{\text{Valor de frecuencia para una especie}}{\text{valor total de frecuencia de todas las especies}} \right) \times 100
 \end{aligned}$$

$$\text{IVI} = \text{Densidad relativa} + \text{dominancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$$

Tratamiento de los datos de tejido vegetal

Con los resultados obtenidos de la recolecta de hojarasca se construyeron gráficas que permiten apreciar la proporción de desfronde aportado a lo largo del año 2011.

Con los resultados cuantitativos de los nutrimentos en hojarasca, mantillo, lámina foliar y raíces se realizaron los cálculos correspondientes para conocer las concentraciones de N, P, K, Cu, Mn y Mg.

Análisis estadístico

Los datos cuantitativos obtenidos en las distintas variables edáficas y biológicas evaluadas se analizaron con el programa de computo Stata versión 11 (Stata Corp., 2005) y en caso necesario se realizó un análisis exploratorio y confirmatorio de datos, análisis de varianza y covarianza (Salgado-Ugarte, 1992).

RESULTADOS

Descripción de perfil del suelo

La selva baja caducifolia en Izúcar de Matamoros se desarrolla en un suelo sin evidencia de pastoreo, se realizaron 5 perfiles de suelo en época húmeda y cinco en la estación seca, los sitios fueron elegidos al azar donde el material geológico es roca caliza tipo dolomítica y un suelo somero de tipo Leptosol réndzico según la WRB, el perfil más profundo (50 cm) presento cinco horizontes un horizonte O con cinco cm de espesor, un horizonte A de 40cm de espesor, subdividido en un horizonte A1 de 20 cm de grosor y un horizonte A2 de 20cm de espesor que yacen sobre un horizonte C de diez cm para finalmente encontrar un horizonte R con moderado grado de intemperismo en cuyas grietas se presentan raíces de finas a gruesas de no más de diez mm de diámetro (IUSS, 2007; Ruiz *et al.*, 1999; Hodgson, 1987).

Se encontró que el suelo que sostiene la selva baja caducifolia en el municipio de Izúcar de Matamoros esta poco desarrollado, ya que carece de horizonte B y los horizontes O, A y C son delgados en los que predominan las texturas migajón arenosas y presentan un alto porcentaje de pedregosidad de roca calizas (Cuadros 3 y 4) (SEMARNAT, 2010; IUSS, 2007; Ruiz *et al.*, 1999; Hodgson, 1987; Rzedowski, 1978).

Cuadro 3. Ubicación geográfica y descripción ecológica del sitio de estudio en la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

PARAMETRO	PERFIL No. 1*	PERFIL No. 2**
FECHA DE MUESTREO	Octubre de 2011	Marzo de 2011
PERIODO	Húmedo	Seco
LOCALIDAD	Izúcar de Matamoros	Izúcar de Matamoros
UBICACIÓN	18°41'42"N	18°41'42"N
	98°24'50"W	98°24'50"W
ALTITUD	1433 m	1433 m
PENDIENTE	62°	62°
DRENAJE SUPERFICIAL	Sitio donador	Sitio donador
MATERIAL GEOLÓGICO	Roca caliza, tipo dolomítica	Roca caliza, tipo dolomítica
USO DE SUELO	Forestal, sin evidencia de pastoreo	Forestal, sin evidencia de pastoreo
VEGETACIÓN	Selva Baja Caducifolia	Selva Baja Caducifolia
SUELO	Leptosol réndzico.	Leptosol réndzico.

Descrito por: * Ramiro Rios Gómez ** Itzel Sancheznagore

Cuadro 4. Descripción morfológica del perfil de suelo de la de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCIÓN
O	2-5	La superficie está cubierta en un 85% de mantillo el resto 10% roca caliza dolomita y el 5% por material fino, está dividido en Ao donde se identifica la especie vegetal a partir del material depositado y el Aoo constituido de materia orgánica fragmentada con diferentes grados de descomposición.
A1	0-20	Suelo seco con límite al A2 ondulado en 3 cm, de estructura poliédrica y grumosa, de textura migajón arenosa con 20% de pedregosidad, rocas pequeñas de 5 cm de diámetro subangulares y angulares, raíces frecuentes 70 por dm ² de finas a gruesas de hasta 3 cm de diámetro, suelo bien drenado y permeabilidad rápida
A2	20-40	Suelo seco límite con C abrupto en aproximadamente 3cm, arenoso con pedregosidad del 30 por 100, rocas pequeñas a grandes de hasta 8cm de diámetro, macro y microporos raíces frecuentes de 50 a 60 por dm ² finas a gruesas de 1 a 10 mm de diámetro bien drenado y permeabilidad rápida.
C	40-50	El suelo está seco, pedregoso, textura migajón arcillo arenosa, estructura poliédrica moderadamente desarrollada, presencia de microporos y macroporos, estos últimos oblicuos y horizontales, con origen en raíces muertas, de forma tubular y algunas veces intersticiales, el suelo es derivado del material parental con moderado grado de interperismo raíces comunes de 30 por dm ² finas a gruesas. El suelo está bien drenado y tiene una permeabilidad rápida.
R	50 a mas	Material parental con moderado grado de interperismo, en cuyas grietas hay algo de suelo y se presentan raíces de finas a gruesas de no más de 10 mm de diámetro; el material geológico se encuentra sementado y la permeabilidad es lenta

Descripción de las características físicas y químicas del suelo

En los cuadros 5 y 6 se muestran los resultados de la caracterización física y química del suelo en las épocas seca y húmeda respectivamente. Se encontró a lo largo del perfil de suelo, que las propiedades varían muy poco, es decir, son muy uniformes entre las épocas seca y húmeda, sin embargo, se aprecia un aumento en la cantidad de materia orgánica durante el periodo húmedo, respecto a la época seca; un comportamiento muy similar se presenta para la capacidad de intercambio catiónico. En ambos cuadros se muestra que la pedregosidad aumenta directamente con la profundidad tanto para época seca como para época húmeda. La densidad aparente es un poco mayor en el primer estrato de los perfiles esto ocurre en las dos épocas, por otro lado el espacio poroso tiende a aumentar en los estratos intermedios. Solo en el cuarto perfil de la época húmeda se observa un cambio de textura ya que en este se presenta una textura predominantemente arcillosa mientras que los demás mantienen una textura de migajón y migajón arcillo-arenosa, la más dominante es esta última. La M.O., la capacidad de campo y la C.I.C.T. son mayores en los primeros horizontes en época seca (Cuadro 5), mientras que en época húmeda son muy constantes (Cuadro 6). El pH es ligeramente básico en las dos épocas ya que siempre es mayor a 7.4 hasta llega a sobrepasar de 8.0 (SEMARNAT, 2002; Reyes, 1996; Bohon et al, 1993).

Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del suelo en periodo seco de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Perfil	Horizonte y profundidad (cm)	Pedregosidad (%)	Color seco	Color húmedo	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio poroso (%)	Textura Arcilla Arena (%)	Capacidad de campo (%)	pH activo	MO (%)	CICT (cmol/kg)
1	A1 0 a 10	59.59	7.5 YR 6/2 Gris rosado	7.5 YR 4/2 Café	1.27	53.94	15.78 74.72 Migajón	49.08	7.77	14.31	40.46
1	A1 10 a 20	63.14	5 YR 7/2 Blanco rosado	5 YR 6/4 Ligero marrón rojizo	1.1	59.16	15.84 64.72 Arcilla arenosa	31.36	7.64	5.72	20.33
1	A2 20 a 30	71.84	7.5 yr 6/2 Gris rosado	7.5YR 4/2 Café	1.15	56.46	19.84 72.72 Migajón arcillo arenoso	25.07	7.79	5.71	16.12
2	A1 0 a 10	66.88	7.5 YR 4/1 Gris oscuro	7.5 YR 2.5/1 Café oscuro	1.2	56.46	19.84 66.72 Migajón arcillo arenoso	52.96	7.55	14.33	40.8
2	A1 10 a 20	75.08	5YR 4/1 Gris oscuro	5YR 3/1 Gris muy oscuro	1.14	58.41	13.84 64.72 Migajón arcilloso	48.84	7.7	5.7	34.81
2	A2 20 a 30	77.53	2.5YR4/2 Rojo débil	2.5YR 2.5/2 Marrón rosado	1.1	56.94	19.84 68.72 Migajón arcillo arenoso	38.1	7.6	5.71	22.03
3	A1 0 a 10	58.9	7.5YR 4/1 Gris oscuro	7.5 YR3/2 Gris muy oscuro	1.18	54.36	15.84 60.72 Migajón arcilloso	58.92	7.62	14.31	21.96

Continua.

Cuadro 5. Continuación.

Perfil	Horizonte y profundidad (cm)	Pedregosidad (%)	Color seco	Color húmedo	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio poroso (%)	Textura Arcilla Arena (%)	Capacidad de campo (%)	pH activo	MO (%)	CICT (cmol/kg)
3	A1 10 a 20	94.92	2.5YR 4/2 Rojo débil	2.5YR 2.5/2 Marrón rosado	1.08	57.71	11.84 78.72 Migajón arcillo arenoso	27.23	7.53	14.26	25.43
3	A2 20 a 30	52.44	5YR 6/4 Marrón ligero rojizo	5YR 5/4 Marrón rojizo	1.11	56.39	19.84 68.72 Migajón arenoso	28.33	7.57	14.26	25.84
3	A2 30 a 40	61.57	3/2 7.5YR Marrón oscuro	7.5YR 3/1 Gris muy oscuro	1.17	53.74	17.84 62.79 Migajón arcilloso	36.59	7.59	14.23	28.03
3	C 40 a 50	56.31	3/3 7.5 yr Marrón oscuro	5/4 7.5 yr Marrón	1.21	50.98	17.84 60.72 Migajón arcilloso	31.66	7.53	14.31	28.97
3	C 50 a 60	76.07	7.5YR 7/4 Rosa	7.5YR 5/4 Marrón	1.12	56.08	15.84 60.72 Migajón	23.8	7.65	16.92	28.02
3	C 60 a 70	69	5YR 5/4 Marrón rojizo	5YR 3/4 Marrón rojizo oscuro	1.08	55.79	15.84 60.72 Arcilloso	21.45	7.71	16.92	23.59
4	A1 0 a 10	62.89	5YR 4/2 Gris rojizo oscuro	5YR 4/3 Gris muy oscuro	1.01	60.08	17.84 53.72 Arcilloso	47.09	7.51	5.69	29.44
4	A1 10 a 20	60.9	7.5YR 3/2 Marrón oscuro	7.5YR 5/2 Marrón	0.91	66.99	17.84 56.72 Arcilloso	42.23	7.64	14.28	32.64

Continua.

Cuadro 5. Continuación.

Perfil	Horizonte y profundidad (cm)	Pedregosidad (%)	Color seco	Color húmedo	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio poroso (%)	Textura Arcilla Arena (%)	Capacidad de campo (%)	pH activo	MO (%)	CICT (cmol/kg)
4	A2 20 a 30	60.46	5YR 6/2 Gris rosado	5YR 5/3 Marrón rojizo	0.97	54.07	23.84 58.72 Arcilloso	36.84	7.50	14.26	59.84
4	A2 30 a 40	63.37	5YR 6/4 Ligero marrón rojizo	5YR 5/4 Marrón rojizo	1.11	58.89	17.84 13.44 Arcilla arenosa	32.76	7.70	5.7	26.52
4	C 40 a 50	56.41	7.5YR 7/4 Rosa	7.5YR 5/4 Marrón	1.08	58.76	17.84 25.44 Migajón arcillo arenoso	37.86	7.76	5.7	21.83
5	A1 0 a 10	51.51	5YR 4/1 Gris oscuro	5YR 3/1 Gris muy oscuro	1.00	62.29	17.84 56.72 Migajón arcilloso	43.03	7.52	5.7	35.90
5	A1 10 a 20	43.44	5YR 5/2 Gris	5YR 5/2 Gris rojizo	0.96	62.87	15.84 60.72 Migajón arcilloso	40.47	7.65	14.28	33.32
5	A2 20 a 30	31.88	2.5YR 3/3 Tenue marrón rojizo oscuro	2.5YR 5/2 Rojizo débil	0.97	62.53	13.84 64.72 Migajón arcilloso	34.35	7.46	5.73	25.50
5	A2 30 a 40	71.71	2.5YR 4/2 Ligero marrón rojizo	2.5YR 5/6 Rojo	1.25	52.41	15.84 60.72 Migajón arcilloso	20.96	7.57	5.70	18.02
5	C 40 a 50	44.94	5YR7/3 Rosa	5YR 5/6 Rojo amarillo	1.28	49.39	15.84 60.72 Migajón arenoso	19.83	7.70	5.69	17.20

Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas del suelo en periodo húmedo del bosque tropical caducifolio de Izucar de Matamoros, Puebla.

Perfil	Horizonte y profundidad (cm)	Pedregosidad (%)	Color seco	Color húmedo	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio poroso (%)	Textura Arcilla Arena (%)	Capacidad de campo (%)	pH activo	MO (%)	CICT (cmol/kg)
1	A1 0 a 10	66.32	5YR 4/2 Gris rojizo oscuro	5YR 3/1 Gris muy oscuro	1.30	53.01	17.84 56.72 Migajón arcilloso	42.58	7.69	14.42	51.00
1	A1 10 a 20	86.15	7.5YR 5/2 Marrón	7.5YR 3/1 Gris muy oscuro	1.11	57.94	19.84 68.72 Migajón	39.30	7.40	14.31	44.20
1	A2 20 a 30	65.03	5YR 4/2 Gris rojizo oscuro	5YR 2.5/2 Marrón Rojizo oscuro	1.01	61.51	17.84 62.72 Migajón arcilloso	35.36	7.19	14.24	42.50
1	A2 30 a 40	72.29	5YR 5/3 Gris rojizo oscuro	5YR 2.5/2 Marrón rojizo oscuro	1.12	57.82	17.84 60.72 Migajón arcilloso	20.73	8.09	14.19	40.46
2	A1 0 a 10	74.58	2.5YR 6/4 Ligero marrón rojizo	2.5YR 3/2 Marrón rojizo oscuro	1.09	55.05	15.84 60.72 Migajón arenoso	18.97	7.75	14.41	26.86
2	A1 10 a 20	71.81	7.5YR 3/2 7.5yr Marrón oscuro	7.5YR 5/2 Marrón	1.07	59.22	11.84 78.72 Migajón arcillo arenoso	41.57	7.83	14.28	41.14
2	A1 20 a 30	67.62	5YR 4/2 Gris rojizo oscuro	5YR 2.5/2 Marrón rojizo oscuro	1.04	59.14	17.84 13.44 Arcilla arenosa	31.48	8.16	14.20	30.26

Continua.

Cuadro 6. Continuación.

Perfil	Horizonte y profundidad (cm)	Pedregosidad (%)	Color seco	Color húmedo	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio poroso (%)	Textura Arcilla Arena (%)	Capacidad de campo (%)	pH activo	MO (%)	CICT (cmol/kg)
3	A1 0 a 10	80.00	7.5YR 5/3 Marrón	7.5YR 3/3 Marrón oscuro	0.98	59.49	17.84 25.44 Migajón arcillo arenoso	28.47	7.79	14.09	36.72
3	A1 10 a 20	80.73	7.5YR 4/1 Gris oscuro	7.5YR 2.5/1 Negro	1.00	60.75	19.84 66.72 Migajón arcillo arenoso	54.74	7.68	14.33	48.28
3	A2 20 a 30	81.29	7.5YR 4/1 Gris oscuro	7.5YR 2.5/1 Marrón oscuro	0.91	63.74	13.84 64.72 Migajón arcilloso	49.57	7.72	14.23	40.46
3	A2 30 a 40	83.73	4/2 7.5yr Marrón	2.5/2 7.5yr Marrón muy oscuro	0.91	62.86	19.84 68.72 Migajón arcillo arenoso	45.62	7.99	14.42	31.62
3	C 40 a 50	63.37	5/2 5yr Gris	5/2 5yr Gris rojizo	0.96	60.18	19.84 72.72 Migajón arcillo arenoso	41.90	8.04	14.24	30.26
4	A1 0 a 10	75.44	7.5YR 4/2 Marrón	7.5YR 2.5/5 Marrón muy oscuro	0.91	64.32	11.84 78.72 Migajón	44.89	7.58	14.39	49.98
4	A1 10 a 20	87.00	7.5YR 5/2 Marrón	7.5YR 3/3 Marrón oscuro	1.02	59.59	19.84 68.72 Migajón	42.88	7.75	14.21	26.18

Continua.

Cuadro 6. Continuación.

Perfil	Horizonte y profundidad (cm)	Pedregosidad (%)	Color seco	Color húmedo	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio poroso (%)	Textura Arcilla Arena (%) (%)	Capacidad de campo (%)	pH activo	MO (%)	CICT (cmol/kg)
4	A2 20 a 30	76.13	5YR 4/1 Ligero marrón rojizo	5YR 5/3 Marrón rojizo	1.01	65.79	17.84 62.72 Migajón	38.58	7.91	14.46	44.20
4	A2 30 a 40	80.09	5YR 7/3 Rosa	5YR 4/3 Marrón rojizo	1.01	60.34	17.84 60.72 Migajón	19.59	7.66	14.26	27.54
4	C 40 a 50	66.91	5YR 7/3 Rosa	5YR 4/3 Marrón rojizo	1.1	56.39	15.84 60.72 Migajón arcilloso	19.01	8.08	14.22	26.18
5	A1 0 a 10	70.6	7.5YR 4/2 Marrón	7.5YR 2,5/2 Marrón muy oscuro	1.18	53.19	17.84 53.72 Arcilloso	49.57	8.06	14.22	28.22
5	A1 10 a 20	69.18	7.5YR 5/2 Marrón	2.5YR 3/3 Marrón oscuro	1.14	54.78	17.84 56.72 Arcilloso	36.44	7.85	14.23	44.54
5	A2 20 a 30	69.68	2.5YR 4/3 Marrón rojizo	2.5YR 3/3 Marrón rojizo oscuro	1.11	58.11	23.84 58.72 Arcilloso	30.01	7.80	14.22	38.08
5	A2 30 a 40	84.19	7.5YR 6/3 Ligero marrón rojizo	5YR 4/3 Marrón rojizo	1.09	55.87	17.84 13.44 Arcillo arenoso	28.46	7.77	14.22	30.60
5	C 40 a 50	86.62	7.5YR 7/3 Rosa	7.5YR 5/4 Marrón	1.08	58.90	17.84 25.44 Migajón arcillo arenoso	32.57	7.56	14.26	21.42

Se observó que en época húmeda la MO se comportó de manera uniforme a lo largo del horizonte manteniéndose en un rango del 14 por ciento, mientras que en época seca se presentaron las mayores diferencias con un alto porcentaje en los primeros diez centímetros de profundidad y decreciendo a medida que aumenta la profundidad (Figura 3).

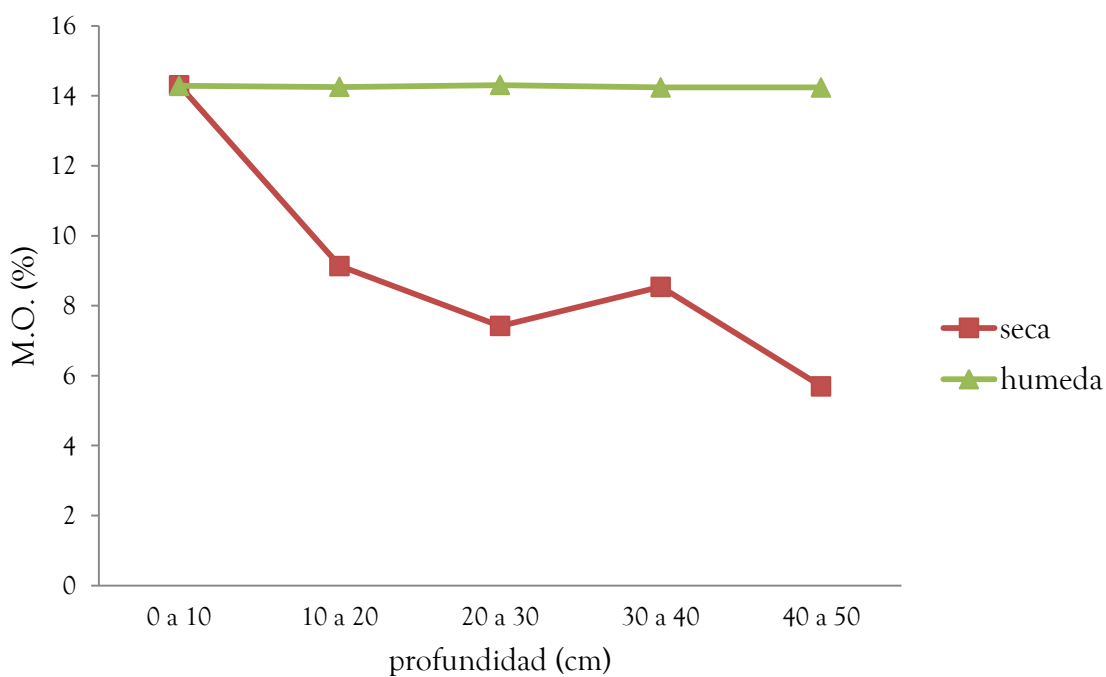


Figura 3. Variación del porcentaje de M.O. del suelo del bosque tropical caducifolio de Izucar de Matamoros, Puebla.

La capacidad de intercambio catiónico se mantuvo estable durante las dos épocas ya que se observa que hay una mayor cantidad de ésta en los primeros niveles del horizonte, decreciendo al ir aumentando la profundidad y es ligeramente mayor en época húmeda que en la seca (Figura 4.)

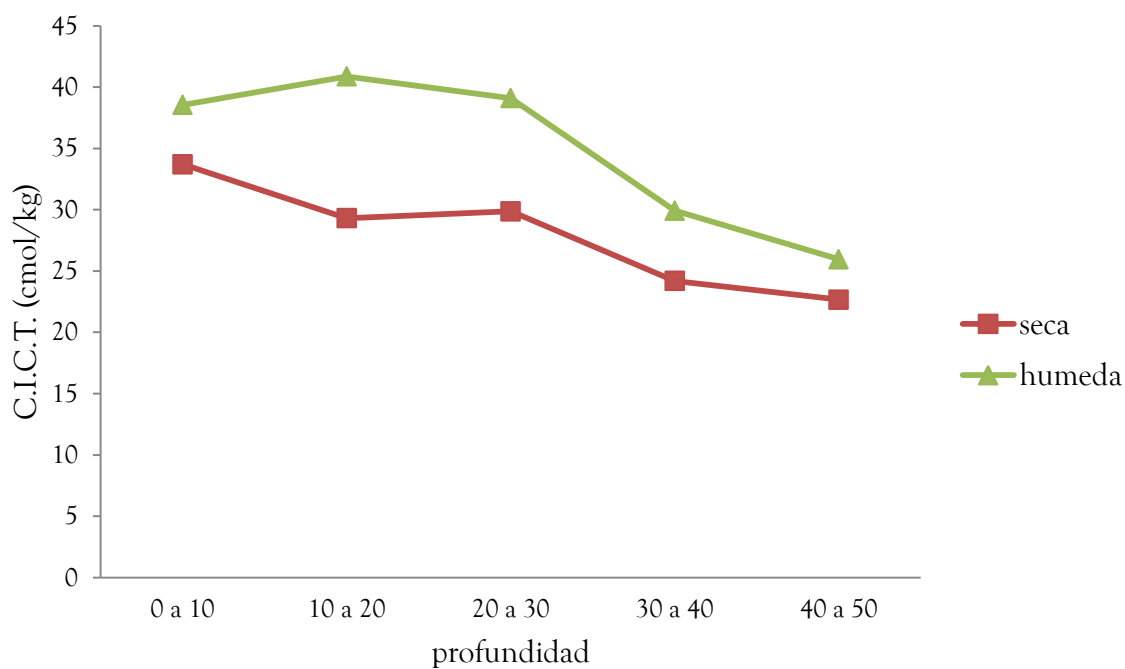


Figura 4. Capacidad de intercambio catiónico en las dos épocas de muestreo en selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

La conductividad se comportó de forma más uniforme en la época húmeda que en la seca, en las dos épocas disminuyó al aumentar la profundidad, fue la época seca la que presentó mayor diferencia entre el primer horizonte y el segundo bajando a más de la mitad (Figura 5.)

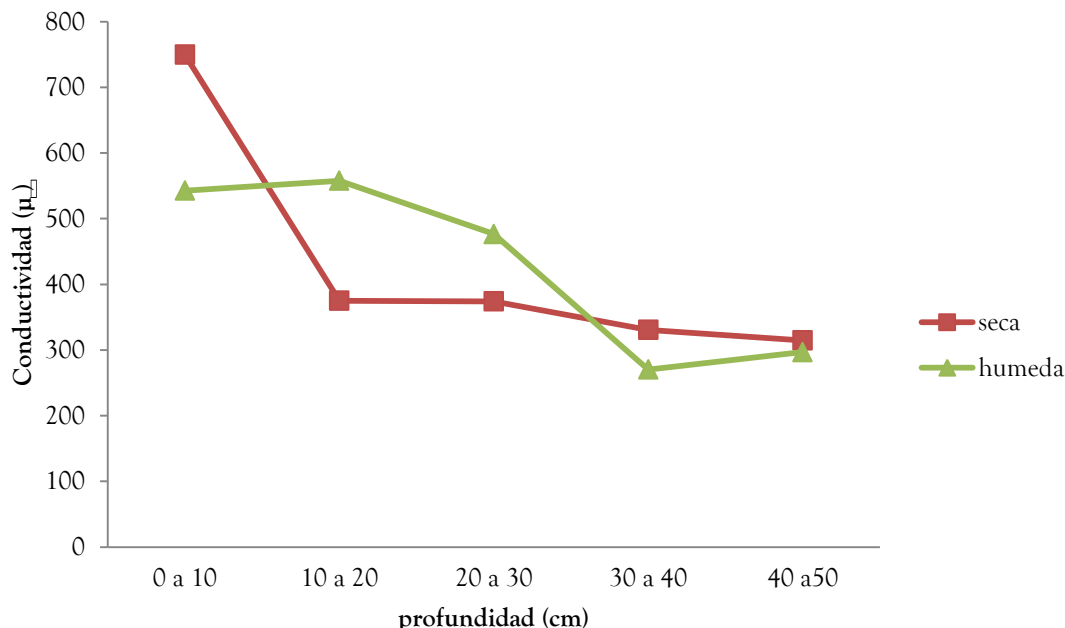


Figura 5. Conductividad eléctrica en las dos épocas en el suelo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Aunque la mayoría de las propiedades físicas y químicas en época húmeda se comportan de manera uniforme, existen algunas que tienen una covarianza significativa, en menor medida se observa que el porcentaje de arena y la CICT, tienen una correlación positiva con una r mayor a cero y una p ligeramente mayor a α menor a 0.05, el porcentaje de arena y la capacidad de campo que también tiene una r mayor a cero y una p solo un poco mayor que α . Con un valor de α menor a 0.05, se encontró la correlación del porcentaje de arena con espacio poroso y a la capacidad de campo correlacionada con CICT, mientras que con una correlación negativa muy cercana a 0.05 se tiene a la densidad aparente y espacio poroso. En época seca resalta la correlación que existe entre el porcentaje de arcilla y CICT; la capacidad de campo con el CICT; la capacidad de campo con la materia orgánica, todos ellos con un α menor a 0.05 y una correlación positiva, mientras que la densidad aparente se correlaciona negativamente con el espacio poroso (Figura 6).

Correlación entre características físicas y químicas del suelo

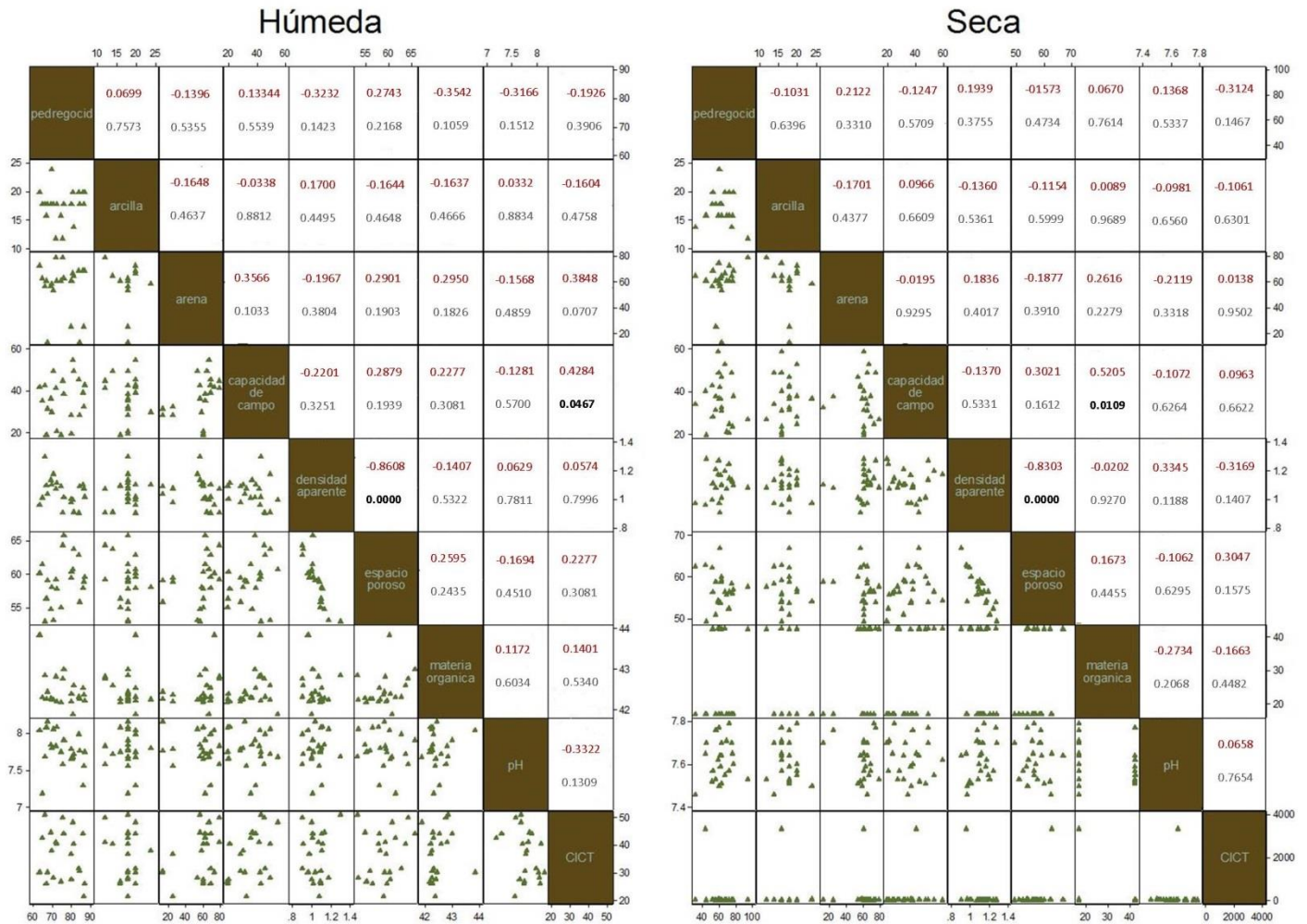


Figura 6. Correlación de las características físicas y químicas del suelo en los dos épocas de muestreo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla. Pedreg: porcentaje de pedregosidad, Arcilla: porcentaje de arcilla, Arena: porcentaje de arena, Cap. Campo: capacidad de campo, Densidad a: densidad aparente, E. poroso: espacio poroso, M.O.: materia orgánica, pH ac.: pH activo, CICT: capacidad de intercambio catiónico total.

El nitrógeno en época húmeda se acentúa más en los primeros horizontes de cada perfil al igual que el fósforo, por otra parte los demás nutrientes se mantienen constantes a lo largo del perfil tanto en época seca como en época húmeda (Cuadro 7 y 8).

Nutrientes del suelo

Cuadro 7. Nutrientes en el suelo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, en periodo seco.

Perfil	Horizonte y profundidad	N (Cmol kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
1	0 a 10	31.29	17.37	5162.60	6956.75	807.00	4.50
1	10 a 20	25.03	17.37	6160.35	7114.65	697.00	6.50
1	20 a 30	12.25	7.31	5792.60	7033.50	691.5	2.45
2	0 a 10	50.06	7.97	5749.25	7392.15	1003.00	5.15
2	10 a 20	31.29	7.64	5307.00	4820.00	807.00	3.05
2	20 a 30	25.03	4.02	2201.25	2650.00	444.00	2.63
3	0 a 10	50.06	6.32	4063.30	1412.50	973.00	4.80
3	10 a 20	43.81	7.29	7895.70	607.00	814.00	2.80
3	20 a 30	18.77	4.36	6583.70	8729.40	864.00	2.60
3	30 a 40	25.03	13.84	5780.85	8527.50	814.00	1.80
3	40 a 50	25.03	6.32	7075.35	8920.00	757.50	2.90
3	50 a 60	18.77	2.7	6200.95	7637.35	552.00	3.65
3	60 a 70	6.26	3.69	8258.65	8822.05	586.50	2.35
4	0 a 10	31.29	10.27	4530.70	7033.50	598.50	2.60
4	10 a 20	18.77	7.97	6800.95	7240.80	562.50	1.95
4	20 a 30	18.77	5.99	5328.70	6353.40	305.00	1.65
4	30 a 40	12.25	3.36	5759.00	6430.75	332.00	1.95
4	40 a 50	12.25	3.03	3240.15	9903.75	791.50	0.80
5	0 a 10	43.81	10.93	7277.40	7620.75	571.50	0.40
5	10 a 20	31.29	5.99	9074.45	9336.95	445.50	3.85
5	20 a 30	18.77	5.66	8689.55	9259.50	251.50	3.93
5	30 a 40	18.77	3.69	3100.90	9024.40	148.00	5.05
5	40 a 50	25.03	2.70	1205.23	1042.80	308.00	4.50

Cuadro 8. Contenido de nutrimentos en el suelo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, en periodo húmedo.

Perfil	Horizonte y profundidad	N (C mol kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
1	0 a 10	56.32	21.77	4097.05	8142.95	577.00	4.45
1	10 a 20	43.81	26.07	2735.65	7795.50	482.50	2.95
1	20 a 30	25.03	9.21	1016.60	7660.55	320.50	3.65
1	0 a 10	18.77	7.23	3416.75	7939.75	265.00	2.20
2	10 a 20	18.77	5.99	3244.95	8159.65	178.40	0.20
2	20 a 30	56.32	22.76	2666.00	5969.35	545.00	0.15
2	30 a 40	37.55	5.91	2236.15	6027.70	226.00	0.30
3	0 a 10	12.52	5.25	2658.80	6103.35	162.50	0.60
3	10 a 20	56.32	23.75	3273.65	8462.80	528.00	7.15
3	20 a 30	31.29	9.54	349.10	5397.25	447.00	3.85
3	30 a 40	31.29	17.15	5542.00	4567.45	519.00	4.80
3	40 a 50	25.03	13.84	240.50	4400.05	447.00	3.30
4	0 a 10	31.29	28.71	3911.35	6865.85	1004.50	0.05
4	10 a 20	25.03	17.15	2253.70	8123.80	659.00	0.30
4	20 a 30	18.77	14.50	1660.80	6794.60	699.00	1.30
4	30 a 40	18.77	6.24	2977.65	7468.20	611.00	0.45
4	40 a 50	12.52	18.14	2511.30	6776.35	665.50	0.70
5	0 a 10	31.29	26.07	1512.20	6645.75	751.00	1.25
5	10 a 20	25.03	10.54	3118.40	6019.15	751.00	3.95
5	20 a 30	25.03	50.85	3244.95	6247.45	913.00	2.65
5	30 a 40	12.52	7.56	2423.85	5424.05	454.00	2.10
5	40 a 50	12.52	7.89	2540.40	3497.60	669.00	0.80

El nitrógeno es mayor en los horizontes superficiales y disminuye a medida que se profundiza en el perfil, en época húmeda se nota que está más concentrado entre los 10 y 30 cm de profundidad (Figura 7).

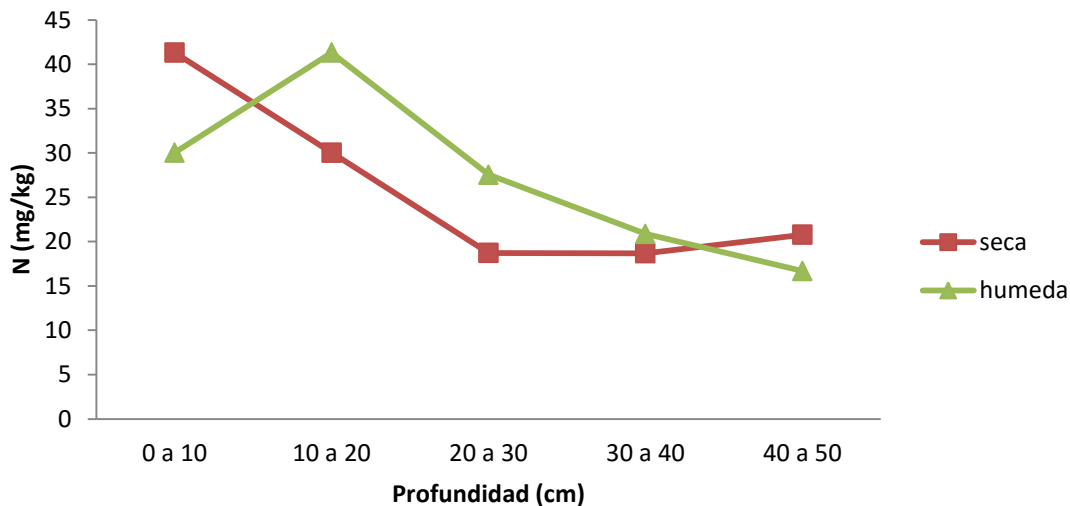


Figura 7. Nitrógeno total en las dos épocas del año a lo largo del perfil de suelo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El fósforo disponible se incrementa aproximadamente el doble en época húmeda y tiene concentraciones más bajas durante la época seca (Figura 8).

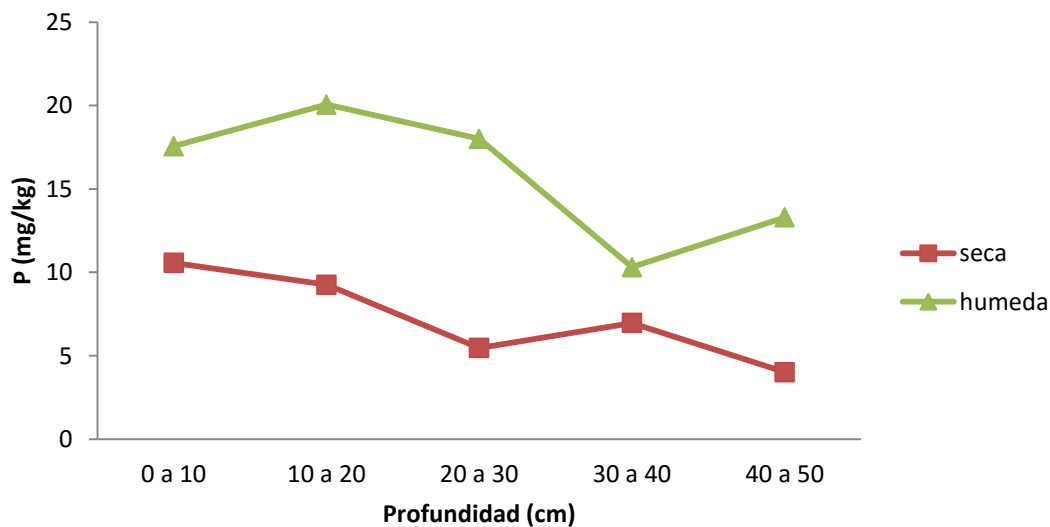


Figura 8. Fósforo en las dos épocas del año a lo largo del perfil de suelo la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El potasio al igual que los dos nutrimentos anteriores se encuentra en cantidades mayores en época seca respecto al periodo de humedad y de manera general disminuye con la profundidad (Figura 9).

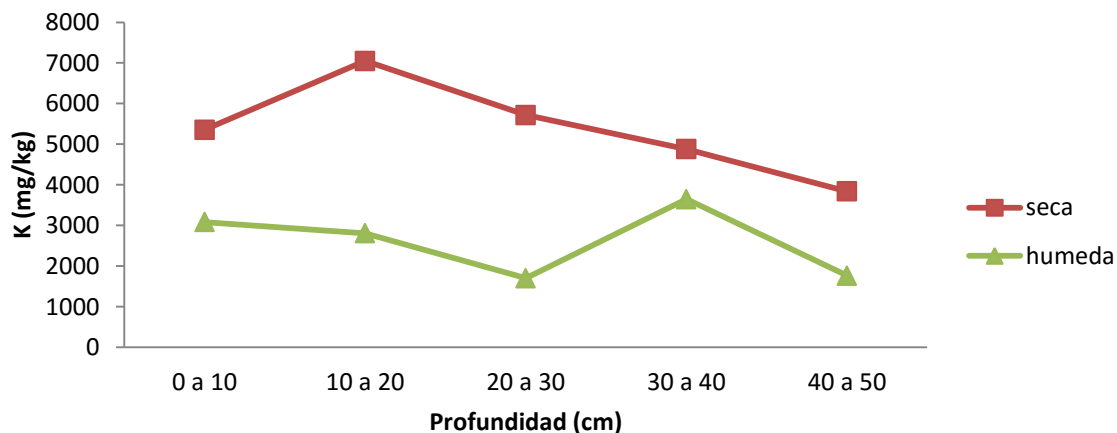


Figura 9. Potasio en las dos épocas del año a lo largo del perfil de suelo la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El magnesio está más concentrado en los primeros horizontes en la época húmeda y disminuye al aumentar la profundidad, por el contrario en la época seca es menor la concentración en los primeros 20 centímetros de espesor del suelo y aumenta con la profundidad (Figura 10).

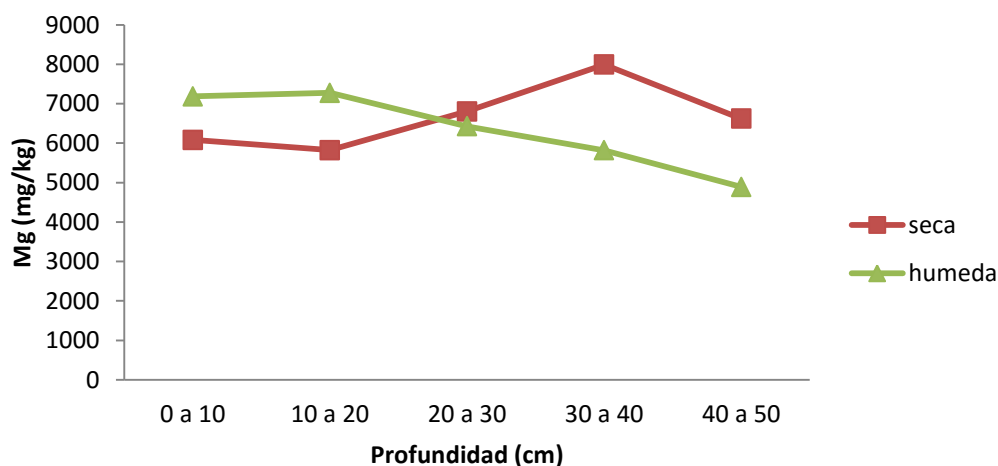


Figura 10. Magnesio en las dos épocas del año a lo largo del perfil de suelo la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El manganeso es muy uniforme en las dos épocas acentuándose más en época seca (Figura 11).

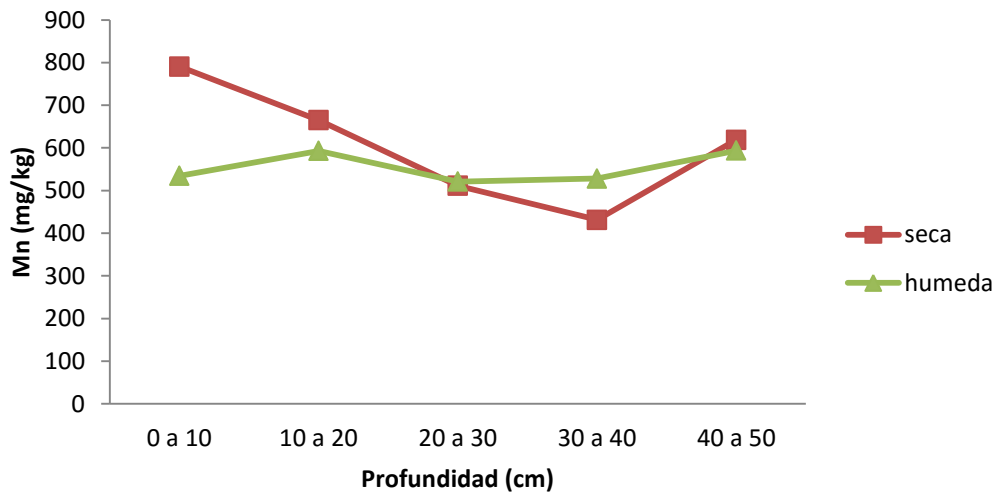


Figura 11. Manganeso en las dos épocas del año a lo largo del perfil de suelo la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El cobre está más concentrado en época seca acentuándose a los 20-30 cm de profundidad, mientras que en la época húmeda es menor y más uniforme (Figura 12)

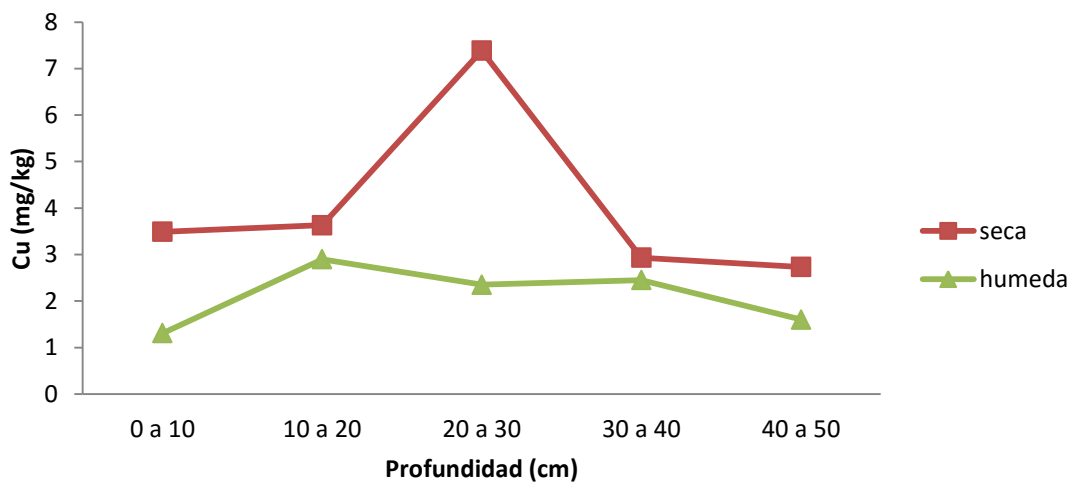


Figura 12. Cobre en las dos épocas del año a lo largo del perfil de suelo la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Correlación entre nutrientes

La correlación entre el nitrógeno con el fósforo y cobre es significativa y se acerca al valor de α , sin embargo es alta aun, el potasio en cambio obtuvo una p muy por debajo de α , mientras que en época seca el nitrógeno con el magnesio y el manganeso con una correlación negativa y positiva respectivamente, el potasio se correlacionó muy bien con magnesio al igual que con el cobre, esta última negativa (Figura 7).

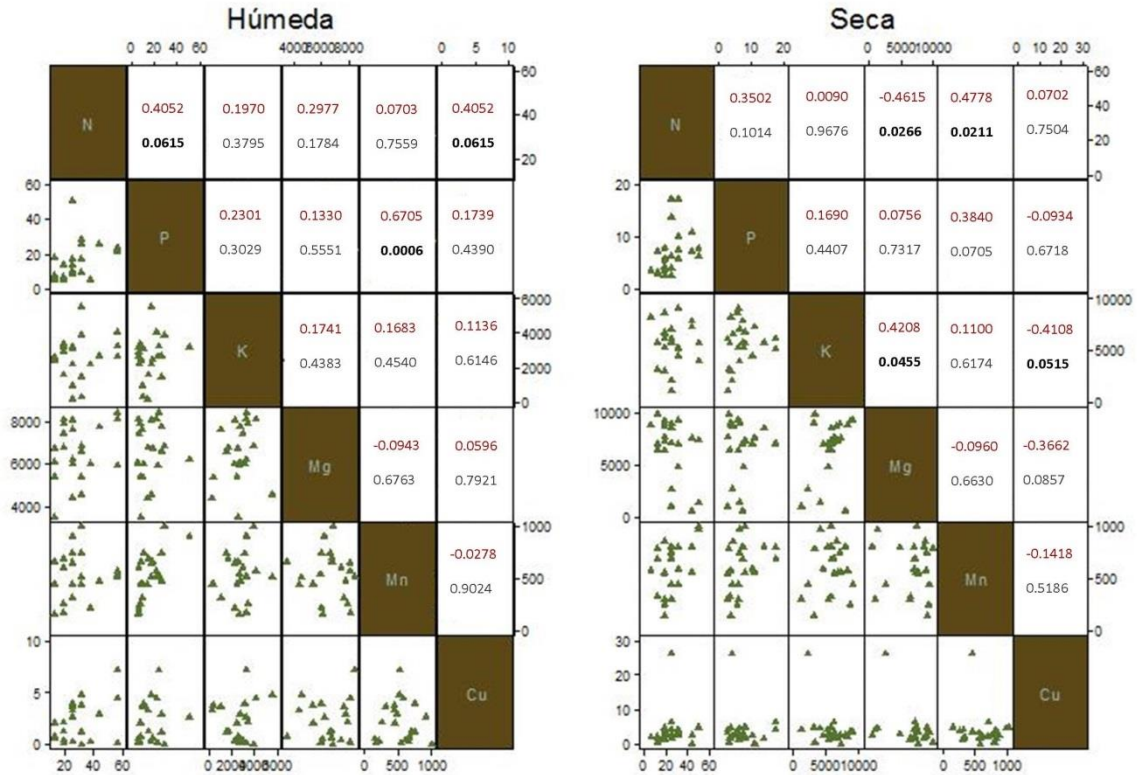


Figura 13. Correlación entre macronutrientes y micronutrientes presentes en el suelo en los dos periodos de muestreo en la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Correlación entre nutrientes y características físicas del suelo

El nitrógeno correlacionado con el porcentaje de arena tienen una relación significativa al igual que con la capacidad de campo, esto en época húmeda, mientras que en época seca el nitrógeno con la capacidad de campo tienen una correlación relevante, el fósforo solo se relacionó con capacidad de campo acercándose a la significancia, el potasio se correlacionó muy bien con espacio poroso y densidad aparente. Los demás nutrientes se comportaron de manera uniforme en las dos épocas aunque en época seca fue donde se notó más la existencia de diferencias significativas (Figura 14).

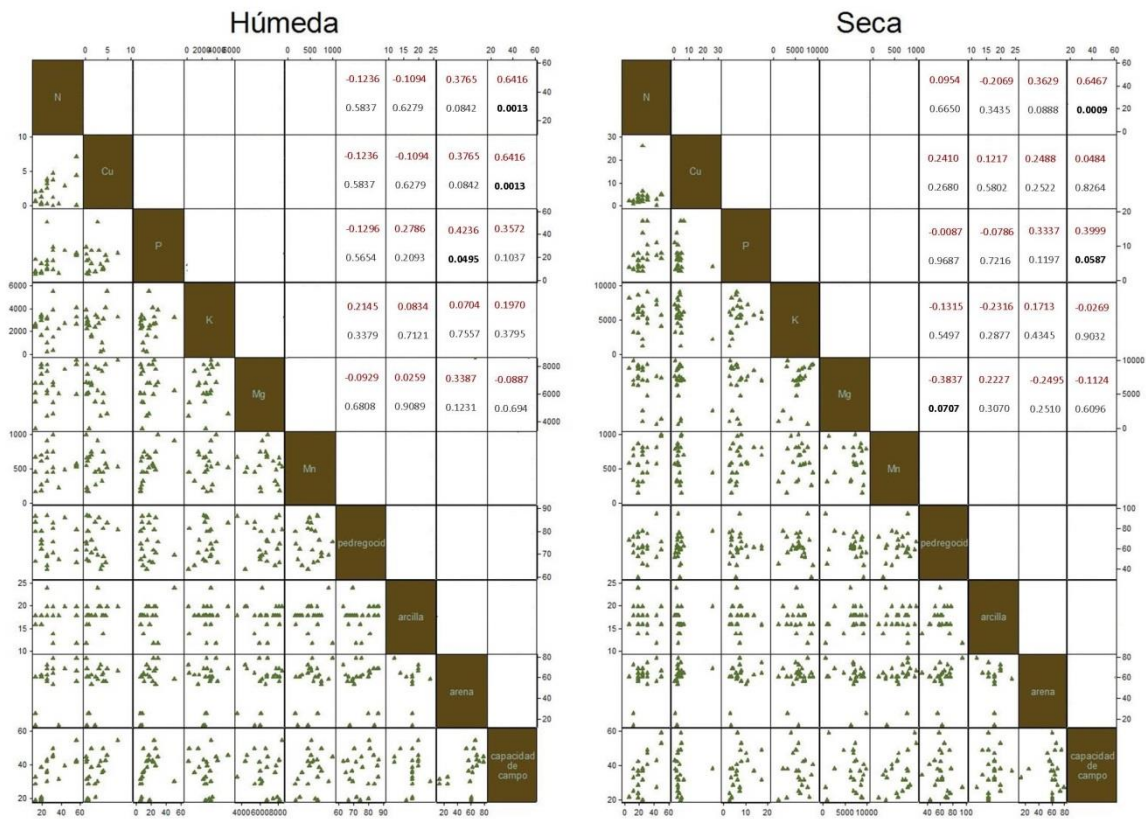


Figura 14. Correlación de macronutrientes y propiedades físicas del suelo en las dos épocas de muestreo en la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla. N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Mg: magnesio Pedregosidad, porcentaje de pedregosidad, Arcilla: porcentaje de arcilla, Arena: porcentaje de arena, Cap. Campo: capacidad de campo, E. poroso: espacio poroso, Densidad a: densidad aparente.

El manganeso se correlacionó de forma significativa con capacidad de campo en las dos épocas. El cobre se distribuye uniforme por lo que no hubo diferencias significativas (Figura 15).

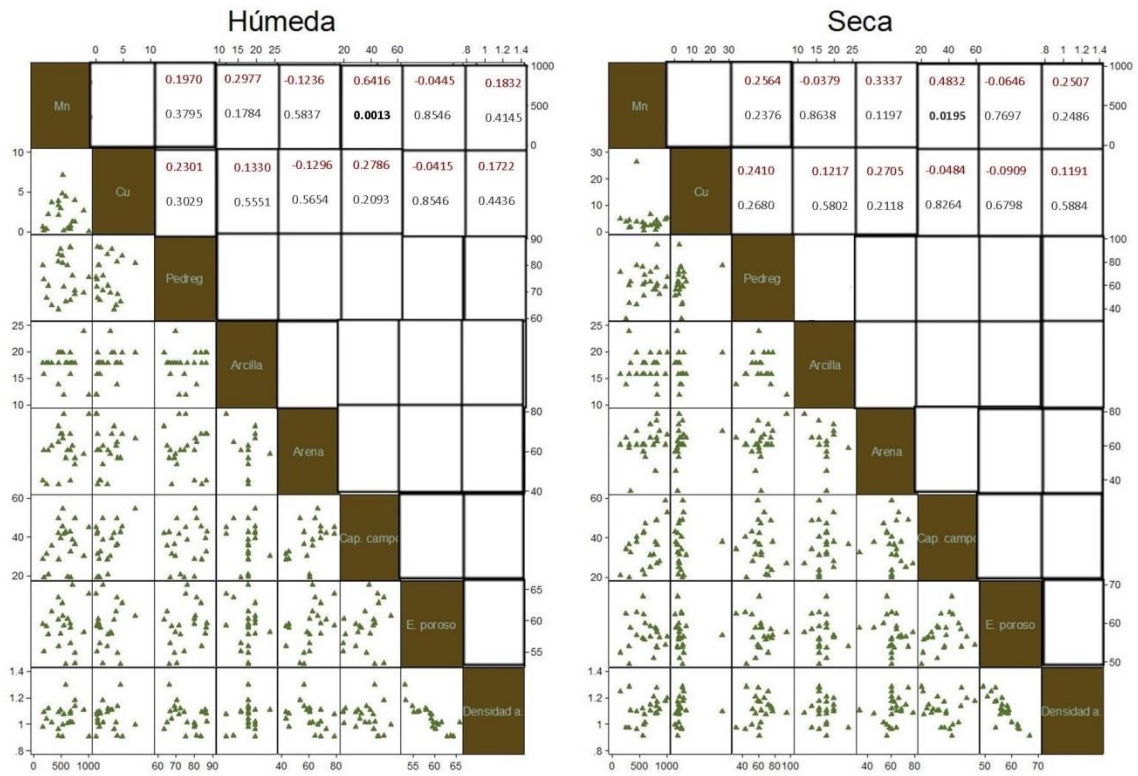


Figura 15. Correlación de micronutrientes y pruebas físicas del suelo en las dos épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla. Mn: manganeso, Cu: cobre, Pedreg: porcentaje de pedregosidad, Arcilla: porcentaje de arcilla, Arena: porcentaje de arena, Cap. Campo: capacidad de campo, E. poroso: espacio poroso, Densidad a: densidad aparente.

Correlación entre nutrientes y características químicas del suelo

El nitrógeno se correlacionó con CICT tanto en época húmeda como en seca. Mientras que los demás macronutrientes son estables tanto con materia orgánica y pH activo (Figura 16).

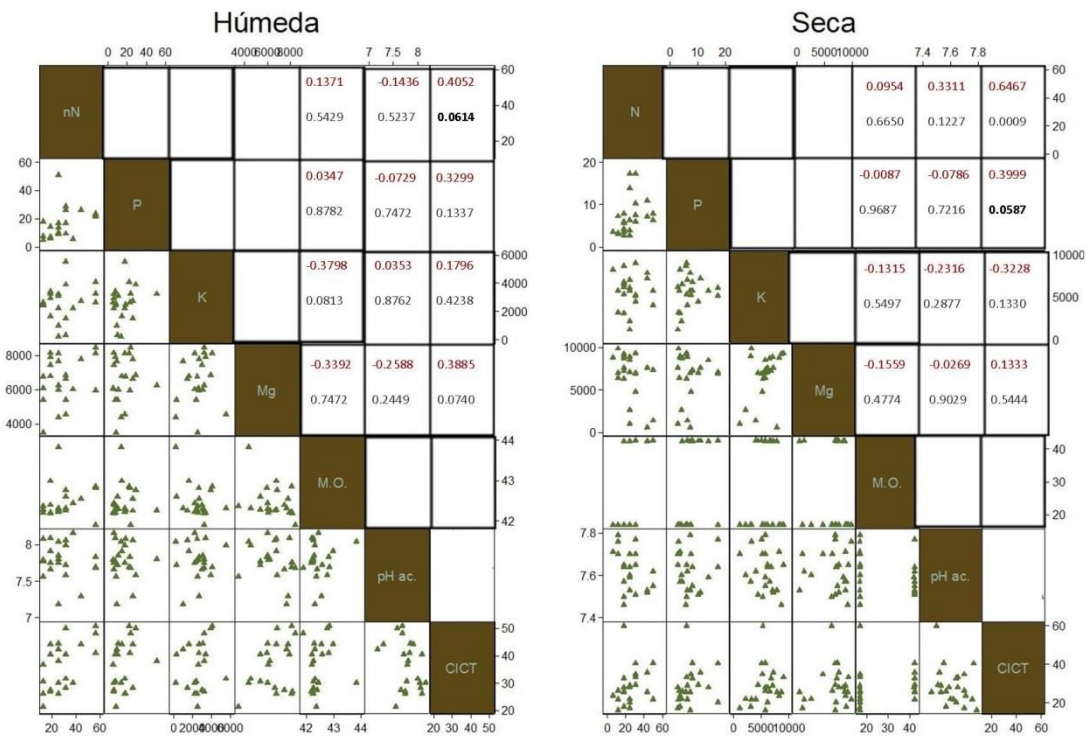


Figura 16. Correlación de macronutrientes con las características químicas del suelo en las dos épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla. N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Mg: magnesio, M.O.: materia orgánica, pH ac.: pH activo, CICT: capacidad de intercambio catiónico total.

El cobre se correlacionó bien con CICT en época húmeda, mientras que el manganeso con materia orgánica en época seca (Figura17).

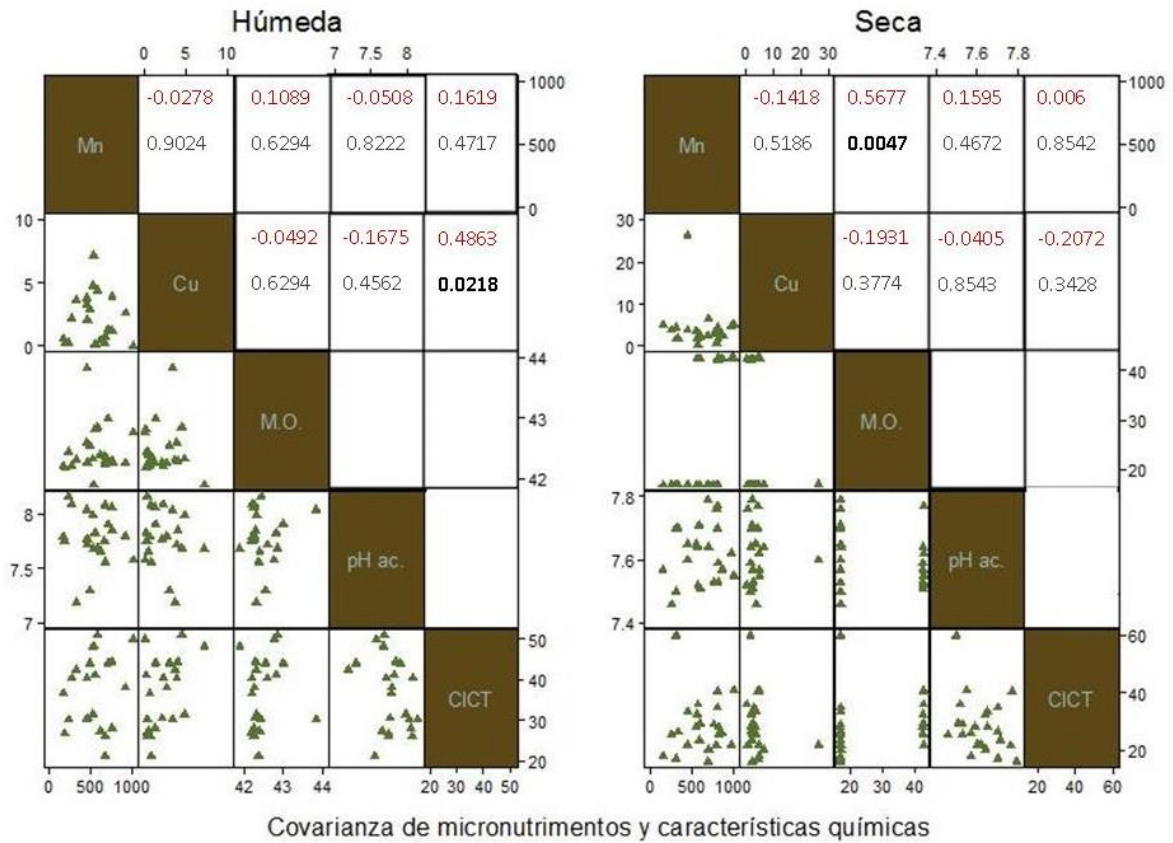


Figura 17. Correlación de macronutrientos y características físicas del suelo en dos épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla. Mn: manganeso, Cu: cobre, M.O.: materia orgánica, pH ac.: pH activo, CICT: capacidad de intercambio catiónico total.

Descripcion del sistema radical

El sistema radical fino (0.5 a 1 mm) se encuentra presente en los dos primeros horizontes y disminuye al aumentar la profundidad, mientras que el sistema radical grueso se mantiene constante a lo largo del perfil y está presente en la mayoría de las profundidades en la época seca (Figura 18).

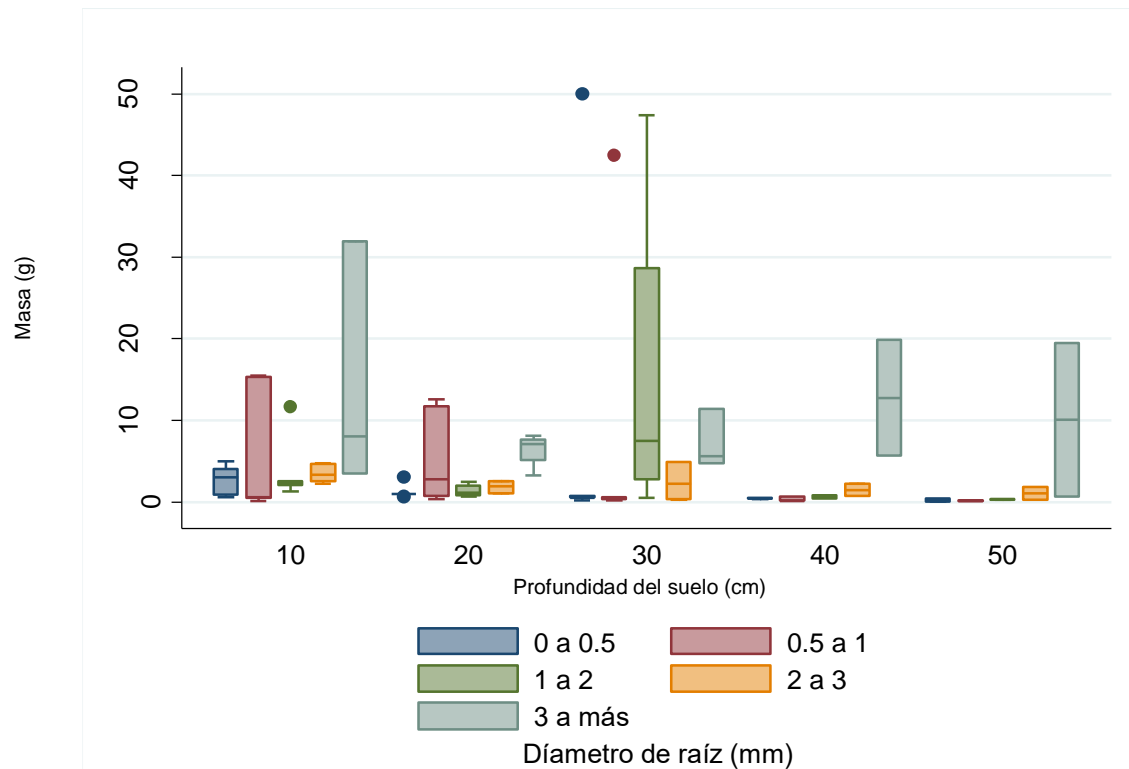


Figura 18. Variación en la masa (g) de raíces a lo largo del perfil en época seca de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

En la época húmeda la mayor parte del sistema radical más fino se encuentra distribuida en casi todo el perfil, sobresale en los tres primeros horizontes, mientras que el sistema radical de sostén (3 o más mm) se distribuye en todos los horizontes, sin embargo, está mejor representado en el espesor 40 a 50 cm (Figura 20).

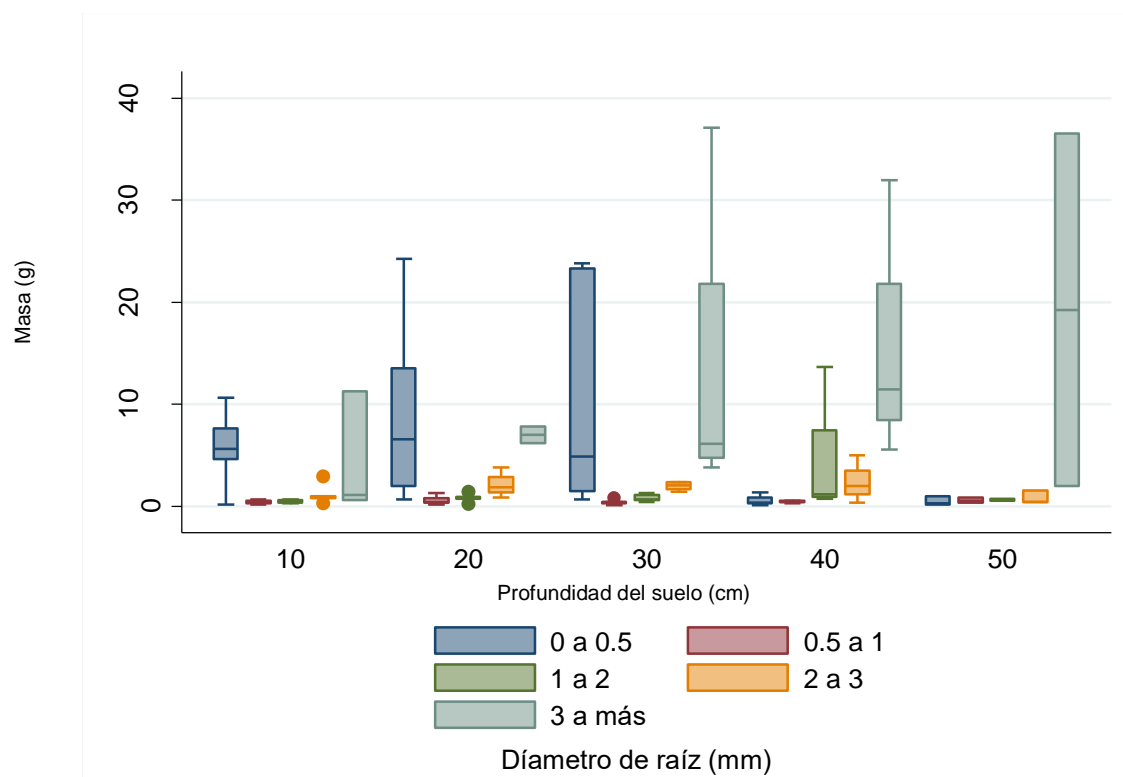


Figura 19. Variación en la masa (g) de raíces a lo largo del perfil en época húmeda de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Las raíces finas son más abundantes en los primeros horizontes del perfil, decreciendo a medida que la profundidad se incrementa, por el contrario las raíces gruesas tienen una mayor presencia en los últimos estratos, son estas últimas las que aportan una mayor cantidad de biomasa. Se observó que en el periodo húmedo no hubo presencia de raíces muertas; mientras que en el periodo seco se presentó una cantidad variable de tejido muerto; sin embargo dominó el tejido vivo (Figura 21 y 22).

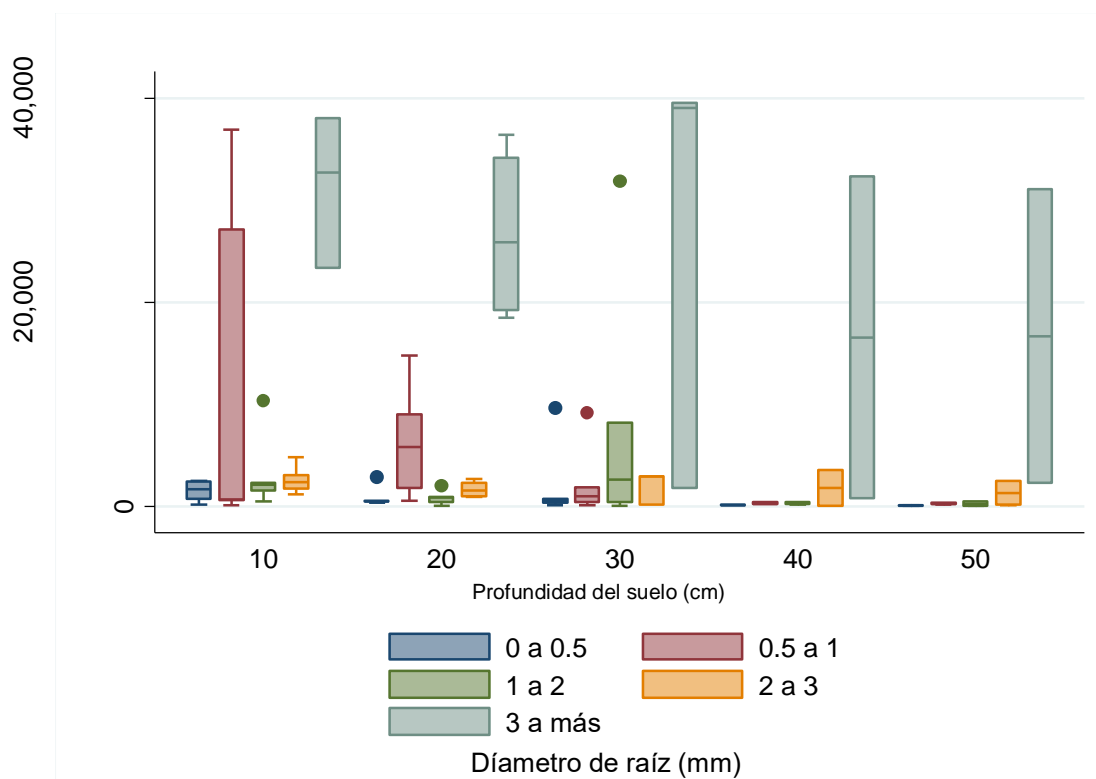


Figura 20. Variación del área de superficie expuesta por la raíz a lo largo del perfil de suelo en época seca de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

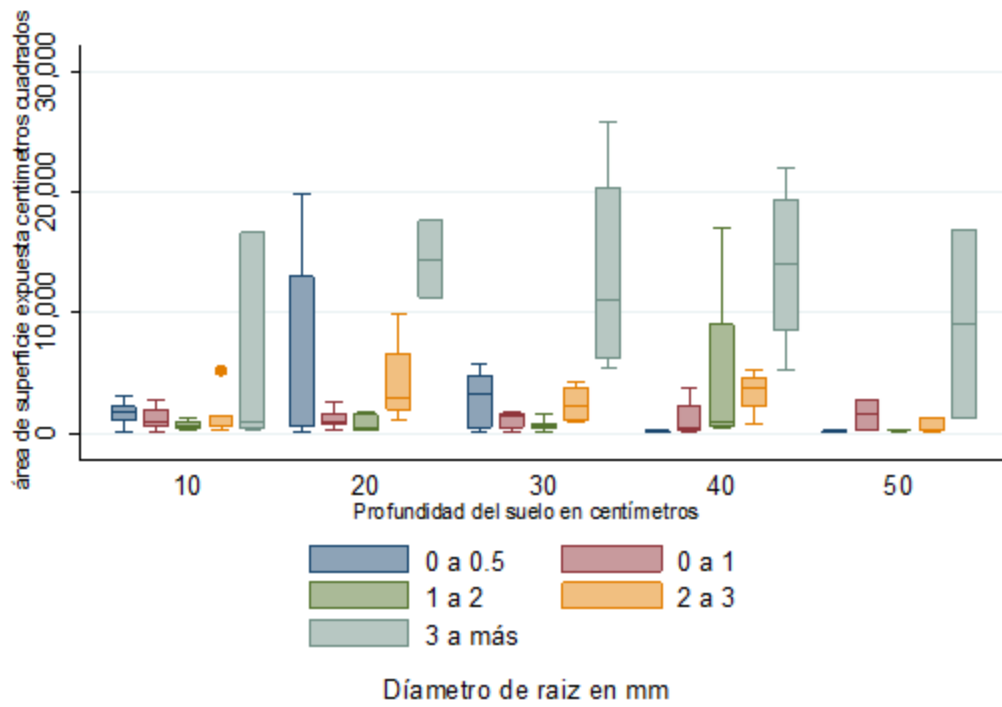


Figura 21. Variación del área de superficie expuesta por la raíz a lo largo del perfil de suelo durante la época húmeda de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoras, Puebla.

Correlacion entre diametros de raiz

La raíz esta muy bien coorelacionada en época humeda, los diámetros de más de dos y más de tres mm hacen una diagonal perfecta, mientras que las raíces inferiores a 0.5mm se correlacionarán bien con las raíces de uno a dos mm de diámetro. Mientras que en época seca existe una relacion entre las raíces de uno a dos mm de diámetro con los de más de tres (Figura 22).

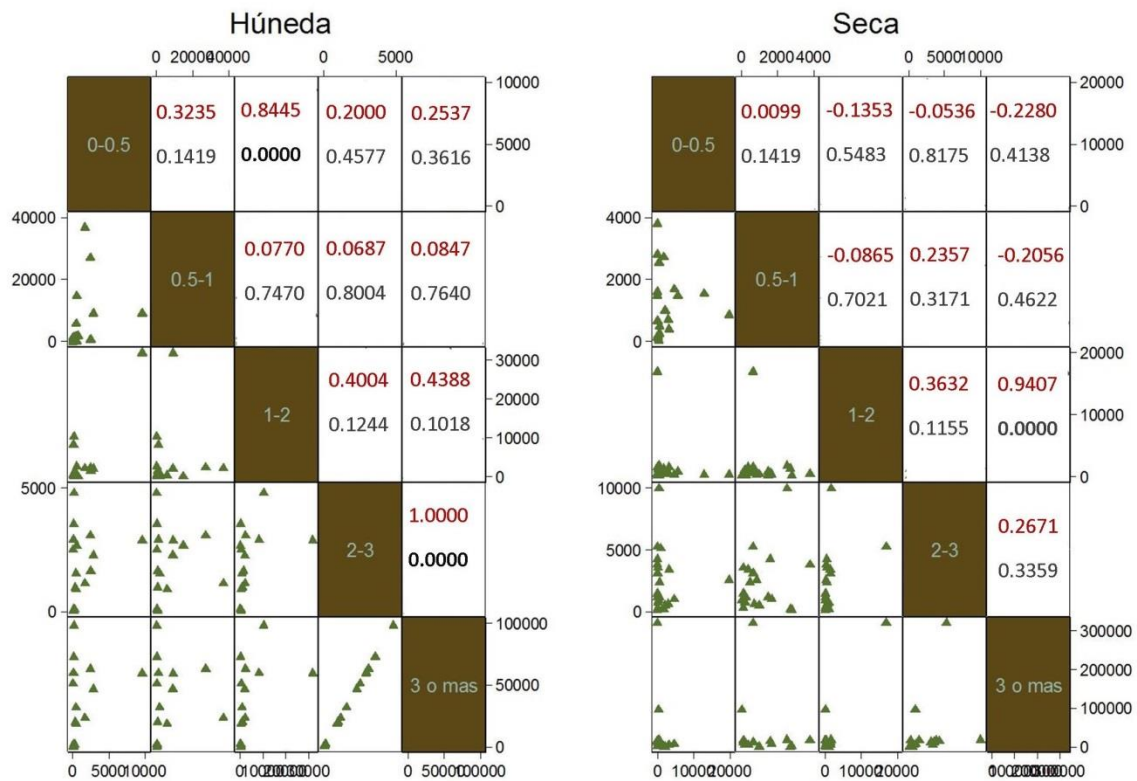


Figura 22. Correlación de los cinco diámetros de la raíz en las dos épocas del año a lo largo del perfil de suelo la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla. 0-0.5: 0 a 0.5 mm de diámetro de raíz, 0.5-1: 0.5 a 1 mm de diámetro de raíz, 1-2: 1 a 2 mm de diámetro de raíz, 2-3: 2 a 3 mm de diámetro de raíz, 3 o más: 3 mm de diámetro o mayor.

Correlación entre raíz y características físicas y químicas

Se encontraron correlaciones positivas entre la masa de las raíces de 0 a 0.5 mm y conductividad eléctrica (conduc) con $p=0.0169$ y CICT (cict) con $p=0.0074$ y negativa con pH activo (pha) $p=0.0400$; también la masa de raíces de 0.5 a 1mm tuvo una correlación positiva con CICT $p=0.0008$ y negativa con densidad aparente (da) $p=0.0395$; y la masa de raíces de 2 a 3 mm, positiva CICT con $p=0.0276$ (Figura 14). Mientras que en época húmeda solo se encontró correlación positiva entre la masa de las raíces de 0.5 a 1 mm con la densidad aparente (da) $p=0.0362$ y las raíces de 2 a 3 mm con la conductividad eléctrica (conduc) $p=0.0478$ (Figura 23).

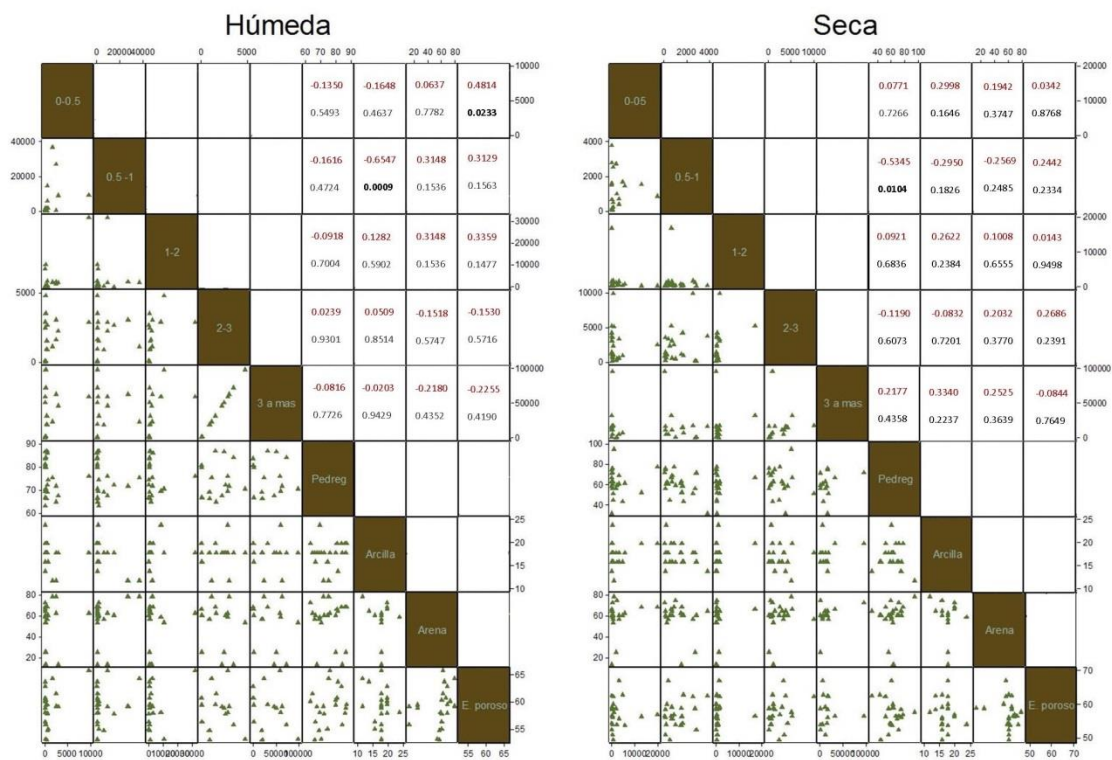


Figura 23. Correlación de los diámetros de la raíz y las características físicas del suelo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoras, Puebla. 0-0.5: 0 a 0.5 mm de diámetro de raíz, 0.5-1: 0.5 a 1 mm de diámetro de raíz, 1-2: 1 a 2 mm de diámetro de raíz, 2-3: 2 a 3 mm de diámetro de raíz, 3 o más: 3 mm de diámetro o mayor, Pedreg: porcentaje de pedregosidad, Arcilla: porcentaje de arcilla, Arena: porcentaje de arena, E. poroso: espacio poroso

En el periodo húmedo la raíz de uno a dos mm de diámetro se correlacionaron con la materia orgánica, siendo esta la única significativa, en el periodo seco las raíces de dos a tres mm se correlacionaron con la materia orgánica y el pH (Figura 24).

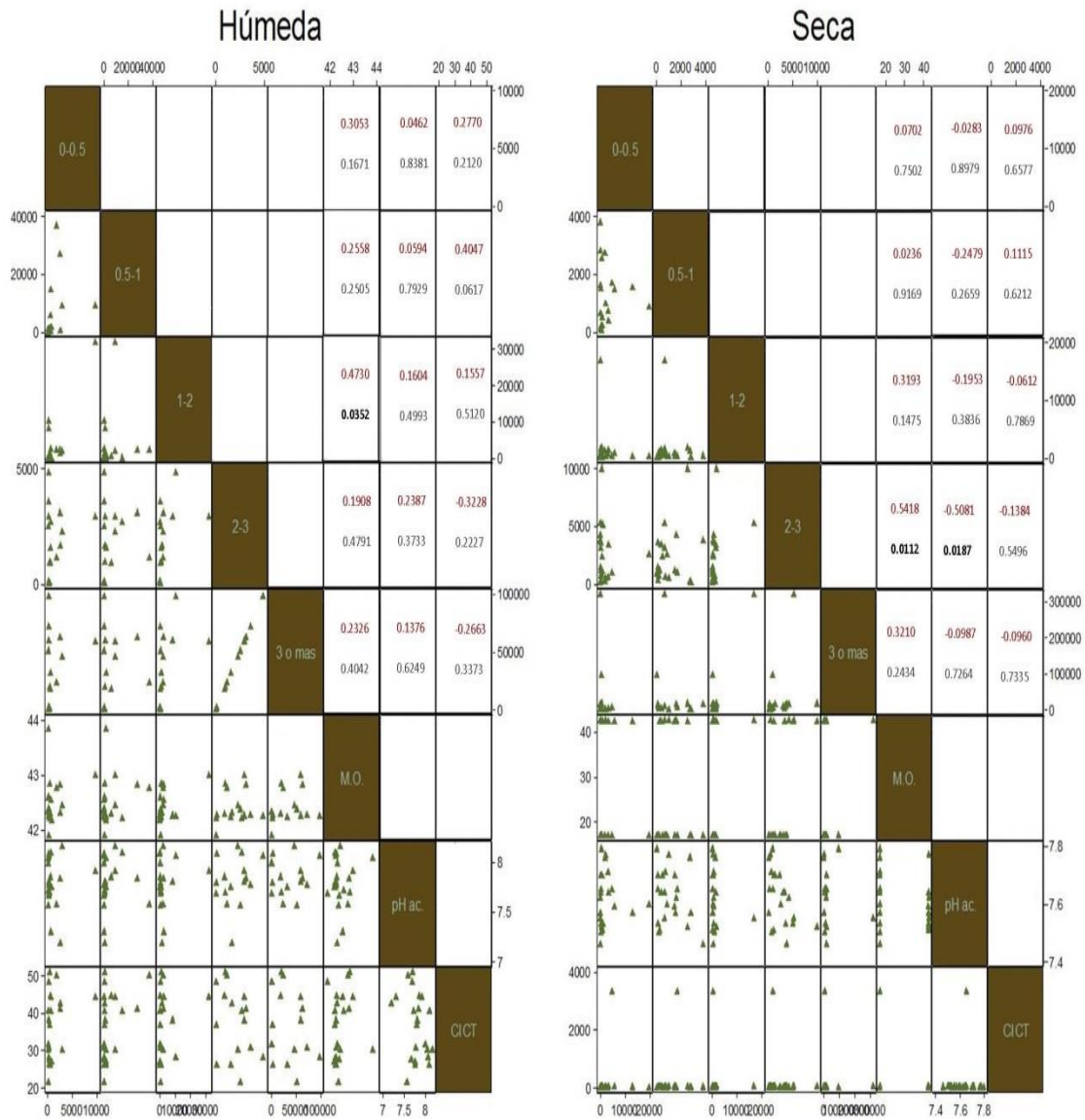





Figura 24. Correlación de los diámetros de la raíz y las características químicas del suelo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla. 0-0.5: 0 a 0.5 mm de diámetro de raíz, 0.5-1: 0.5 a 1 mm de diámetro de raíz, 1-2: 1 a 2 mm de diámetro de raíz, 2-3: 2 a 3 mm de diámetro de raíz, 3 o más: 3 mm de diámetro o mayor, M.O.: materia orgánica, pH ac.: pH activo, CICT: Capacidad de intercambio catiónico.




Análisis de la vegetación

Se encontró que *Ayenia ovata* y *Painteria leptophylla* son las dos especies con mayor índice de valor de importancia IVI (Cuadro 9 y Figura 25), seguido por *Marina scoipa* y *Montanoa arborescens*, para las dos primeras el alto IVI se debe a la dominancia relativa (Figura 26), cabe señalar que *Bursera vejar-vazquezii* y *Bursera schlechtendalii* tienen un valor alto en la frecuencia relativa (Figura 27), esta misma condición se observa para *Lysiloma divaricatum*.



En el estrato herbáceo la familia Poaceae y Lamiaceae están bien representadas y tienen un alto IVI sobre todo por su densidad relativa (Figura 27), es decir, su alto número de individuos (Figura 26) Alvarado-Cárdenas y Morales, 2014; Cumana, 2010; García, 2009; Rzedowski y Calderón, 2002; Talavera *et al*, 1999; Rzedowski y Guerrero-Féfer, 1992 Fryxell, 1992; Watson y Dallwitz, 1992; Whitmore, 1992; Conabio1, 2014; CONABIO 2, 2014; CONABIO 3, 2012




Cuadro 9. Listado Forístico de especies con fotografía, densidad relativa, dominancia relativa, frecuencia relativa y valor de importancia de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

LISTADO FLORISTICO		
 <p>Malvaceae <i>Ayenia ovata</i> Hemsl</p>	Densidad Relativa	3.66
	Dominancia Relativa	6.09
	Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	11.53
 <p>Fabaceae <i>Painteria leptophylla</i> (DC.) Britton & Rose</p>	Densidad Relativa	4.13
	Dominancia Relativa	5.54
	Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	11.45
 <p>Asteraceae <i>Jaegeria hirta</i> (Lag.) Less</p>	Densidad Relativa	6.01
	Dominancia Relativa	1.42
	Frecuencia Relativa	2.39
	Valor de Importancia	9.81






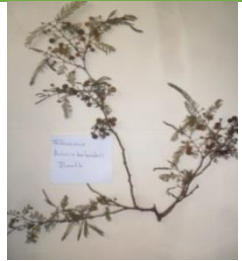
LISTADO FLORISTICO		
 <p>Fabaceae <i>Marina scopae</i> Barneby, Mem</p>	Densidad Relativa	5.07
	Dominancia Relativa	2.52
	Frecuencia Relativa	2.99
	Valor de Importancia	10.57
 <p>Asteraceae <i>Montanoa arborescens</i> DC</p>	Densidad Relativa	4.13
	Dominancia Relativa	3.42
	Frecuencia Relativa	2.99
	Valor de Importancia	10.53
 <p>Fabaceae <i>Brongniartia intermedia</i> Moric.</p>	Densidad Relativa	4.25
	Dominancia Relativa	3.81
	Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	9.84

Cuadro 9 continuación.



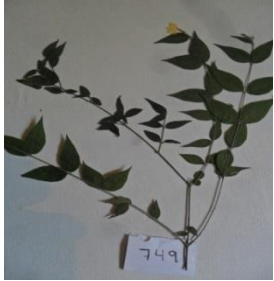

LISTADO FLORISTICO		
Gramineas	Densidad Relativa	5.78
	Dominancia Relativa	0.78
	Frecuencia Relativa	2.99
	Valor de Importancia	9.54
 Lamiaceae <i>Salvia gesneriflora</i> Lindl. & Paxton	Densidad Relativa	5.66
	Dominancia Relativa	0.21
	Frecuencia Relativa	2.99
	Valor de Importancia	8.85
 Fabaceae <i>Tephrosia nitens</i> Benth	Densidad Relativa	3.77
	Dominancia Relativa	3.93
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	8.89

LISTADO FLORISTICO		
 Burserae <i>Bursera schlechtendalii</i> Engl.	Densidad Relativa	1.30
	Dominancia Relativa	4.05
	Frecuencia Relativa	2.39
	Valor de Importancia	7.74
 Burseraceae <i>Bursera vejar-vazquezii</i> Miranda	Densidad Relativa	1.07
	Dominancia Relativa	4.30
	Frecuencia Relativa	2.39
	Valor de Importancia	7.75
 Burseraceae <i>Bursera submoniliformis</i> Engl	Densidad Relativa	1.18
	Dominancia Relativa	4.05
	Frecuencia Relativa	2.39
	Valor de Importancia	7.62

Cuadro 9 continuación.

LISTADO FLORISTICO			
 Fabaceae <i>Aeschynomene fascicularis</i> Cham & Schtdl.	Densidad Relativa	2.48	
	Dominancia Relativa	2.72	
	Frecuencia Relativa	2.39	
	Valor de Importancia	7.58	
 Fabaceae <i>Conzattia multiflora</i> Standl.	Densidad Relativa	1.65	
	Dominancia Relativa	3.50	
	Frecuencia Relativa	2.39	
	Valor de Importancia	7.54	
 Fabaceae <i>Conzattia multiflora</i> Standl.	Densidad Relativa		
	Dominancia Relativa		
	Frecuencia Relativa		
	Valor de Importancia		
LISTADO FLORISTICO			
 Fabaceae <i>Eysenhardtia paniculata</i> Dannel	Densidad Relativa	2.13	
	Dominancia Relativa	3.96	
	Frecuencia Relativa	1.20	
	Valor de Importancia	7.28	
 Asteraceae <i>Polophyllum pinglei</i> BL. Rob	Densidad Relativa	4.36	
	Dominancia Relativa	0.26	
	Frecuencia Relativa	2.39	
	Valor de Importancia	7.01	
 Fabaceae <i>Acacia berlandieri</i> Benth	Densidad Relativa	0.95	
	Dominancia Relativa	3.80	
	Frecuencia Relativa	1.80	
	Valor de Importancia	6.53	







Cuadro 9 continuación. .

LISTADO FLORISTICO			LISTADO FLORISTICO		
 <p>Apocynaceae <i>Thevetia thevetioides</i> (Kunth) K.Schum</p>	Densidad Relativa	1.30	 <p>Asteraceae <i>Viguiera cordata</i> (Hook & Arn) D' Arey</p>	Densidad Relativa	1.30
	Dominancia Relativa	3.35		Dominancia Relativa	2.14
	Frecuencia Relativa	1.80		Frecuencia Relativa	2.39
	Valor de Importancia	6.43		Valor de Importancia	5.83
 <p>Fabaceae <i>Haematoxylum brasiletto</i> H. Karst</p>	Densidad Relativa	0.71	 <p>Burseraceae <i>Bursera galeottiana</i> Engl.</p>	Densidad Relativa	0.83
	Dominancia Relativa	2.33		Dominancia Relativa	1.97
	Frecuencia Relativa	2.99		Frecuencia Relativa	2.99
	Valor de Importancia	6.03		Valor de Importancia	5.78
 <p>Apocynaceae <i>Mandevilla karwinskii</i> (Muell. Arg.) Hems</p>	Densidad Relativa	1.65	 <p>Bursereceae <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg</p>	Densidad Relativa	0.83
	Dominancia Relativa	2.02		Dominancia Relativa	3.10
	Frecuencia Relativa	2.39		Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	6.06		Valor de Importancia	5.71



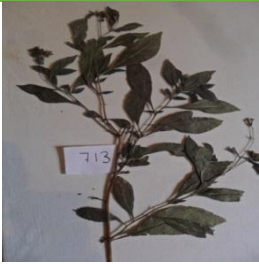



Cuadro 9 continuación.

LISTADO FLORISTICO			LISTADO FLORISTICO		
 <p>Campanulaceae <i>Lobelia diastatoides</i> Mc Vaugh</p>	Densidad Relativa	2.13	 <p>Asteraceae <i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.</p>	Densidad Relativa	2.24
	Dominancia Relativa	1.80		Dominancia Relativa	0.31
	Frecuencia Relativa	1.80		Frecuencia Relativa	2.39
	Valor de Importancia	5.72		Valor de Importancia	4.94
 <p>Euphorbiaceae <i>Euphorbia lacera</i> Boiss</p>	Densidad Relativa	1.30	 <p>Pteridaceae <i>Cheilanthes bonariensis</i> (Willd) Practor</p>	Densidad Relativa	1.42
	Dominancia Relativa	2.14		Dominancia Relativa	2.20
	Frecuencia Relativa	1.80		Frecuencia Relativa	1.2
	Valor de Importancia	5.23		Valor de Importancia	4.81
 <p>Burseraceae <i>Bursera cuneata</i> Engl</p>	Densidad Relativa	1.30	 <p>Boraginaceae <i>Cordia morelosana</i> Standl</p>	Densidad Relativa	1.42
	Dominancia Relativa	2.03		Dominancia Relativa	2.20
	Frecuencia Relativa	1.80		Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	5.12		Valor de Importancia	4.81




Cuadro 9 continuación.




LISTADO FLORISTICO		LISTADO FLORISTICO			
 Asteraceae <i>Sanvitalia procumbens</i> Lam	Densidad Relativa	2.01	 Malvaceae <i>Abutilon dugesii</i> S. Watson	Densidad Relativa	1.54
	Dominancia Relativa	0.19		Dominancia Relativa	1.31
	Frecuencia Relativa	2.39		Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	4.58		Valor de Importancia	4.04
 Convolvulaceae <i>Ipomoea bracteata</i> Cav	Densidad Relativa	0.95	 Fabaceae <i>Bauhinia divaricate</i> L.	Densidad Relativa	0.83
	Dominancia Relativa	1.24		Dominancia Relativa	2.00
	Frecuencia Relativa	2.39		Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	4.57		Valor de Importancia	4.01
 Onagraceae <i>Fuchsia thymifolia</i> Kunth	Densidad Relativa	2.13	 Fabaceae <i>Mimosa ionema</i> B.L. Rob	Densidad Relativa	0.83
	Dominancia Relativa	0.18		Dominancia Relativa	1.90
	Frecuencia Relativa	1.80		Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	4.10		Valor de Importancia	3.92

Cuadro 9 continuación..




LISTADO FLORISTICO		
 Malvaceae <i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten & Bakerf	Densidad Relativa	0.83
	Dominancia Relativa	1.86
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	3.88
 Fabaceae <i>Zapoteca formosa</i> (Kunth) H.M.Hern	Densidad Relativa	0.59
	Dominancia Relativa	2.00
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	3.78
 Boraginaceae <i>Tournefortia mutabilis</i> Vent	Densidad Relativa	0.83
	Dominancia Relativa	1.31
	Frecuencia Relativa	1.50
	Valor de Importancia	3.63
LISTADO FLORISTICO		
 Verbenaceae <i>Lippia oaxacana</i> B.L. Rob & Areem	Densidad Relativa	1.42
	Dominancia Relativa	0.33
	Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	3.54
 Asteraceae <i>Sanvitalia angostifolia</i> Englem ex A. Gray	Densidad Relativa	2.01
	Dominancia Relativa	0.19
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	3.39
 Fabaceae <i>Mimosa Tricephala</i> Cham	Densidad Relativa	0.71
	Dominancia Relativa	0.76
	Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	3.26



Cuadro 9 continuación.

LISTADO FLORISTICO		
 Verbenaceae <i>Lantana canescens</i> Kunth	Densidad Relativa	1.42
	Dominancia Relativa	0.74
	Frecuencia Relativa	1.2
	Valor de Importancia	3.35
 Acanthaceae <i>Justicia spicigera</i> Schtdl.	Densidad Relativa	0.95
	Dominancia Relativa	1.03
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	3.16
 Asteraceae <i>Verbisina</i> aff. <i>Oncophora</i> B.L. Rob	Densidad Relativa	1.42
	Dominancia Relativa	1.01
	Frecuencia Relativa	0.60
	Valor de Importancia	3.02

LISTADO FLORISTICO		
 Apocynaceae <i>Plumeria rubra</i> L.	Densidad Relativa	0.59
	Dominancia Relativa	1.14
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	2.92
 Cactaceae <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> Bravo	Densidad Relativa	0.48
	Dominancia Relativa	0.61
	Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	2.87
 Asparagaceae <i>Agave marmorata</i> Roetzl	Densidad Relativa	0.48
	Dominancia Relativa	0.66
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	2.32

Cuadro 9 continuación.

LISTADO FLORISTICO		
 Scrophulariaceae <i>Buddleja perfoliata</i> Kunth	Densidad Relativa	0.83
	Dominancia Relativa	0.17
	Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	2.78
 Asteraceae <i>Viguiera insignis</i> Miranda	Densidad Relativa	0.36
	Dominancia Relativa	0.32
	Frecuencia Relativa	1.80
	Valor de Importancia	2.46
 Cactaceae <i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	Densidad Relativa	0.48
	Dominancia Relativa	0.08
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	1.75

LISTADO FLORISTICO		
 Primulaceae <i>Jacquinia pungens</i> A. Gray	Densidad Relativa	0.95
	Dominancia Relativa	0.36
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	2.50
 Asparagaceae <i>Milla mexicana</i> T.M.Howard	Densidad Relativa	0.48
	Dominancia Relativa	0.66
	Frecuencia Relativa	1.20
	Valor de Importancia	2.32

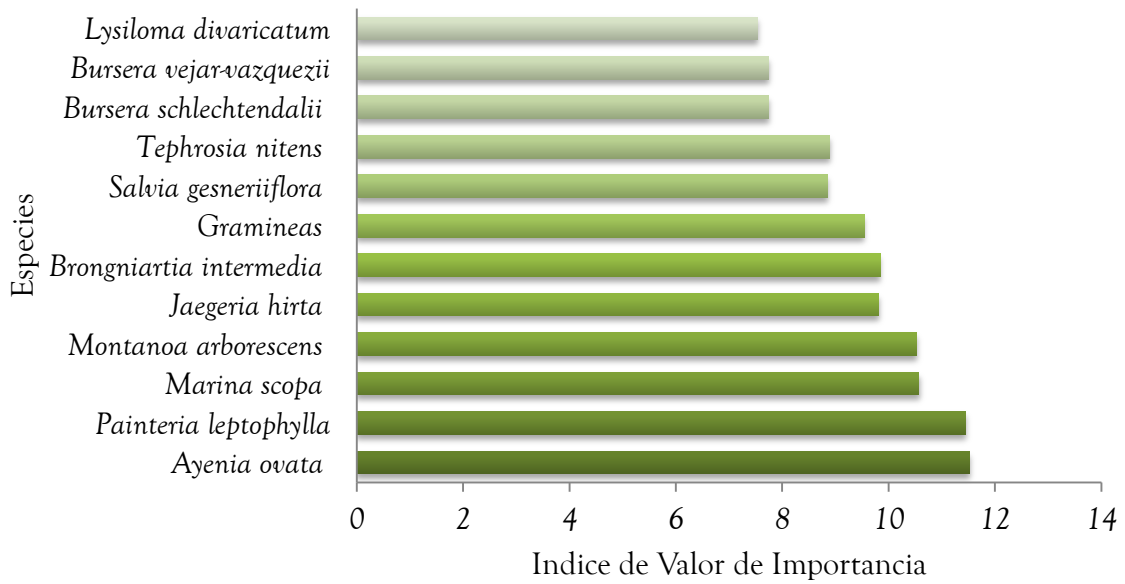


Figura 25. Índice de valor de importancia para las especies representativas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

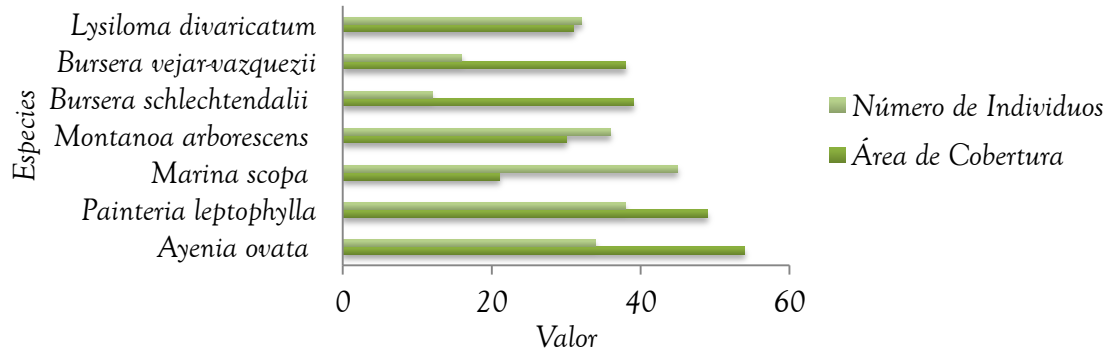


Figura 26. Número de individuos y cobertura de las especies vegetales muestreadas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, para el análisis nutrimental.

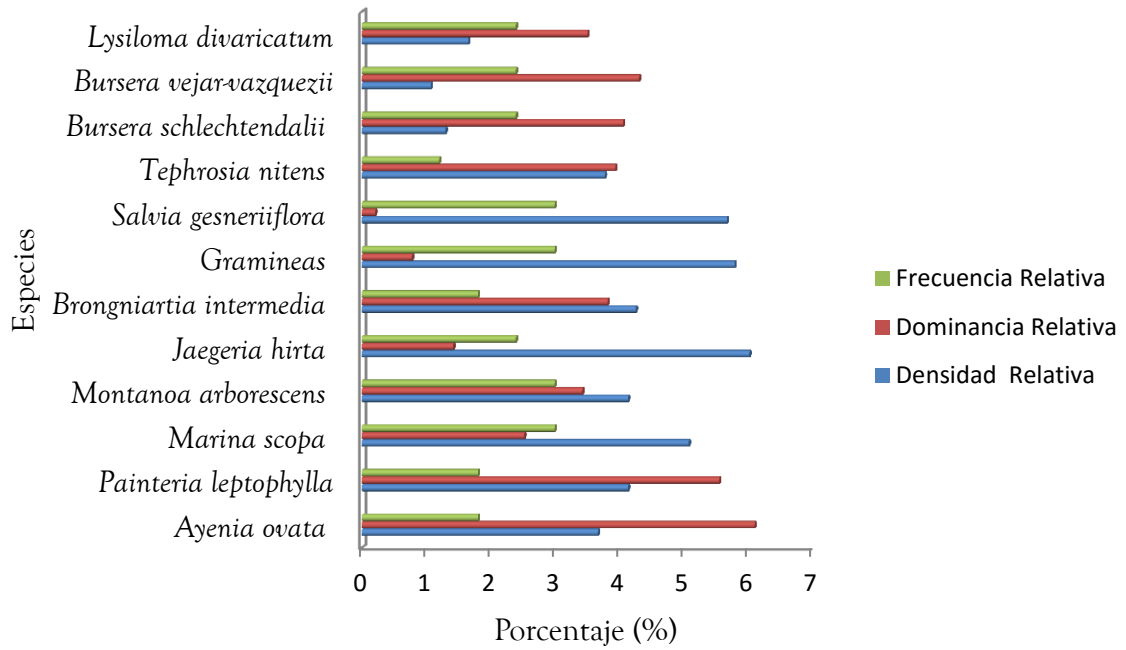


Figura 27. Frecuencia relativa, dominancia relativa y densidad relativa para las 10 especies con mayor relevancia de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Aporte anual de hojarasca

El mayor aporte de hojarasca se observó en la época de húmeda, con un máximo en el mes de agosto, esto se debe al tipo de vegetación y el comportamiento ya mencionado en los cuadros anteriores (Cuadro 10 y Figura 28).

Cuadro 10. Aporte medio anual de hojarasca en gramos de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Fecha de Recolecta	Tallo	Hoja	Corteza	Flor	Fruto
19/02/2011	186,36	129,06	42,92	0,00	23,59
08/03/2011	110,96	116,12	16,11	7,27	2,56
12/05/2011	54,57	93,50	22,44	1,56	9,04
20/05/2011	116,17	138,08	31,55	25,28	17,35
19/08/2011	383,64	417,17	185,00	3,05	75,58

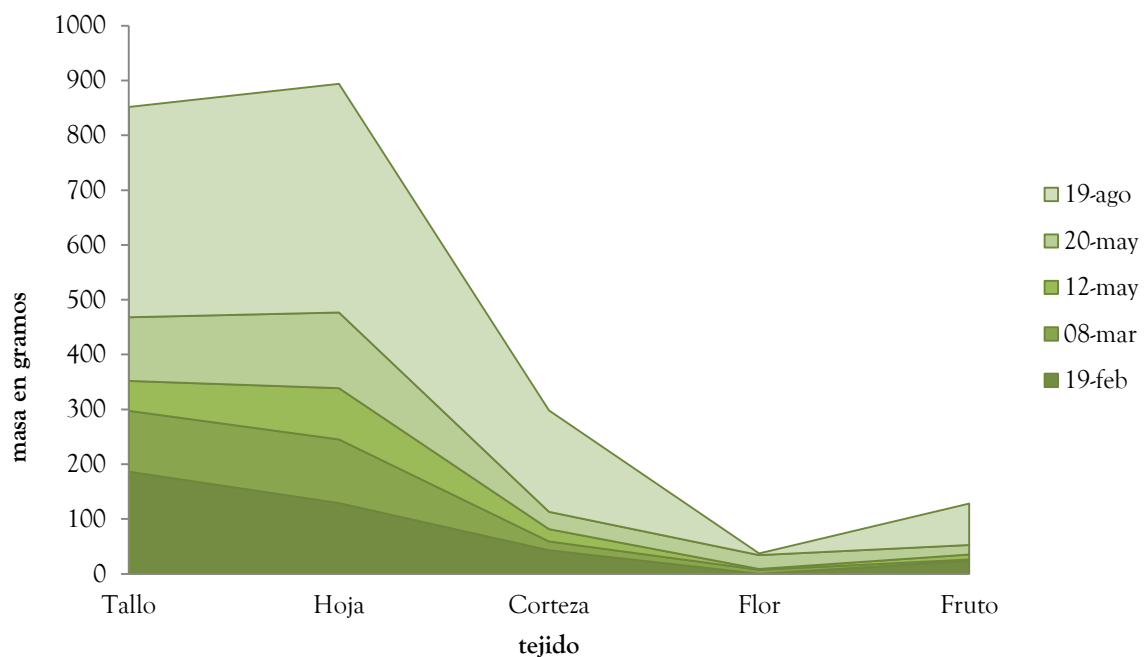


Figura 28. Aporte medio anual de hojarasca de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Nutrientes en tejido vegetal

La concentración de fósforo potasio y magnesio en las especies dominantes es mayor, es seguida de nitrógeno, los micronutrientes están muy poco presentes en el tejido foliar de estas especies (Cuadro 11).

Cuadro 11. Concentración de nutrientes en tejido foliar de algunas especies de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Especie	N (Cmol kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
<i>Bursera vejar-vazquezii</i>	12,52	167,79	456,35	1994,00	26,00	1,72
<i>Bursera schlechtendalii</i>	18,77	1,05	390,65	1894,70	3,50	0,22
<i>Montanoa arborescens</i>	25,03	167,79	506,35	2504,60	20,50	0,52
<i>Painteria leptophylla</i>	31,29	892,37	321,55	3930,10	22,00	1,56
<i>Marina scopa</i>	18,77	892,37	207,00	3387,90	4,50	0,10

El potasio y el magnesio están más concentrados en la hojarasca, seguidos por el nitrógeno y el manganeso, mientras que el fósforo y el cobre son mínimos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Concentración de nutrientes en la hojarasca de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, durante la época húmeda.

Muestra compuesta	N (Cmol kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
1	42,52	1,05	696,65	2456,90	18,50	3,80
2	68,84	0,75	2171,70	1788,20	30,00	3,48
3	68,84	1,05	2232,50	2348,40	44,00	3,72
4	50,06	0,75	2361,50	2846,00	16,00	4,48
5	75,09	1,05	696,65	2324,70	25,50	0,22

El potasio y el magnesio se encuentran en mayor concentración en la hojarasca de la época seca, seguidos del fosforo, el nitrógeno y en manganeso son muy bajos, por otra parte la concentración de Cu es baja (Cuadro 13).

Cuadro 13. Concentración de nutrimentos en la hojarasca de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, durante la época seca.

Muestra compuesta	N (Cmol kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
1	43.81	167.80	4138.80	2285.90	29.50	4.24
2	68.84	22.88	4008.50	2479.90	78,00	0.82
3	18.77	22.88	3422.30	3171.30	23,00	4.80
4	75.10	167.79	3952.60	2948.30	119,00	3.46
5	50.06	650.85	4000,00	2919.80	155,00	4.32

El potasio y el magnesio son los más concentrados en el mantillo, seguidos del nitrógeno y el manganeso, de fósforo presento baja concentración, y el cobre es mínimo (Cuadro 14).

Cuadro 14. Concentración de nutrimentos en el mantillo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, durante la época húmeda (Cuadro 14).

Muestra compuesta	N (c mol kg ⁻¹)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1	106.39	40,00	1605.20	2501.40	202.50	8.78
2	87.61	40.32	7402.95	2368.50	361.50	5.14
3	81.35	0.75	6807.55	1864.95	182.50	7.98
4	93.87	0.75	7750.40	3134.15	417,00	7.36
5	100.13	22.86	296.30	3979.60	658,00	27,00

El potasio y el magnesio son los más concentrados en el mantillo en la época húmeda, seguidos del nitrógeno, fósforo y manganeso, el cobre es mínimo en este estrato (Cuadro 15).

Cuadro 15. Concentración de nutrimentos en el mantillo de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, durante la época seca.

Muestra compuesta	N (c mol kg ⁻¹)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1	164	493	1605,2	2501,4	202,5	6,34
2	176	493	7402,95	2368,5	361,5	8,46
3	197	1	6807,55	1865	182,5	3,58
4	138	1	7750,4	3134,2	417	6,32
5	141	226	296,3	3979,6	658	2,7

El fósforo, potasio y manganeso son altos en la raíz en época húmeda seguidos del manganeso y nitrógeno, el cobre es mínimo (Cuadro 16).

Cuadro 16. Concentración de nutrimentos en tejido radical de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, durante la época húmeda.

Muestra compuesta	N (c mol kg ⁻¹)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1	25,0317	650,8475	8213,3	3237,2	398	0,66
2	31,2897	650,8475	7499,8	3470,9	557,5	2,36
3	43,8056	403,218	5252,05	1611,9	105,5	4,56
4	68,83749	650,8475	5661,05	1600,2	101	2,7
5	43,8056	300	6001,7	2500,6	100	4,9

El magnesio, el potasio y el fósforo son los nutrientes más concentrados en la raíz en época seca, el nitrógeno y manganeso les siguen, el cobre es el de menor concentración en el estrato (Cuadro 17).

Cuadro 17. Concentración de nutrientes en tejido radical de cinco especies de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla, durante la época seca.

Muestra compuesta	N (c mol kg ⁻¹)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1	12,5158	403,218	2349,85	3294,8	154	3,94
2	18,7738	1858,475	902,5	1507,9	73,5	3,16
3	25,0317	1375,424	891,15	1697,8	12	4,54
4	50,06359	22,88135	926,45	2349,3	70	2,18
5	87,6112	40,93218	736,65	2797,8	27,5	4,66

El nitrógeno se acentúa más en el mantillo tanto en época húmeda como en seca, siendo esta última la única que alcanza valores superiores a 150 c mol kg⁻¹ (Figura 30).

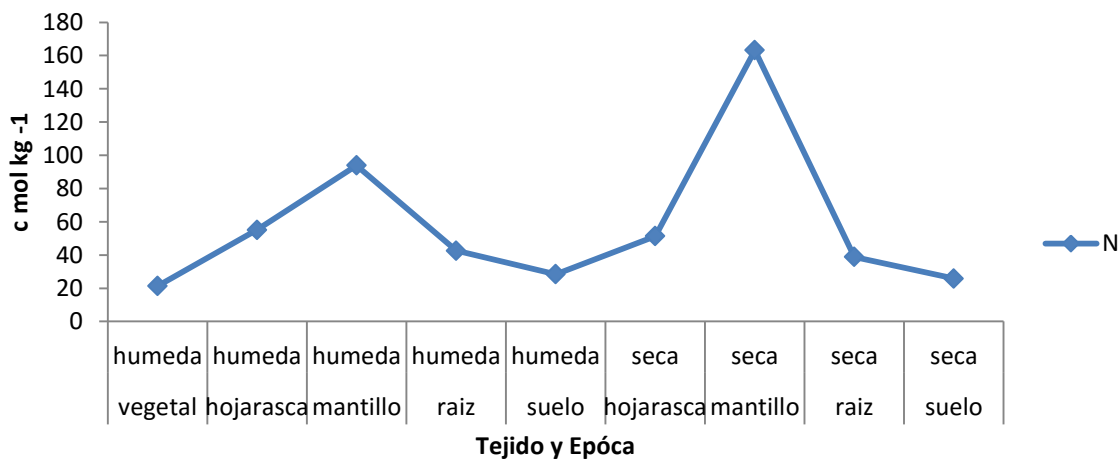


Figura 29. Variación del nitrógeno en los diferentes almacenes y épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El fósforo está más concentrado tanto en el tejido vegetal como en la raíz es época húmeda y seca, en esta última sobrepasa los 700 mg/kg. El suelo es muy pobre, se registraron 17 mg/kg en ninguna de las dos épocas (Figura 30).

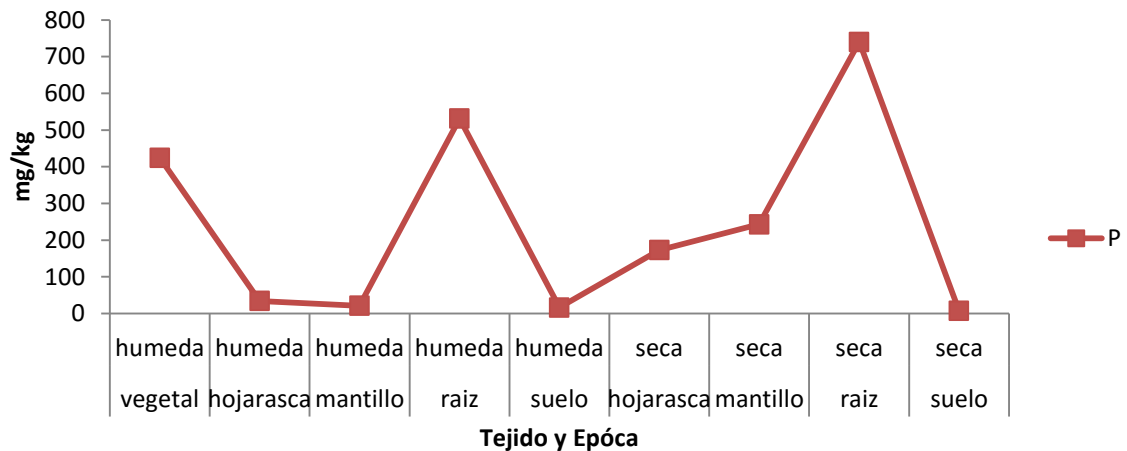


Figura 30. Variación del fósforo en los diferentes almacenes y épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El potasio si bien en la época húmeda se encuentra en abundancia en la raíz, en la sequía baja considerablemente al contrario del suelo que en época húmeda se encuentra en moderación y en época seca aumenta notablemente (Figura 31).

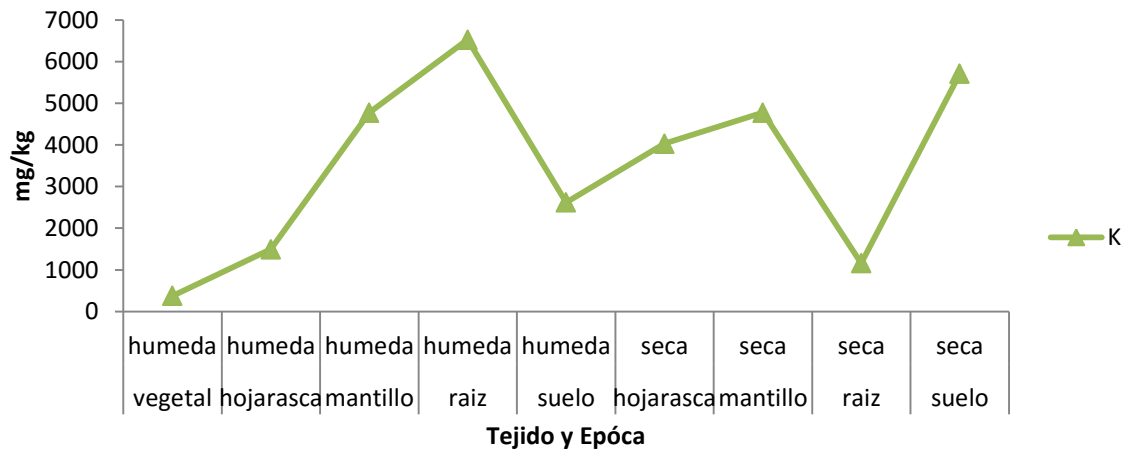


Figura 31. Variación del potasio en los diferentes almacenes y épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El manganeso es uniforme en los estratos herbáceos, en contraste con el suelo que tiene el doble de mg/kg (Figura 32)

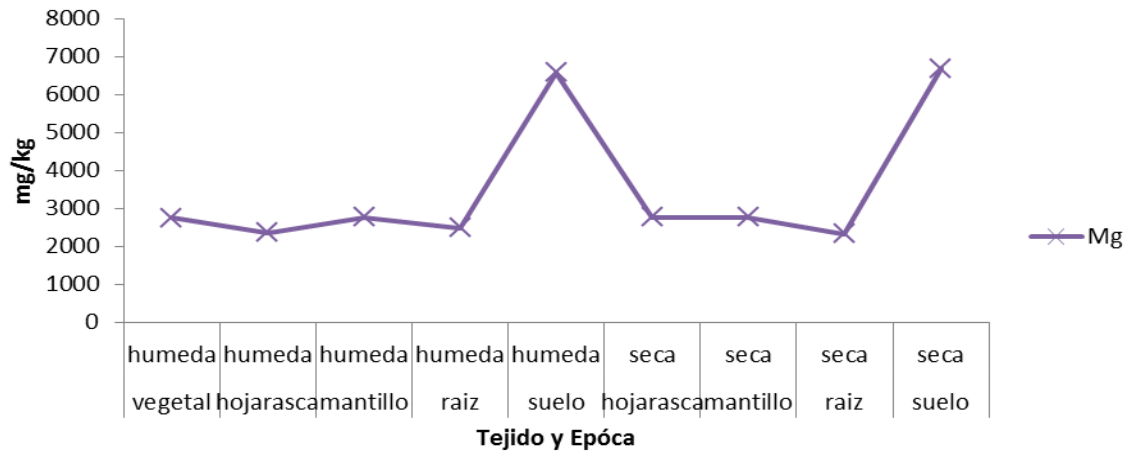


Figura 32. Variación del manganeso en los diferentes estratos y épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El manganeso tanto en mantillo como en suelo está presente en mayor cantidad (Figura 33).

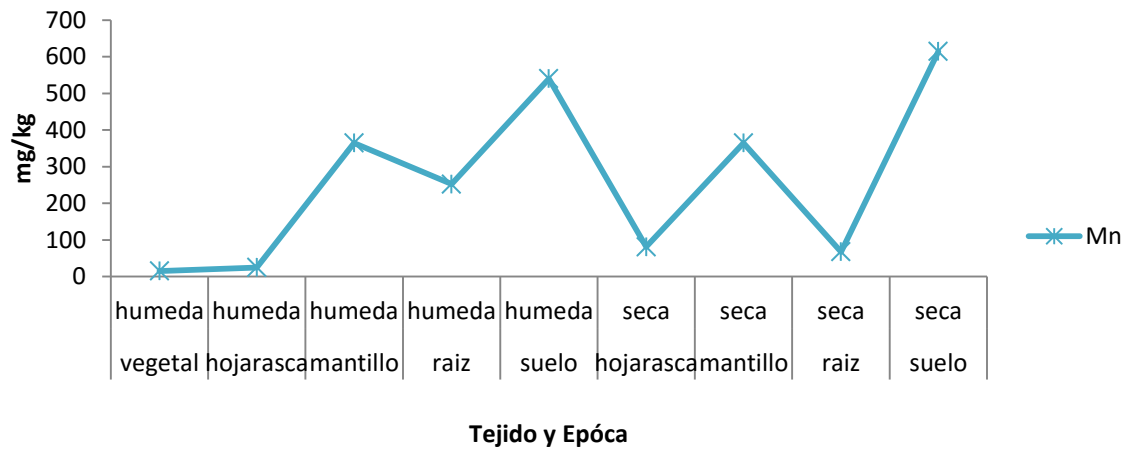


Figura 33. Variación del manganeso en los diferentes estratos y épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

El cobre es muy estable no sobrepasando los 10 miligramos por kilo, se observa que es mayor la cantidad de este en mantillo en las dos épocas (Figura 34).

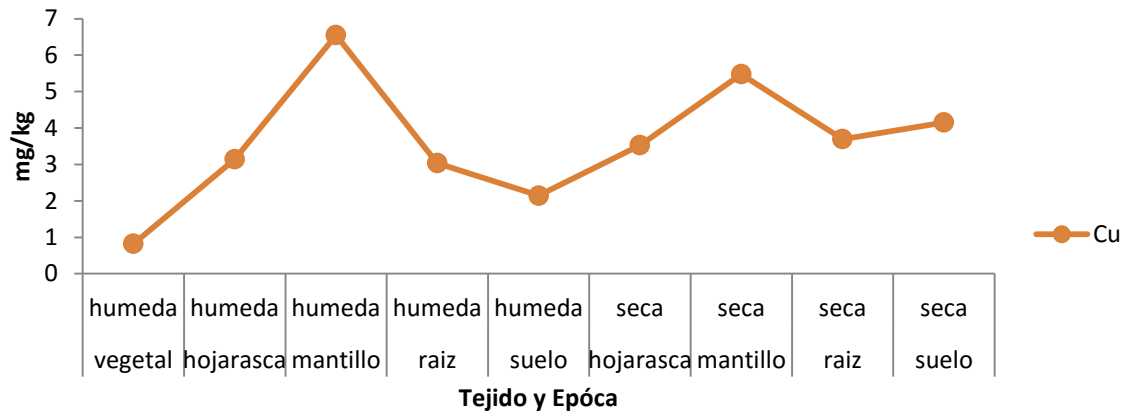


Figura 34. Variación del cobre en los diferentes estratos y épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

Correlación entre los cinco estratos

El tejido vegetal se encuentra muy relacionado con la hojarasca y el suelo de época húmeda y con raíz y suelo de época seca, la hojarasca en época húmeda esta correlacionada con el suelo de esa misma época y con el mantillo, raíz y el suelo en época seca, el mantillo de época húmeda está bien relacionado con la raíz de su época y con hojarasca, mantillo y suelo de la época seca, la raíz de época húmeda se relaciona con hojarasca y el mantillo de época seca, el suelo en época húmeda se relaciona con raíz y suelo en época seca, la hojarasca de época seca se relaciona con mantillo y suelo en época seca y el suelo de época seca se relaciona con el mantillo y la raíz de esa misma época (Figura 35).

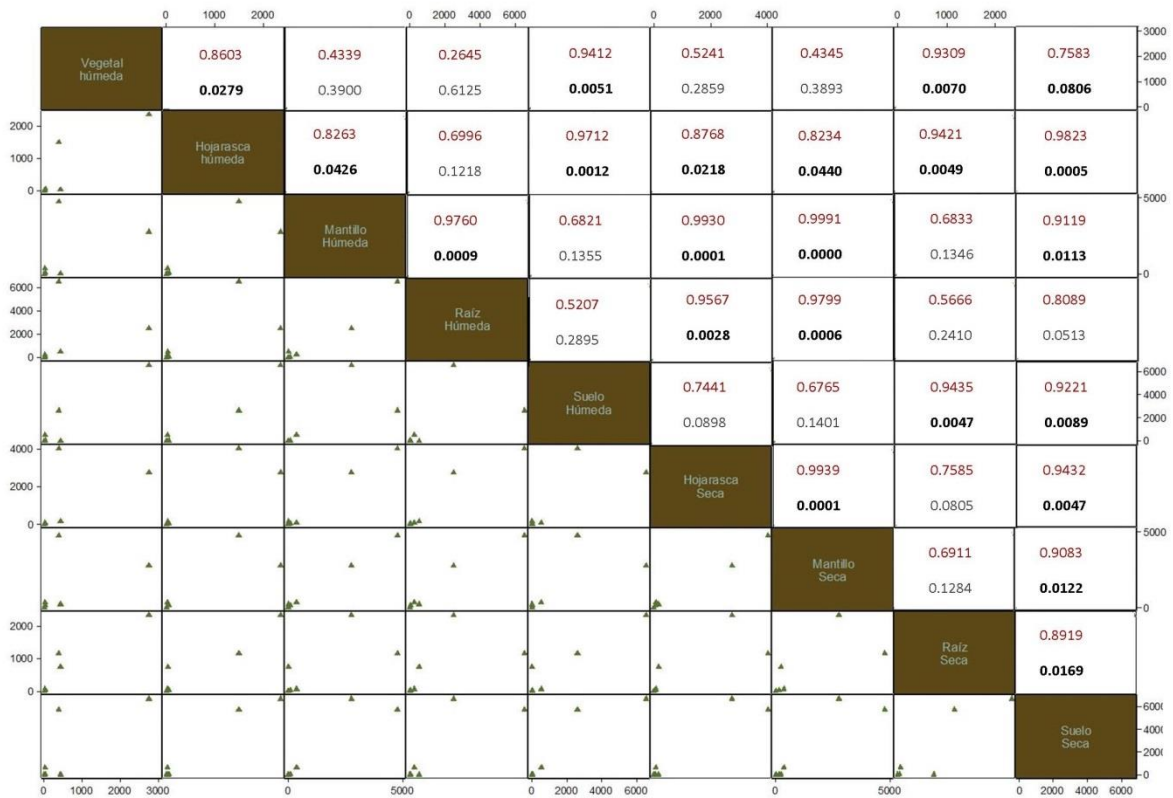


Figura 35. Correlación entre los cinco estratos y épocas de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoras, Puebla.

DISCUSIÓN

La selva baja caducifolia en la que se realizó el estudio, no tiene un alto grado de impacto antropológico a pesar de tener un uso forestal, no se observaba evidencia de pastoreo en ella, el suelo es muy uniforme a excepción de la cantidad de materia orgánica que varía mucho de una época a otra, la pedregosidad aumenta al ir acercándose a la roca madre y esto es de esperarse ya que los suelos son someros con textura migajón-arenosa, suelo joven y bien drenado caracterizado como Leptosol, con un pH cercano a la neutralidad, así se expresa la NOM-021-RECNAT-2002, (Cuadro 5 y 6) esto mismo lo han reportado en las Sierras Triqui-Mixteca (Cuahutle, 2012), en la selva baja caducifolia de Yucatán (Duran *et al.*, 2010), en Jochitan, Oaxaca (Gallardo *et al.*, 2005), en la depresión central de Chiapas (Reyes-García y Sousa, 1997) y en Chamela Jalisco (García-Oliva, *et al.*, 2010).

La materia orgánica presenta una mayor uniformidad a lo largo del horizonte en época húmeda esto debido al arrastre de esta por el agua de lluvia. Miralles, (2006) encuentra que la mayor disponibilidad de agua de precipitación facilita la acumulación de materia orgánica en los horizontes, mientras que en la época seca solo es alta en los primeros horizontes debido a la remineralización y humificación de esta para su aprovechamiento como fuente de energía y nutrimentos por las poblaciones microbianas del suelo. Huber y Schaub (2011) y Laya *et al.*, (1990), aunque no distinguen entre épocas hacen referencia la mayor humificación en los estratos intermedios del sistema, gracias a las bacterias. Por otra parte, Galicia *et al.*, (1995) y García *et al.*, (2005) dicen que en este tipo de vegetación el reciclaje de la materia orgánica es prácticamente nulo de un año a otro lo que concuerda con lo registrado en este estudio ya que la materia orgánica se incorpora en su mayoría al sistema. También Betancourt *et al.*, (1999), mencionan que las lluvias favorecen la distribución de la materia orgánica a lo largo del perfil, esto mismo se observó en Izucar de Matamoros ya que en la época húmeda la materia orgánica es más uniforme (Figura 3).

Por otro lado la C.I.C.T. solo es ligeramente menor en la época de estío pero no de forma significativa, sin embargo, ésta es mayor en los primeros horizontes del perfil debido al mantillo presente en estos, Reyna *et al.*, (1974) y al igual que en el presente estudio encontraron en tres de sus siete sitios de muestreo una relación directa entre el contenido de materia orgánica y la C.I.C.T., mientras que Saidi *et al.* (2008) mencionan que la C.I.C.T. dependerá tanto de las arcillas como de las cargas producidas por la materia orgánica, lo que concuerda con las correlaciones en este análisis. ENSAT (2009), menciona que el complejo arcilla-humus tiene la capacidad de retener cationes en la solución del suelo, por lo que si en la selva de Izucar de Matamoros la relación entre el humus de la materia orgánica se relaciona directamente con la C.I.C.T. también Miralles (2006) comenta que la C.I.C.T. aumenta en horizontes superficiales salvo en suelos arcillosos (Figura 4).

Dado que la solubilidad y movilidad de los iones se favorece con el contenido de humedad del suelo, durante el periodo húmedo por el proceso de lixiviación, estos se distribuyen uniformemente en todos los horizontes del perfil. En relación a lo anteriormente dicho, Majdoub (2010), observa que las sales van siendo arrastradas por el agua a las capas inferiores del suelo y esto lo logra evaluando la conductividad. Resultados similares son reportados por Miralles (2006) quien menciona que los suelos bien drenados tienen ventajas fisicoquímicas. La evaporación durante el periodo seco incrementa las concentraciones de electrolitos en la superficie del suelo, lo cual eleva la conductividad eléctrica en los primeros horizontes del perfil, una condición muy similar se reporta en los trabajos de Galicia et al., (1995) y Montoroi, (1997) (Figura 5).

En la época húmeda se encontró que la CICT y el porcentaje de arcilla se correlacionan debido a que el intercambio de cationes se incrementa con el contenido de humedad en el suelo favorecido por el porcentaje de arcilla, lo que concuerda con Saidi et al. (2008) quienes aseguran que las arcillas y la capacidad de campo se relacionan con la CICT. Miralles (2006) menciona que si el suelo está favorecido por las arcillas la cantidad de agua que entra al sistema será mayor, por tanto la movilidad de cationes será mayor al igual que en el presente trabajo y Galicia et al. (1995) concuerdan con esto. Durante la época seca el intercambio catiónico es mayor en los primeros horizontes promovido por el contenido de materia orgánica lo que permite una mejor distribución de los cationes, esto lo explica Galicia et al. (1995), quienes mencionan que tanto las arcillas, como la materia orgánica facilitan la retención de agua (Figura 6).

Se encontró durante la época húmeda que el nitrógeno y el fósforo son los principales macronutrientes que aumentan y limitan la producción del ecosistema, Cerón y Aristizábal (2012), mencionan que nitrógeno y fósforo son nutrientes críticos para los organismos que dependen directamente del suelo y estos macronutrientes y determinan el desarrollo de la productividad de los ecosistemas siendo estos dos los más abundantes en el sistema, esto mismo se refleja en los resultados expuestos en este estudio. El nitrógeno y el fósforo se encuentran más abundantes sobre todo en los primeros horizontes del perfil, esto debido a que la humedad acelera las tasas de mineralización y con ello la liberación de estos nutrientes y se almacenan en el suelo (Figuras 29-35 y cuadros 11-17). Por otro lado, las raíces finas proliferan en estos mismos espesores del suelo interceptando los nutrientes traduciéndose en el incremento de biomasa de los productores primarios cambiando la fisonomía del ecosistema, lo que se relaciona con lo encontrado por Miralles (2006).

El sistema radical tiene una menor biomasa conforme aumenta la profundidad. En periodo seco tanto el nitrógeno como el fósforo siguen la misma tendencia pero menos evidente, ya que la mayoría de las raíces finas se reincorporan, disminuye la biomasa microbiana por el

déficit de agua y son almacenados en el suelo al pasar a formas químicas estables. Los demás macro y micronutrientes no son limitantes en el sistema, así se menciona en el trabajo de Garcia et al. (2005), donde se hace un listado de la importancia de los macronutrientes y micronutrientes. En el presente estudio la concentración de los micronutrientes permanece sin fluctuaciones importantes (Cuadros 7 y 8).

Dado que el nitrógeno y el fósforo son los nutrientes limitantes del sistema, estos tienen una covarianza significativa en época húmeda, donde se encuentran con mayor disponibilidad y en esta misma época el cobre solo se relacionó con el nitrógeno debido a que este es fundamental en la fotosíntesis, esto concuerda con lo encontrado en los trabajos de Garcia et al. (2005) y Miralles (2006) correlaciona positivamente al nitrógeno, al fósforo y el potasio con el manganeso ya que estos participan activamente en la respiración y en la fotosíntesis; mientras que en época seca el nitrógeno se relacionó bien con el magnesio y el manganeso ya que los tres juegan un papel crucial en la fotosíntesis, respiración y el metabolismo de las plantas, además de almacenar energía para este periodo. Schelesinger et al. (1996), mencionan que esto dependerá de la geoestación que esté presente, ya que los cambios de clima y en el tiempo hacen que varíen los resultados, pero estos no serán muy diferentes ya que en un ecosistema con cierto grado de conservación las pérdidas de cualquier elemento serán mínimas, esto es evidente en los datos del presente estudio (Figura 7).

En época húmeda las arenas y la capacidad de campo tienen un papel importante en lograr que el nitrógeno se encuentre disponible para las plantas, todos los macronutrientes se comportan de forma uniforme y estable, pero en su mayoría guardan covarianzas positivas con las características físicas en época húmeda al igual que Miralles (2006), se encontraron relaciones positivas entre nitrógeno y arenas y negativas entre fósforo arenas y Cuahutle, 2012 en su análisis de correlación dice que únicamente el nitrógeno, el fósforo y el potasio obtuvieron valores significativos en relación con la materia orgánica, pH activo, CICT, densidad real, conductividad eléctrica y retención de humedad. Los resultados de este estudio para la mayoría de los parámetros son similares. En época seca la capacidad de campo permite el almacenamiento parcial del nitrógeno, del fósforo y del potasio, estos nutrientes se relacionan bien con el espacio poroso y la densidad aparente (Figura 8).

El manganeso es importante para la absorción iónica, fotosíntesis, respiración y síntesis de proteínas. Es influenciado por la capacidad de campo en ambas épocas, mientras que el cobre es muy uniforme en cuanto a las características físicas del suelo por lo que no hay diferencia significativa (Figura 9). En época húmeda la CICT se ve influenciada por el nitrógeno, que participa de forma activa en la absorción iónica ya que anteriormente se ha mencionado que la materia orgánica aumenta la fijación de nutrientes por el aumento de CICT, esto lo describe Miralles (2006). Sin embargo, en el periodo seco la CICT se correlaciona con el

contenido de fósforo ya que este sirve como almacén y transporte de energía además de todo el metabolismo, lo mismo dice Cuautle (2012) (Figura 10). El cobre que es importante durante la fotosíntesis se correlaciona bien con la CICT en el periodo húmedo, por otra parte en el seco el manganeso se correlaciona bien con la materia orgánica por la producción de proteínas para almacén de energía en esta época (Figura 11) estos últimos micronutrientes, no fueron considerados por los autores citados.

El nitrógeno es mayor en los primeros horizontes del perfil ya que este es soluble además que las raíces finas lo fijan en los estratos donde más abundan, en la época seca el nitrógeno baja uniformemente conforme aumenta la profundidad, pero en la húmeda este es mayor en el segundo horizonte del perfil, puesto que este es soluble en el agua es de entender que valla bajando Cuahutle (2012) y Saur en (1989) reporta concentraciones más altas en el primer horizonte del perfil en cinco sitios distintos (Figura 12). El fósforo que es lavable, así como lo describe Alcántar y Trejo-Téllez (2009), se incrementa a lo largo del perfil en el periodo húmedo, sin embargo, Borges en (2012) dice que en periodo húmedo el fósforo es bajo pero constante a lo largo del perfil, mientras que en este estudio en el seco baja a la mitad esto por la absorción de este ya que es utilizado en el metabolismo de las plantas, además se reporta en Galicia *et al* (1995) que es de importancia en este tipo de ecosistema para el anclaje de especies de importancia ecológica (Figura 13). Saur (1989) mide en cinco sitios distintos el fósforo y obtiene concentraciones más altas de este elemento en los primeros horizontes del perfil lo que concuerda, pero menciona que este y el nitrógeno son antagonistas. El potasio es mayor casi el doble en época húmeda en comparación con la seca, ya que presenta propiedades osmóticas y es de utilidad para la apertura y cierre de estomas, lo que se relaciona con Alcántar y Trejo-Téllez (2009), que dado que la selva es caducifolia pierde sus hojas en la época seca (Figura 14). Borges (2012) dice que el potasio es deficiente en épocas de lluvias y que está bien correlacionado con materia orgánica y pH en este caso es contrario aunque no muy marcado. Ya que el magnesio está presente en las clorofilas, proporciona balance electrolítico y estabiliza los ribosomas (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009), este se encuentra más concentrado en los primeros horizontes en la época húmeda para la disponibilidad de las raíces finas y es menor en los últimos horizontes, mientras que en la época seca se concentra más en los últimos horizontes del perfil ya que participa activamente en el almacenamiento y transferencia de energía, Saur (1989) reporta estable este nutrimento a lo largo de los horizontes (Figura 15). Ya que el manganeso participa en la absorción iónica, fotosíntesis, respiración, control hormonal y síntesis de proteínas, es muy estable en las dos épocas dado que es de gran utilidad en la fotosíntesis (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009), Saur en 1989 observa una uniformidad de este elemento (Figura 16). Dado que en la época seca no hay disponibilidad hídrica el cobre se concentra más en el periodo seco que en el húmedo ya que se utiliza en la fotosíntesis, se puede decir que el suelo es un almacén en el periodo de estío, sin embargo es constante en el perfil al igual que Saur (1989) reporta una variación mínima para el cobre (Figura 17).

En época húmeda los diámetros más gruesos se correlacionan, en contraste, la raíz menores a 0.5mm y las de 1 mm y muy fina presentan correlación positiva esto se debe a que en este periodo nacen las raíces más finas que depende de las de mediano diámetro, en periodo seco solo se correlacionan las raíces gruesas ya que las de menor tamaño son reincorporadas al sistema, Jiménez y Arias (2004) concuerdan y en su trabajo menciona que las raíces finas son menos a mayor profundidad y las gruesas son constantes (Figura 18). El sistema radical fino domina en los primeros horizontes del perfil en la época seca, cuando la disponibilidad de agua solo se encuentra presente en la superficie ya que la materia orgánica ayuda a conservar la humedad, lo que propicia que se conserve la rizósfera fina, mientras que en estratos más profundos estas son casi imperceptibles y dominan las gruesas (Figura 19) Cuahutle (2012), Aguilar (2012), Contreras- Morales *et al.* (2008), Galicia *et al.* (1995), Martínez y Rodríguez en (1988) y Villanueva (1998) dicen que la mayor parte del sistema radical fino se localiza en los primeros 25 cm de profundidad en el perfil, esto coincide con lo registrado en el presente trabajo, pues es donde se tiene más densidad de estas.

Los trabajos de Aguilar (2012), Contreras- Morales *et al.* (2008), Galicia *et al.* (1995) concuerdan con lo encontrado en época húmeda, esto se debe a que el mayor porcentaje de la raíz fina está en los primeros tres estratos que es donde se da un mayor intercambio catiónico por el alto contenido de material húmico, estas destacan en esta zona aunque están presentes en los últimos dos horizontes donde es predominante la presencia de las raíces más gruesas (Figura 20). Cuahutle (2012) menciona que las raíces menores a 1 mm de diámetro se encuentran muy relacionadas con la cantidad de material húmico en suelo.

La longitud radical varía de época seca a húmeda, se nota el cambio sobre todo en las raíces muy finas ya que se encontró solo un 12 por ciento en época seca y en época húmeda aumenta a un 36 por ciento ya que es cuando la disponibilidad de agua aumenta por tanto la rizosfera fina crece, las demás no varían mucho ya que es más difícil que estas tengan que desintegrarse durante la época seca. Mientras que el área de superficie expuesta cambia del dos por ciento de época seca al ocho por ciento en época húmeda lo que es de suponer por la disponibilidad de agua, esta biomasa disminuye conforme aumenta la profundidad lo que concuerda con Jiménez y Arias (2004), quienes dicen que esto se debe a la compactación, el contenido de arcillas y la porosidad, afectan directamente la capacidad de absorción de estas en el perfil de suelo (Figura 21 y 22).

El espacio poroso es fundamental para el establecimiento de las raíces muy finas, Contreras- Morales *et al.* (2008), encuentran un mayor número de raíces menores a 1mm en los primeros 30 cm donde la porosidad del suelo es mayor, y esto se denota en la correlación positiva que se tiene entre estos dos factores en época húmeda, por otra parte hay significancia entre las arcillas con las raíces finas, esto se debe a que las arcillas limitan el crecimiento de estas en época húmeda por su capacidad para saturarse de agua, lo que no es conveniente para el desarrollo de las raíces finas, en época seca la pedregosidad ayuda al

material fino a conservarse en esta época donde el material muy fino es reincorporado para su almacenamiento (Figura 23) aunque Villanueva (1998) menciona que la pedregocidad genera deficiencias de humedad.

La materia orgánica es la única característica que se relaciona bien con las raíces de mediano grosor, Aguilar (2012), menciona que este parámetro es fundamental para evaluar la calidad del suelo, aun así la mayoría de las características químicas tienen una relación positiva con los distintos diámetros de las raíces exceptuando la CICT que en época húmeda se correlacionó negativamente con los dos diámetros más gruesos. Mientras que en época seca la materia orgánica y el pH activo tienen buena correlación con las raíces de mediano diámetro, las demás características químicas tienen correlaciones positivas excepto pH que hasta en su correlación significativa fue negativa con las raíces medianas, aunque el pH es ligeramente básico (Figura 24). Es bueno para el desarrollo de raíces, a si lo reportan Contreras- Morales *et al.* (2008).

Ayenia ovata y *Painteria leptophylla*, son las dos especies que controlan de manera sobresaliente los flujos de energía en el ecosistema, mientras que para las segundas dos especies el alto número de individuos presentes en el ecosistema es el que les confiere junto con la dominancia relativa el alto IVI, estas fueron seguidas de *Marina scopia* y *Montanoa arborescens*, pero *Bursera vejar-vazquezii*, *Bursera schlechtendalii* y *Lysiloma divaricatum*, se caracterizan por tener una distribución bastante uniforme en toda el área de estudio, esto se ve reflejado en sus valores de frecuencia relativa obtenidos en el análisis de la vegetación (Figura 26), las tres forman parte del estrato arbóreo, lo cual las ubica como especies importantes dentro del ecosistema esto es similar a lo encontrado en Huautla donde Vallejo (2009) reporta a *Lysiloma divaricatum* como uno con el mayor IVI.

En este estudio se encontró que dentro del estrato herbáceo las familias Poaceae y Lamiaceae están bien representadas en el estrato herbáceo. Por su forma de vida estas dos familias tienen un alto IVI sobre todo por su densidad relativa (Figura 26), es decir, su alto número de individuos (Figura 25) aunque no controlan los flujos de energía del ecosistema, pero si del estrato herbáceo. Lo que denota que el grueso de la flora está representado en las cinco familias Fabaceae, Asteraceae, Burseraceae, Malvaceae y Apocynaceae, con un total de 34 especies, lo que representa un 66 por ciento de las especies y taxa intraespecíficos, además las 46 familias restantes en muchos de los casos están representadas por una o dos especies (Cuadro 9). *Bursera* es el género más diverso con seis especies es de tomar en cuenta que la selva baja caducifolia alberga el 60 por ciento de los endemismos del país lo cual expresan Dirzo *et al.*, (2009), Gallardo-Cruz *et al.* (2005), García *et al.* (1995), Arias *et al.* (2002) y Trejo y Dirzo, 2000. La vegetación estudiada consiste en 51 especies identificadas hasta especie y una no fue determinada. Las especies de pastos presentes fueron consideradas de forma general dentro de la familia Poaceae.

Se encontró una dominancia del estrato arbóreo y arbustivo. Se observaron adaptaciones específicas en las especies presentes para resistir la sequía, como son: metabolismo CAM (cactáceas), desarrollo de sistema radical profundo, hábitos caducifolios (arbustos) y ciclos de vida cortos condicionados por la presencia de humedad y disponibilidad de nutrientes (herbáceas) todo esto concuerda con lo descrito por Rzdowski et al. (2005); Arias et al. (2002); Jaramillo (2000); Rzdowski y Guevara-Fefer, (1992) y Rzdowski, (1978).

El aporte anual de hojarasca demuestra que el mayor aporte de material orgánico al sistema se da gracias a los tallos que llegan a su producción máxima en época seca justamente en el mes de agosto, sin embargo el tejido foliar es el que sobrepasa a los tallos en mes de agosto ya que es cuando la mayor parte de la cubierta vegetal ha caído, al ser vegetación caracterizada por flores pequeñas solo el mes de mayo fueron relevantes para el aporte de materia orgánica, los frutos aportaron más materia orgánica en el mes de agosto seguido de febrero, mientras que la corteza se destacó al igual que la mayoría en el mes de agosto (Cuadro 10 y Figura 29) lo mismo se reporta en los trabajos de Muñoz *et al.* (2009), Prause *et al.* (2003), Santa-Regina y Gallardo, (1985). En promedio la mayor cantidad de hojarasca se registró en el mes de agosto (Figura 29), con un total de 1069.44 g/m² y el más bajo fue en mayo con un total de 184.119 g/m², Gaspar-Santos *et al.* (2015) reportan 550g/m², López-Hernández *et al.* (2012) reportan una producción anual de 462 g/m² de hojarasca. Si tomamos en cuenta el porcentaje de cada uno de estos componentes, la hojarasca es la que llega a ser la más abundante ya que se registra del 50 al 33 por 100, tallos del 48 al 29 por 100, corteza del 31 al 6 por ciento, y flor y fruto del 7 al uno por 100.

Ya que el magnesio está presente en las clorofilas de manera importante es el macronutriente con mayor presencia en el tejido foliar y en la hojarasca en la época húmeda (Cuadro 11), mientras que la hojarasca de época seca tiene mayor concentración de potasio ya que se utiliza en el transporte de carbohidratos y sus propiedades osmóticas (Cuadros 12 y 13). En el mantillo de época húmeda y seca está más concentrado el potasio y el magnesio lo que indica que éstos permanecen en los materiales hasta su biodegradación (Cuadro 14 y 15). En la raíz se concentraron más el fósforo, el potasio y el magnesio ya que el fósforo ayuda en el almacenamiento y transporte de energía, el potasio regula la osmosis y participa en la síntesis y fijación simbiótica del nitrógeno, por último el magnesio participa en el almacenamiento y transferencia de energía (Cuadro 16 y 17), lo cual se describe en el trabajo de Alcántar y Trejo-Téllez (2009) y Cuahutle (2012). Se encontró que solo el material fino está más relacionado con nitrógeno y fósforo, mientras que el resto con el potasio y el hierro por los valores tan altos en este estrato.

El nitrógeno se acentúa más en el mantillo en las dos épocas seguramente gracias a las bacterias fijadoras y a materia orgánica, Cuahutle (2012) y Legout (2008), describen en su estudio que conforme aumenta la profundidad disminuye la cantidad de nitrógeno en los

horizontes, mientras que en el suelo en época seca es muy baja su concentración, al igual que en el tejido foliar en la época húmeda (Figura 30), el fósforo que sirve para el almacén y transferencia de energía y que se encuentra presente en el metabolismo vegetal está más concentrado en el tejido foliar, la raíz en época húmeda y la raíz y el suelo en la época seca.

Galicia *et al* (2005) encuentran una relación cercana entre el fósforo y el anclaje de especies de importancia ecológica en Chamela Jalisco (Figura 31), el potasio por otra parte va aumentando en los distintos estratos del tejido vegetal de manera uniforme ya que potasio presenta propiedades osmóticas, participa en la apertura y cierre de estomas, en fotosíntesis, transporte de carbohidratos y otros productos, respiración, síntesis de proteínas y desciende en el suelo, esto en época húmeda, pero en época seca aumenta gradualmente en los primeros tres estratos, desciende en la raíz y vuelve a subir en el suelo ya que participa en la fijación del nitrógeno. Muñoz *et al*, (2009) dicen que en época de estío el potasio aumenta por su función osmoreguladora que ayuda a tolerar el estrés hídrico, ya que el magnesio ayuda en la absorción iónica, fotosíntesis, respiración y el almacenamiento y transferencia de energía, además en la síntesis orgánica, balance electrolítico y estabilidad de los ribosomas. Este nutrimento tiene mayor concentración en el suelo, mientras que en los demás estratos es constante en las dos épocas (Figura 26). El manganeso a pesar de ser un micronutrimento participa activamente en la absorción iónica, en la fotosíntesis, la respiración, el control hormonal y la síntesis de proteínas y a pesar de ser muy bajo en hojarasca y tejido foliar en suelo y en mantillo presenta una concentración importante (Figura 27), el cobre está presente en la fotosíntesis, respiración, en la regulación hormonal, la fijación de nitrógeno aunque sea un efecto indirecto y en el metabolismo de compuestos secundarios. Por lo que se encuentra en mayores concentraciones en hojarasca y mantillo de ambas épocas (Figura 34). Legout (2008) relaciona el aumento de manganeso, magnesio y fósforo con el aumento en la profundidad.

Los ciclos biogeoquímicos en época húmeda son muy uniformes y se van correlacionando muy bien de un estrato con el siguiente ya que en esta época es cuando los nutrimentos se van desplazando con la ayuda del agua, lo que es igual a lo encontrado por Garcia *et al* (2005), quienes demuestran que la mayor circulación de nutrimentos se da en el periodo húmedo, mientras que el suelo guarda una muy buena relación con la hojarasca y el tejido foliar. En época seca se rompe este equilibrio pero como es de esperarse la hojarasca y el mantillo mantienen una correlación perfecta ya que una sucede a la otra y la hojarasca, el mantillo y la raíz se correlacionan perfectamente con el suelo, lo que hace a este sistema eficiente en su producción, por otra parte Muñoz *et al* (2009) mencionan que si no hay un covarianza significativa se dice que no hay variación en el ciclo (Figura 35).

Conclusiones

Los ciclos biogeoquímicos están fuertemente influenciados por el nitrógeno y el fósforo, nutrimentos que dominan todos los estratos edáficos de la selva baja caducifolia de Izucar de Matamoros, Puebla.

La raíz fina aumenta en la época de lluvia, en la época de secas, la hojarasca juega un papel importante en la regulación de nutrimentos en la selva baja caducifolia estudiada.

La materia orgánica facilita la movilidad de nutrimentos en el sistema, esto más la lixiviación que distribuye los materiales húmicos en época húmeda facilitan la mineralización y por tanto promueven una reserva de nutrimentos en la época seca.

La capacidad de campo, la densidad aparente, el espacio poroso, el porcentaje de arcillas, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, influyen la disponibilidad de los nutrimentos que son absorbidas por el sistema radical fino.

Ayenia ovata y *Painteria leptophylla* son las especies con mayor índice de importancia y esto se debe a su densidad, pero la familia de las burseras son los dominantes ecológicos debido al número de individuos y biomasa en la zona de estudio.

Fabaceae, Asteraceae, Burseraceae, Malvaceae y Apocynaceae son las familias con más representación en esta selva con un 66% y controlan la circulación de nutrimentos en el bosque estudiado.

Fuentes consultadas

- 📖 Aguilar A., 2012. Evaluación de variables de fertilidad del suelo y de la concentración de nutrimentos foliares en huerta de mango del municipio de la Unión Guerrero. Tesis para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México. 130 p.
- 📖 Alcántar G. y L. Trejo-Téllez coordinadores. 2009. Nutrición de cultivos. Colegio de Postgraduados y Mundi-Prensa México, D.F. p 451.
- 📖 Alvarado-Cárdenas L. y J. Morales. 2014. Género *Mandevilla* (Apocynaceae: Apocynoideae, Mesechiteae) en México. *Botanical Science* 92 (1): 59-79
- 📖 Álvarez-Sánchez J., 2001. Descomposición y ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de México. *Acta Zoologica Mexicana* 1:11-27 consultado 10/02/2014
- 📖 Disponible en: <http://www1.inecol.edu.mx/azm/documentos/especial/especial-1b-alvarez.pdf>
- 📖 Arias, D., O. Dorado y B. Maldonado. 2002. Biodiversidad e importancia de la selva baja caducifolia: la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. *CONABIO. Biodiversitas* 45:7-12
- 📖 Atlas geográfico del medio ambiente y recursos naturales. 2010. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- 📖 Audesirk, G., T. Audesirk y B. E. Byers. 2003. *Biología, la vida en la tierra*. 6ª ed. Editorial Pearson. España, Madrid.
- 📖 Bais H., S. Park, T. Weir, R. Callaway y J. Vivanco. 2004. How plants communicate using the underground information superhighway. *Trends in Plant Science*. 9: 26-32.
- 📖 Betancourt P., J. Gonzáles, B. Figueroa y F. González, 1999. Materia orgánica y caracterización de los suelos en proceso de recuperación con coberturas vegetativas en zonas templadas de México. *Terra. CAPINGO Distrito Federal México*. 17:2, 139-148pp. Consultado 21/04/2016. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art139-148.pdf>.
- 📖 Bohon H.L, B. L. Mc Neal y G. A. O´Connor. 1993. *Química del suelo*. Editorial Limusa. México D.F.
- 📖 Bohm W. 1979. *Methods of studying Roots system* (Ecological Studies; v 33). Springer-Verlag. New York, U.S.A.
- 📖 Bonanomi G., M. Sicurezza, S. Caporaso, A. Esposito y S. Mazzoleni. 2006. Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. *New Phytologist*. 169:571-578.
- 📖 Borges-gomez L, C Moo-Kauil, Juan Ruíz-Novelo, M. Osalde-Balam, C Gonzalez-Valencia, Carmen Yam-Chimal, F. Can-Puc, 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia*. 48: 347-359 p. Consultado el 23/05/2014. Disponible en: <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2014/may-jun/art-1.pdf>
- 📖 Bosco, I. J., J. Blanco y F. Castillo. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. (pág. 479-506). En: Valladares, F. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. Editorial Egraf, S. A. España, Madrid.
- 📖 Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*. 54(5): 464-465.
- 📖 Callaway R., 1995. Positive interaction among plants. *The botanical review*. 61:306-349.
- 📖 Cerón L. y F. Aristizábal, 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Bogotá p. 19. Consultado 02 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32889>
- 📖 Chapman H. y P. Pratt, 1991. *Metodos de análisis para suelo, plantas y agua*. Editorial Trillas. Mexico 195 p.
- 📖 Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) 1. *Apocinaceae*, consultado 22/08/2014. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/6-apocy2m.pdf

- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO)2. Malezas de México, <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/jaegeria-hirta/fichas/ficha.htm#3>. Identificación y descripción. Consultado 22 de agosto de 2014
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) 3. Naturalista <http://conabio.inaturalist.org/taxa/272948-Cascabela> consultado 15 de febrero de 2012
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2011. Consultada el 30/11/ 2011.
- Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/dlhgo>
- Contreras-Morales E., G. Almaguer-Vargas, J. Espinoza-Espinoza, R. Maldonado-Torres y E. Álvarez-Sánchez, 2008. Distribución radical de árboles de limón persa (*Citrus latifolia* TAN). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(2): 223-234 p.
- Cox G.W. 2002. *Laboratory manual of ecology*. Mc Graw-Hill. New York, U.S.A.
- Cuanalo de la Cerda H., 1975. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Posgraduados, escuela Nacional de Agricultura. 40 p.
- Cumana L. 2010. Clave para especies de *Ludwigia* L. (Onagaceae) de la región Nor-Oriental e Insular de Venezuela depositadas en el herbario IRBR. *Acta Botanica Venezuelica*, Caracas, Venezuela. 33 (2): pp. 299-327. Consultado el 15/02/2012.
- Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0084-59062010000200008&script=sci_arttext.
- Dajoz R. y M. M. J. Leiva. 2003. *Tratado de ecología*. 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa. España, Madrid.
- L. Dawson y D. Atkinson, 1991, *Methodology for the study of roots in field experiments and the interpretation of results*
- Dirzo R., A. Aguirre y J. López. 2009. Diversidad florística de las selvas húmedas en paisajes antropizados. *Investigación ambiental, ciencia y política pública*. pp: 17-22
- Doménech X y Peral J. 2006. *Química ambiental de sistemas terrestres*. Editorial Reverté. España.
- Duran R. y M. Méndez, 2010 Selva baja caducifolia con cactáceas candelabriformes. *Biodiversidad y Comunidades. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. Consultado el 22/12/2010. Disponible en: <http://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap3/07%20Selva%20baja%20caducifolia.pdf>
- Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT), 2009. *Fertilisation des sols: efficacité agronomique et innocuité environnementale, TP-TD de physico-chimie des sols*. Toulouse, Francia. 26 p. consultado 21/04/2016. Disponible en:
- http://moodle-ensat.inp-toulouse.fr/pluginfile.php/12214/mod_folder/content/0/FASCICULE-TP.pdf?forcedownload=1
- Ehrenfeld, 2010. Ecosystem consequences of biological invasion. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 41: 59-80 consultado el 3/08/2013
- Escamilla J. 1999. Estudio de los suelos y de ecosistemas vegetales. En: Orellana R, J. Escamilla y A. Larqué-Saavedra (eds.). *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos* Ed. Impresiones Profesionales del Sureste, S. A. de C. V. Mérida, Yucatán, México.
- Escamilla B., F. Quintal, F. Medina, A. Guzmán, E. Pérez y L. Calvo. 2005. Relaciones suelo-planta en ecosistemas naturales de la península de Yucatán: comunidades dominadas por palmas p. 159-172 En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 p.
- Facelli J. y S. Pickett, 1991. Plant litter is dynamics and effects on plant community structure. *Botanical Review*. 57: 1-32
- Fryxell P. 1992. *Flora de Veracruz*, Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. fascículo 68, Malvaceae. p 50. Consultado 10 de agosto de 2014. http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumeness/FLOVER/68-fryxell_I.pdf.
- Galicia L., F. García, J. López, 1995. Efecto de la estructura jerárquica del relieve en la distribución de las características físicas de los suelos en una cuenca tropical estacional mexicana. *Centro de Ecología, UNAM. Instituto de Geografía. Investigaciones Geográficas Boletín* (3): pp 53-75.

- 📖 Gallardo J., J. Meave y E. Pérez-García, 2005. Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), Mexico. *Boletín de la sociedad botánica de México*. Distrito Federal, México. (76): pp 19-35.
- 📖 García F. 2009. Tema 23 Clado Malvids (1): Familia Malvaceae. dep. Ecosistemas Agroforestales, Escuela Técnica Superior Medio Rural y Enología. Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.euita.upv.es/VARIOS/BIOLOGIA/Temas%20PDF/Malv%C3%A1ceas.pdf>. Consultado 10 de agosto de 2014.
- 📖 García A., K. Mendoza y L. Galicia, 2005. Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río papagayo (Guerrero), Mexico. *Investigaciones de Geografía, UNAM*, (56): pp 77-100.
- 📖 García-Oliva F., C. Montiel y Y. Tapia Torres. 2010. El Valle de Cuatro Ciénegas: Una ventana a los ciclos biogeoquímicos del pasado y del futuro centro de Investigaciones en Ecosistemas. *Boletín de la UNAM campus Morelia*. (29): pp 1-3.
- 📖 García-Sánchez, R. 2005. Restauración de la cubierta vegetal de los matorrales semiáridos del Valle de Mezquital, Hidalgo, México. D.F. Disponible en: www.dama.gov.co.
- 📖 Gaspar-Santos E., M. González-Espinosa, N. Ramírez-Marcial y J. Álvarez-Solis, 2015. Acumulación y descomposición de hojarasca en bosques secundarios del sur de la Sierra Madre de Chiapas, México. *Bosque*. 36:3, pp. 467-480. Consultado 14/04/2016. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v36n3/art13.pdf>
- 📖 GENTRY, A. H. 1995. Patterns of diversity and floristic composition in neotropical montane forest, en: S. Churchil, H. Baslev, E. Forero y J. Luteyn (eds.). *Biodiversity and conservación of neotropical montane forests*. New York: The New York Botanical Garden. pp. 103-126
- 📖 Grimm U. y H. Fassbender. 1981. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. III .Ciclo hidrológico y translocación de elementos químicos con el agua. *Turrialba vol. 31 No.2* pp 89-99. San José, Costa Rica. 31 (1): 27-37.
- 📖 Gutiérrez J.R. y F. A. Squeo. 2004. Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Revista Ecosistemas* 13 (1). P.36-45 *Neotropical Herbarium Specimens* <http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/>. Consultado 15 de febrero de 2012
- 📖 Hernández I.M., I. Santa Regina y J. F. Gallardo. 1992. Dinámica de la descomposición de la hojarasca forestal en bosques de la Cuenca del Duero (Provincia de Zamora): Modelización de la pérdida de peso. *Arid. Soil Research and Rehabilitation*. 6: 339-355.
- 📖 Hodgson J. 1987. Muestreo y descripción de suelos. Editorial Reverté. Barcelona, España. 233p.
- 📖 Hooper D., F. Chapin, J. Hector, A. Inchausti, P. Lawton, J. Vandermeer y D. Wardle. 2005. Effects of Biodiversity on ecosystem functioning: A consensus or current knowledge. *Ecological Monographs* 75:3-35
- 📖 Huber G. y C. Schaub, 2011. La fertilité de sols l'importance de la matière organique. *Agricultores & Territoires Chambre D'agriculture BAS-RHIN*. Consultado el 23/10/2014.
- 📖 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Izúcar de Matamoros, Puebla, Clave geoestadística 21085 Consultado el 2/06/2014.
- 📖 Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21085.pdf>
- 📖 Instituto de Biología y Ciencias Ambientales (IECA). 2011. Laboratorio de Sistemática de Plantas Vasculares. Facultad de Ciencias. Uruguay. <http://www.thecompositaehut.com/index.html>
- 📖 IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103*. FAO, Roma.
- 📖 Jaramillo, D. 2000. Efecto del secado de las muestras sobre la extracción selectiva de Fe y Al activos en Andisoles del norte de la cordillera central colombiana. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 53(2): 1077-1090. Consultado el 12/12/2014. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/rt/printerFriendly/24889/36872>.
- 📖 Jiménez C. y D. Arias, 2004. Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en un gradiente sucesional de bosques en la zona norte de Costa Rica. *Kúru: Revista Forestal*. 1(2) Consultado el 22/12/2014. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123193.pdf>
- 📖 Johnson D., R. Booth, A. Whiteley, M. Bailey, D. Read, J. Grime y J. Leake. 2003. Plant community composition effects the biomass, activity and diversity of microorganisms in limestone grassland soil. *European Journal of Soil Science* 54:671-677.

- 📖 Kirkby E. y V. Römheld, 2007. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, Absorción, movilidad, informaciones agronómicas. Consultado 25/10/2012.
- 📖 Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/CB7C812EE808C344852579A0006BECF0/\\$FILE/Micronutrientes%20en%20las%20Fisiolog%C3%ADa%20de%20las%20Plantas%20\(Tercera%20Parte\).pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/CB7C812EE808C344852579A0006BECF0/$FILE/Micronutrientes%20en%20las%20Fisiolog%C3%ADa%20de%20las%20Plantas%20(Tercera%20Parte).pdf)
- 📖 Lavado M, E. Nuñez y J. C. Escudero. 1989. Variaciones mensuales en el aporte de biomasa al suelo por distintas especies de matorral. Options Méditerranéennes-série séminaires No.3 pp: 167-172.
- 📖 Lavelle, P. y A. Spain. 2012. Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Boston, London. 25 p. Consultado 24/10/2012.
- 📖 Disponible en: <http://download.springer.com/static/pdf/930/bfm%253A978-0-306-48162-8%252F1.pdf?originUrl>
- 📖 Legout A., 2008. Cycles biogeoquímicos et bilans de fertilité minérale en herbages de plaine. Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement paris institute of technology for life, food and environmental sciences (Agro Paris Tech) pp 283.
- 📖 León de la Luz J., R. Domínguez-Cadena y A. Mendel-Narvaez, 2012. Florística de la selva baja caducifolia de la península de Baja California, México. Botanical Sciences. 90(2): 143-162. Consultado el 3/02/2014.
- 📖 Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v90n2/v90n2a4.pdf>
- 📖 Leopold S., 1950. Vegetation zones of México Ecology, 31:507-518.
- 📖 López-Hernández J., H. González-Rodríguez, R. Ramírez-Lozano, I. Cantú-Silva, M. Gómez-Meza, M. Pando-Moreno y A. Estrada-Castillón, 2012. Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de nuevo león, México. POLIBOTANICA 35:41-64 p. consultado 12/12/2014. Disponible en: <http://www.herbario.encb.ipn.mx/pb/pdf/pb35/hojar.pdf>
- 📖 Madritch M y B. Cardinale, 2007. Impacts of tree species diversity on litter decomposition in northern temperate forests of Wisconsin, USA: a multi-site experiment along a latitudinal gradient. Plant and Soil 292(1): 147-159. Consultado el 10/04/2013. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/02d5/38054b311b25c3725a86ab1bde103f519874.pdf>
- 📖 Majdoub H, Picton L, Cerf LeD, Roudseli S. 2010. Water retention capacity Polysaccharides from Prickly Pear Nopals of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia litoralis* Physical-Chemical Approach Journal of Polymers and the Environment 18:451-458 p.
- 📖 Martínez F. y J. Rodríguez, 1988. Distribución vertical de las raíces del matorral de Doñana. Lagascalia 15(EXTRA): 549-557p.
- 📖 Miralles I., 2006. Calidad de suelos en ambientes cálidos mediterráneos: Parque Natural de la Sierra María-Los Vélez. Universidad de Granada. Facultad de Farmacia, Departamento de edafología y química agrícola. Granada, 2006
- 📖 Miranda, F., y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México 28: 29-179
- 📖 Montoro J. 1997. Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol. Étude et Gestion des Sols, (4):4, pp. 279-298.
- 📖 Morehead D., M. Westerfield y J. Zak. 1998. Plant retards litter decay in a nutrient limited soil: a case of explorative competition Oecologia. 113: 22-27. Naturalista <http://conabio.inaturalist.org/observations/463115>
- 📖 Muñoz A. E. Vazquez, J. Fernandez y M. Macías, 2009. Variabilidad intraespecífica en el retorno de nutrientes al suelo de hojas de alcornoque (*Quercus suber* L.): influencia de la concentración de nutrientes en el suelo. Departamento de ciencias agroforestales. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva. 5º Congreso Forestal Español pp 13.
- 📖 Navarro G. G y B. S. Navarro. 2003. Química agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2º ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- 📖 Olsen, S. R. y L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. (pág. 403-430). En: Page, A. L., R. H. Miller y D. R. Keeney. Methods of soil analysis Part 2. 2ª ed. American Society of Agronomy. Madison, USA.
- 📖 Oxford-Complutense. 2000. Ciencias de la tierra. Diccionarios Oxford-Complutense. España, Madrid.

- Prause J., G. Arce de Caram y G. Angeloni, 2003. Valoración del aporte anual de cuatro especies forestales nativas del parque Chaqueño Húmedo (Argentina), *Quebracho, Revista de Ciencias Forestales*, (10) : pp. 39-45
- Porta C. J y R. M. López-Acevedo. 2003. *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente*. Editorial mundiprensa.
- Raven P. H., R. F. Enert, S. E. E
- Richhorn. 2004. *Biología de las plantas*. Edit. Reverte. Barcelona, España.
- Reyes J. I. 1996. *Fundamentos teórico prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo*. Parte I. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Reyes-García A. y Sousa M. 1997. Depresión Central de Chiapas, la Selva Baja Caducifolia. *Listados Florísticos de México XVII*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Reyna T., A. Guillen y N. Aguilera, 1974. Suelos derivados de cenizas volcánicas y de ando y sus relaciones con el clima del municipio de Uruapan, Michoacan. *Instituto de geografía. Investigaciones Geograficas*, (5):5 pp. 131-161. Consultado el 20/04/2016. Disponible en:
http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/inves_geo/boletines/5/bol5_art56.pdf
- Rietkerk M., S. Dekker, P. de Ruiter, y J. van de Koppel. 2004. Self-organized patchiness and catastrophic shifts in ecosystems. *Science* 305:1926-1929.
- Ríos G. R. 1999. *Laboratorio integral de biología IV, practicas del módulo de edafología*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Rivera R., L. Soto, C. Niñez, B. De Jung, M. Hernández, J. Ordoñez, 2013. Producción y tasa de descomposición de hojarasca en acahuales de selva caducifolia en Chiapas *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Distrito Federal, 4:20 pp. 20-30. Consultado 13-04-2016, Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63433994003>> ISSN 2007-1132
- Ruiz C. J, F. E. Calderón, F. J. V. Tamariz, G. J. Tremoles, M. A. Cruz, P. M. A. Valera, S. A. Handal. 1999. *Manual para la descripción de suelos y evaluación del entorno*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 65p.
- Russell Jy W. Russell. 1984. *Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas*. 4° ed. Aguilar ediciones. Madrid España.
- Rzedowski J. y G. Calderón. 2002. *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*, Fasculo 100, junio 2002, Verbenaceae. México. 145 pp.
- Rzedowski J. y F. Guevara-Féfer. 1992. *Flora del Bajío y de regiones Adyacentes*. Fasciculo 3, Burseraceae, mayo 1992. México.
- Rzedowski G. C. de, J. Rzedowski, S. Acosta, R. Aguilar, L. Akcerlrad, J. Andrade, M. Arreguín, H. Arroyo, M. Azcarraga, M. Barrios, J. Beaman, F. Brizuela, G. Calderón, J. Campos, M. Cárdenas, E. Carranza, M. Cervantes, B. Cruz, M. Denton, M. Díaz, A. Díaz, D. Dunn, A. Espejo, J. Espinosa, R. Fernández, G. Flores, P. Fryxell, R. Galván, J. García, L. García, F. García, A. García, M. González, M. González, A. Hernández, Y. Herrera, M. Ishiki, A. López, S. Koch, A. Helgueras, E. Lott, J. Marroquín, J. Medina, M. Montesinos, S. Morelos, A. Novelo, I. Núñez, S. Ochoa, A. Ortega, A. Patiño, M. Peña, S. Pérez, H. Pérez, T. Ramamoorthy, L. Rico, C. Rodríguez Jiménez, S. Romero, J. Rzedowski, A. Salas, S. Sánchez, B. Schubert, W. Stevens, J. Valdés, A. Vargas, R. Vega, R. Vélez, A. Victoria, T. Wendt, S. Zamudio. 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán). 975 pp. Consultado el 30/06/2013. Disponible en:
http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mx1.pdf
- Rzedowski J. 1978. *La vegetación de México*. Limusa. México.
- Saïdi D., Y. Le Bissonnais, O. Duval, Y. Daoud y D. Tessier, 2008. Estimation et signification de la capacité d'échange cationique des sols salés du Cheliff (Algérie), *Étude et Gestion des Sols*. 15:4 pp 241-253. Consultado 21/04/2016. Disponible en : http://www.afes.fr/afes/egs/EGS_15_4_saïdi.pdf
- Salgado-Ugarte I. 1992. *El análisis exploratorio de datos biológicos fundamentos y aplicaciones*. ENEP Zaragoza UNAM & Marc ediciones. México.
- Santa-Regina I. y J.F. Gallardo. 1985. Producción de hojarasca en tres bosques de la Sierra de Béjar (Salamanca). *Mediterránea* 8: 89-101.

- 📖 Saur E., 1989 alimentation oligo-minérale du Pin maritime (*Pinus pinaster* soland in Ait) en relation avec quelques caractéristiques physico-chimiques des sols sableux des Landes de Gascogne. *Ann Sci. For* (46) pp. 119 - 129.
- 📖 Stata Corp. 2005. Stata Statistical Software: Release 11. Collage Satation, Tx stata corp LP.
- 📖 Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000; que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Publicada en el diario oficial de la federación.
- 📖 Serra-Stepke, I y Carey, V., 2010. Sistema radical de la vid: importancia y principales factores que lo afectan. *Ciencia Ahora*, 25:69-79 consultado el 22/08/2014. Disponible en: http://www.academia.edu/2444485/Sistema_radical_de_la_vid_importancia_y_principales_factores_que_lo_afectan
- 📖 Schlesinger W., J. Reynolds, G. Cunningham, L. Huenneke, W. Jarrell, R. Virginia y W. Whitford. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247: 1043-1048.
- 📖 Schlesinger W., J. Raikes, A. Hartley y A. Cross. 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology* 77:364-374.
- 📖 Smolander A. y V. Kitunen, 2002. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species. *Soil Biology Biochemistry* 34: 651-660. Consultado 3/02/2014. Disponible en: <http://www.life.illinois.edu/ib/418/Smolander%202002%2034%20651.pdf>
- 📖 Rojas G., 2014. Ciclo biogeoquímico de nutrientes de una selva mediana subcaducifolia de Putla Villa Guerrero, Oaxaca. Tesis para obtener el título de bióloga. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad Superior de Estudios Zaragoza. Distrito Federal, México. 74 p.
- 📖 Talavera S., C. Aede, S. Castroviejo, C. Romero, L. Sáez, F. Salguero y M. Velayos. 1999. Flora Ibérica, LXXXVIII LEGUMINOSAE. Consultado el 7/08/2014.
- 📖 Disponible en: http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/07_00%20LEGUMINOSAE.pdf
- 📖 Trejo I y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biol Conserv* 94:133-42.
- 📖 Villanueva P., 1998. Distribucion Espacial de raíces en palto (*Persea Americana* Millcv. Hass) en dos suelos bajo sistemas de riego. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía, Área de Fruticultura. 40p.
- 📖 Walkley, A. y I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- 📖 Watson, L., y M. Dallwitz. 1992. The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Consultado el 19 de agosto 2014. <http://delta-intkey.com/angio/www/malpigghi.htm>
- 📖 Whitmore, T. C. 1992. An introduction to tropical rain forest. 3a ed. Oxford University press. Estados Unidos de América, Nueva York.
- 📖 Wied A., C. Galen, 1997. Plant parent care: conspecific nurse effects in *Frasera speciosa* and *Cirium Scopulorum*. *Ecology* 79: 1657-1668.
- 📖 Winckler, C. M. V., S. M. Valdir, P. J. Carbonera, J. B. Della-Flora y S. E. Moreira. 1999. Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em um povoamento de *Acácia mearnsii* de Wild. no Rio Grande do Sul. *Ciência Forestal* 9(1): 19-24.