

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUIMICA**



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**FRACCIONAMIENTO DEL FÓSFORO Y ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS EN
COPROLITOS DE LOMBRICES DE TIERRA EN SABANAS DEL ORINOCO
VENEZOLANO**

**Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela por la bachiller
Silvana I. Caipo B. para
optar al título de
Licenciada en Química**

Caracas, 06 de Mayo de 2010

RESUMEN

El fraccionamiento del fósforo ha sido ampliamente estudiado en diferentes tipos de suelos en Venezuela y el mundo, Sin embargo es poco lo que se ha investigado respecto a las formas de fósforo presentes en los coprolitos que producen las lombrices de tierra que habitan las sabanas venezolanas. Bajo la premisa el siguiente trabajo fue desarrollado con la intención de conocer la influencia de la lombriz de tierra en el cambio de las fracciones de fósforo disponible en suelos de sabana de *Trachypogon* ubicados en los estados Amazonas y Guárico.

Los suelos fueron recolectados a profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30cm en tres calicatas realizadas a lo largo de una transecta, escogida al azar. Los coprolitos frescos y viejos fueron recolectados manualmente en parcelas cercanas a las calicatas primero los viejos al limpiar cada área y luego los frescos. Posterior al tratamiento de muestras respectivo: secado, pulverizado y tamizado, se procedió a realizar un estudio de laboratorio y uno de campo previo que incluyo: análisis físicos del suelo (temperatura, humedad, densidad aparente y textura), análisis químicos de suelos y coprolitos (pH, fósforo total, fósforo orgánico, inorgánico y microbiano) y análisis bioquímicos de suelos y coprolitos (actividades ureásicas y fosfatásicas).

Los resultados demostraron los efectos de la actividad alimentaria de las lombrices al incrementarse las fracciones de fósforo inorgánico lábil y las de fósforo orgánico fácilmente mineralizable. La actividad enzimática fosfatásica arrojó como resultado una notable influencia en la mineralización del fósforo al verse aumentada en los coprolitos siendo más notorio su efecto en el área protegida de Calabozo. La actividad ureásica mostró su posible participación en la fijación biológica del nitrógeno, al verse

incrementada especialmente en la Estación Biológica. Lo cual fue consistente con los reportes de N total en esa misma zona.

El fósforo microbiano por su lado presentó valores exageradamente altos no esperados para el caso de Amazonas, no obstante estos datos podrían confirmar la hipótesis planteada por otros autores donde se relacionan la disponibilidad del fósforo y el contenido del mismo en los microorganismos, sin embargo no se descarta la posibilidad de errores metodológicos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Desde que Charles Darwin demostró la particularidad de los anélidos terrestres para degradar la materia orgánica e incorporarla al suelo, son muchos los trabajos que se han publicado, sin embargo los resultados desprenden la importancia de las lombrices en la formación y el incremento de la fertilidad de los suelos.

Estos animales, pueden degradar partículas orgánicas hasta pequeñas unidades, y formar agregados estables, sobre todo en aquellas condiciones en que se incorpora materia orgánica al suelo. Las lombrices constituyen un agente importante en la degradación de restos vegetales hacia pequeños fragmentos, que presentan gran área superficial, lo que favorece y estimula la actividad microbiana y exoenzimática sobre ellos. Por otra parte se ha demostrado claramente que las lombrices mejoran la aireación, porosidad, capacidad de retención de agua drenaje, y que bajo condiciones de sequía mantienen el suelo en mejor condición hídrica, producto de la excavación de túneles y producción de excrementos. Además presentan una fuerte influencia sobre la disponibilidad de nutrientes minerales en el suelo. Muchas investigaciones concluyen que el humus de lombriz contiene mayor concentración de nitrógeno nítrico, capacidad de intercambio iónico, fósforo, potasio, calcio y magnesio disponible, que el suelo donde estas lombrices habitan. [1]

Las lombrices junto con las termitas, las hormigas y las larvas de algunas especies de escarabajo conforman un grupo que muchos autores han denominado “los ingenieros del suelo”, ya que causan importantes modificaciones físicas en el perfil (galerías, hoyos y depósitos de excrementos) modificando el ambiente para otros

organismos y alterando la disponibilidad de hábitats y alimentos para otros animales y plantas. ^[2]

Gran parte de los estudios disponibles sobre la ecología de las lombrices fueron realizados en zonas templadas, donde la mayoría de las especies pertenecen a la familia Lumbricidae. En contraste las especies de lombrices de las zonas tropicales pertenecen a una variedad muy amplia de familias. En América del sur se ha encontrado especies de las familias Microchaetidae, Octochaetidae, Ocnerodrilidae y Glossoscolecidae. ^[1]

Es importante señalar que la taxonomía de muchos de estos invertebrados es conocida de forma insuficiente, por lo que se hace necesario realizar estudios en esta área.

Las sabanas son biomas propios de los trópicos. Se encuentran en extensas regiones de África, Asia, Australia y América del Sur. En ellas predomina la vegetación herbácea. Sin embargo, no carecen de árboles, aunque éstos se encuentran dispersos. Una característica propia de este bioma es la alternancia de una estación húmeda y otra seca. La estación seca es muy árida, característica que facilita la propagación de incendios. El fuego agiliza el crecimiento de las hierbas y frena el desarrollo de los árboles, acelera la mineralización del suelo y el crecimiento de las plantas que se adaptan a esas condiciones ^[3]. Los fuegos de sabana en general, no son lo suficientemente calientes como para afectar de forma directa al suelo, sino más bien de manera indirecta, se disminuyen los niveles de humedad, se reduce la tasa de infiltración, ocurren cambios de pH, capacidad de intercambio catiónico, cantidad de materia orgánica, cantidad de bases intercambiables y de nutrientes disponibles.

Debido a la baja conductividad térmica del suelo, durante el fuego el incremento de la temperatura es pequeña por lo tanto tiene poco efecto directo sobre la microbiología del suelo. Sin embargo los cambios que el fuego produce en las

condiciones químicas y estructurales repercuten a la biomasa microbiana de forma indirecta. En ausencia del fuego se desarrollan las especies con mayor habilidad en la captura de nutrientes, el contenido nutricional de la biomasa viva aumenta progresivamente, lo que resulta en el tiempo un enriquecimiento de micrositios del suelo. Estas zonas beneficiadas pueden actuar como focos de intrusión para las plántulas de la vegetación arbórea, comenzando de esta manera la continuación hacia una vegetación boscosa. ^[4]

La Estación Biológica de los Llanos ubicada en el estado Guárico, Venezuela; es una sabana que ha sido protegida del fuego y pastoreo por más de 30 años. En ella se ha realizado un largo seguimiento de los cambios ocurridos en la composición de especies, y se ha observado una disminución del componente herbáceo y un aumento en la densidad y diversidad del componente leñoso. La permanencia de la capa de hojarasca debido a la ausencia del fuego, junto con la ausencia de pérdidas de nutrientes por volatilización, puede ser causante de cambios químicos, estructurales y nutricionales del suelo, tales como incrementos en la cantidad de materia orgánica y de la biomasa microbiana del suelo. ^[5]

Al suroeste del País en el Municipio Cedeño, estado Bolívar, se encuentra la Agropecuaria San Diego, la cual poseía suelos modificados de sabana debido al uso de un sistema de producción integrado entre ganadería y agricultura. Este procedimiento buscó recuperar la productividad de pasturas degradadas y simultáneamente restablecer las condiciones del suelo en sistemas de cultivos anuales. ^[6] Actualmente esta hacienda se encuentra en venta y había dejado de funcionar desde hace un año aproximadamente al momento del muestreo.

Motivados por el acrecentamiento del potencial nutritivo, diversas comunidades de macroinvertebrados se trasladan a estos núcleos protegidos y unidades de producción agricultura-ganadería, afectando de igual forma los procesos

involucrados en los cambios de estos suelos modificados. Por lo tanto, no se puede negar la participación particular de las comunidades de lombrices dentro de este contexto, y se hace necesario un estudio del papel que desempeñan en las dinámicas biogeoquímicas de los suelos de sabanas, comparando los de la Estación Biológica de Calabozo con zonas tipo control aledañas y para el caso particular de la Hacienda San Diego, solo suelos de sabana natural vecina.

1.2 BIOLOGIA DE LAS LOMBRICES

1.2.1 Descripción y medios de vida

Las lombrices son anélidos terrestres con simetría bilateral, que presentan segmentación externa e interna con cutícula pigmentada. Son hermafroditas, sus gónadas están situadas en segmentos específicos, los cuales varían de acuerdo al grupo taxonómico. Cuando están sexualmente maduras, desarrollan una estructura sobre la epidermis denominada *clitelo* en esta región se desarrollan los cocones o cápsulas en las cuales uno o varios huevos son depositados, seguidamente esta cápsula pasa hacia los segmentos anteriores y es colocada en el suelo. Los jóvenes se desarrollan dentro de la cápsula y posteriormente emergen de esta. El tiempo de eclosión de las cápsulas y madurez reproductiva varía de acuerdo con las especies de lombrices y a la influencia de los factores ambientales (Figura 1). [8]

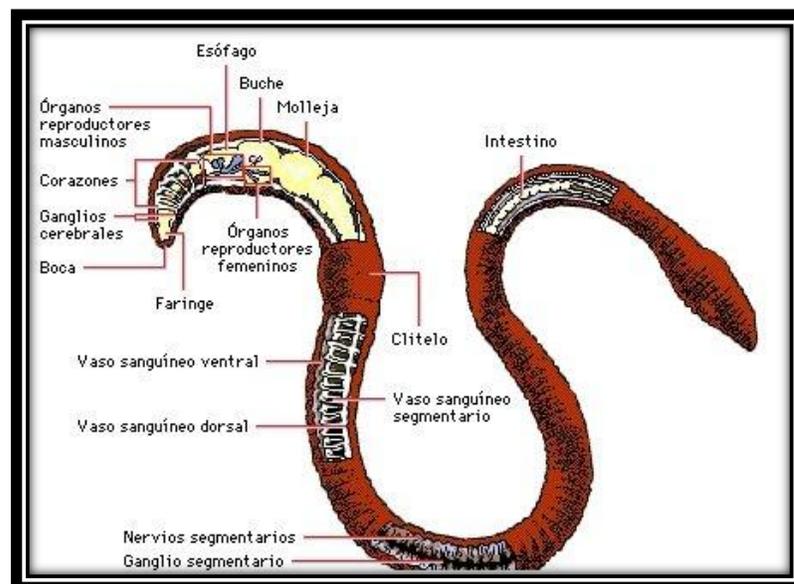


FIGURA 1. Anatomía de la lombriz [8]

Las lombrices de tierra pertenecen al phylum Annelida, clase Oligochaeta la cual está conformada por 36 familias a nivel mundial. Dos terceras partes de las familias de los Oligoquetos son lombrices acuáticas o semiacuáticas, el resto de familias presentan hábitos terrestres. Hay alrededor de 3500 especies de lombrices descritas y se estima que el número total de especies a nivel mundial sea el doble de las ya referidas. Existen diferentes grupos taxonómicos en los distintos continentes a excepción de la antártica. [7]

1.2.2 Ecología

Fisiológicamente, el desarrollo de las lombrices está condicionado por diversos factores físicos que son fundamentalmente, humedad, luz, acidez del medio o pH, temperatura y aireación.

- ✚ La humedad y la aireación del sustrato están muy relacionadas. En un terreno empapado, las gotas de agua desplazan las burbujas de aire, y se produce falta de oxígeno y ventilación. Ambos factores influyen tanto en la ingesta de alimento como en la respiración y la reproducción. Para la supervivencia de las lombrices, la humedad debe estar entre el 70 y 80%. Si el sustrato está empapado, con una humedad superior al 85 % la oxigenación es insuficiente. La falta de aireación, hace que el consumo de alimento se reduzca, y que las lombrices entren en un período de latencia, en el que por supuesto se detienen los apareamientos. Una humedad por debajo de 70 % constituye una condición desfavorable. Al estar el sustrato seco, se dificulta el deslizamiento del animal a través del medio, así como la ingestión del alimento. Niveles de humedad inferior al 55 % o superior al 95% resultan mortales para las lombrices.

- ✚ La temperatura considerada óptima para el desarrollo de las lombrices, oscila entre 18° a 25°C (su temperatura corporal es de 19-20°C). Cuando la temperatura desciende por debajo de 15°C las lombrices disminuyen su actividad reproductora y los espermátóforos no eclosionan hasta que se presentan condiciones favorables. Temperaturas por encima de los 35°-40°C o por debajo de los 4°C le resultan mortales para el animal.
- ✚ En la naturaleza, las lombrices de tierra se desplazan por el suelo través de los túneles que excavan, buscando las zonas húmedas. Por eso, en periodos de lluvia intensa, es frecuente encontrarlas debajo de piedras, etcétera. La lombriz de tierra es foto fóbica (huye de la luz del sol), pues los rayos ultravioleta matan a los animales en pocos segundos. Posee unos sensores en la epidermis, que les ayudan a detectar la procedencia de la luz y huir de ella. Por otro lado, la luz directa del sol, aumenta la temperatura del medio, llegando a alcanzarse temperaturas mortales si el animal no tiene posibilidad de huir.
- ✚ La lombriz vive en sustratos con pH de 5 a 8,4. Fuera de esta escala, la lombriz entra en una etapa de latencia.

1.3 ECOLOGIA DE LAS POBLACIONES DE LOMBRICES

1.3.1 Grupos Ecológicos

Existen tres grupos de lombrices de tierra desde el punto de vista ecológico. Las especies de lombrices no siempre están claramente dentro de uno de estos tres grupos categóricos, por lo que pueden presentar rasgos de diferentes grupos en diferentes estados de vida o bajo diferentes condiciones ambientales (Fig. 2).



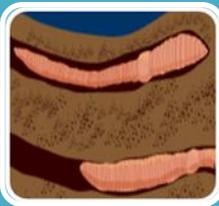
Lombrices Epigeicas

- Se alimentan de restos de plantas que están sobre la superficie del suelo, o dentro de las capas de restos de vegetales, es raro que formen madrigueras, tienden a ser pigmentadas y de pequeño a mediano tamaño.



Lombrices Anecicas

- Se alimentan de restos de plantas y suelo, viven en madrigueras verticales, son dorsalmente pigmentadas y de gran tamaño.



Lombrices Endogeicas

- Son comedoras de suelo, no son muy pigmentadas, forman amplios sistemas de madrigueras horizontales y pueden ser pequeñas o grandes.

FIGURA 2 Clasificación de las Lombrices según su ecología.

1.3.2 Comunidades de lombrices

Las comunidades de lombrices generalmente están conformadas por unas seis especies. La composición de especies de estas comunidades va depender del tipo de suelo, topografía, vegetación y también está influenciada por el uso de la tierra y la biogeografía de las lombrices. Estos organismos constituyen gran parte de la biomasa animal de los suelos de varios ecosistemas, tanto en zonas templadas como tropicales. Se encuentran ausentes en bosques con suelos muy ácidos y donde haya desechos de baja calidad. En muchas comunidades de lombrices pueden estar presentes especies exóticas invasoras. Muchas especies de la familia Lumbricidae que son de origen europeo, se encuentran dominando muchos agroecosistemas en América. El registro mundial reporta 51 especies exóticas y 151 nativas, en agroecosistemas tropicales.

1.3.3 Efectos sobre las propiedades del suelo

Las lombrices tienen gran influencia sobre las propiedades del suelo, las grandes galerías verticales hechas por las lombrices anecícas, como *Lumbricus terrestris*, pueden facilitar el flujo de agua a través del perfil del suelo, incrementando el transporte de nutrientes y compuestos químicos agrícolas hasta las capas profundas. Otros grupos como las epigeícas, facilitan la ruptura y mineralización de los desechos superficiales y las acneícas incorporan desechos superficiales en las capas profundas del perfil, también traen suelo de horizontes profundos hasta la superficie, lo cual probablemente cambie la mineralogía de la superficie del suelo. Las especies endogeícas se alimentan de fragmentos de materia orgánica y lo mezclan con la parte mineral de la superficie del suelo. [7]

1.3.3.1 Propiedades físicas del suelo

Los efectos físicos de las lombrices de tierra sobre los suelos resultan de la excavación de túneles y producción de excrementos. Estas actividades, contribuyen la estructura del suelo, a aumentar la porosidad, infiltración, aireación y la capacidad de almacenamiento del agua del suelo.

1.3.3.2 Propiedades químicas

Las lombrices de tierra también afectan la composición química de los suelos y la distribución de los nutrientes de plantas en los mismos, de las siguientes maneras:

- ✚ Transportando mantillo vegetal parcialmente descompuesto y otros detritus orgánicos a capas inferiores del suelo.
- ✚ Produciendo depósitos de materiales fecales en la superficie del suelo o en las propias galerías que excavan en la tierra, resultando en la formación de horizontes del suelo enriquecidos en materia orgánica.
- ✚ Redistribución en el suelo de productos de desecho de su metabolismo (excreta, orina, mucus) y tejido lombriciente muerto, todo lo cual es reciclado en el ecosistema planta/suelo obteniéndose nutrientes.
- ✚ Ingestión de microorganismos junto con mantillo y material inorgánico del suelo, lo que contribuye a su dispersión, afectando su viabilidad durante el paso por el tubo digestivo y los subsiguientes procesos de descomposición. ^[10]

1.3.4 La materia orgánica y el ciclo de los nutrientes

La actividad de las lombrices acelera la descomposición de los restos vegetales, incrementando la tasa de transformación de nutrientes, promueve la agregación del suelo y la porosidad, aumenta la penetración de agua y el transporte de solutos. Estos organismos tienen una gran influencia en el ciclo de los nutrientes en muchos ecosistemas. Generalmente incrementan la mineralización de carbono en el suelo, también la pueden disminuir al contribuir a la formación de agregados estables en los cuales el carbono es protegido de futuras descomposiciones. Las excretas de lombrices contienen elevadas cantidades de nitrógeno orgánico en comparación a la encontrada en suelos adyacentes. [7]

1.3.5 Dinámica de carbono, nitrógeno y fósforo en coprolitos de lombrices de tierra

Una proporción importante del material ingerido y asimilado por las lombrices de tierra se secreta como mucus intestinal y cutáneo, el cual tiene una mayor relación Carbono/Nitrógeno (C/N) que el material original. Como consecuencia de este aumento en la relación C/N, los excesos de N deben ser excretados como amonio. Otro mecanismo de excreción de N es el rápido recambio de nitrógeno en la biomasa de la lombriz de tierra. El N así liberado es mezclado con el suelo y enriquece el coprolito. En general los contenidos de N en los coprolitos (turrículos) son mucho mayores que los del suelo control, lo que ha sido ampliamente reportado para bosques y sabanas tropicales. La disponibilidad del fósforo también es muy afectada por la actividad de las lombrices endogeicas. [11]

1.4 EL SUELO

1.4.1 Estructura y componentes del suelo

El suelo se define como la parte superior de la corteza terrestre, y se trata de un sistema formado por componentes minerales (meteorización de las rocas), componentes orgánicos (humus y derivados, biomasa viva y muerta), gas (aire en el espacio existente en los poros), y agua envolviendo partículas y el espacio capilar. El suelo constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere la capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso antropogénico.

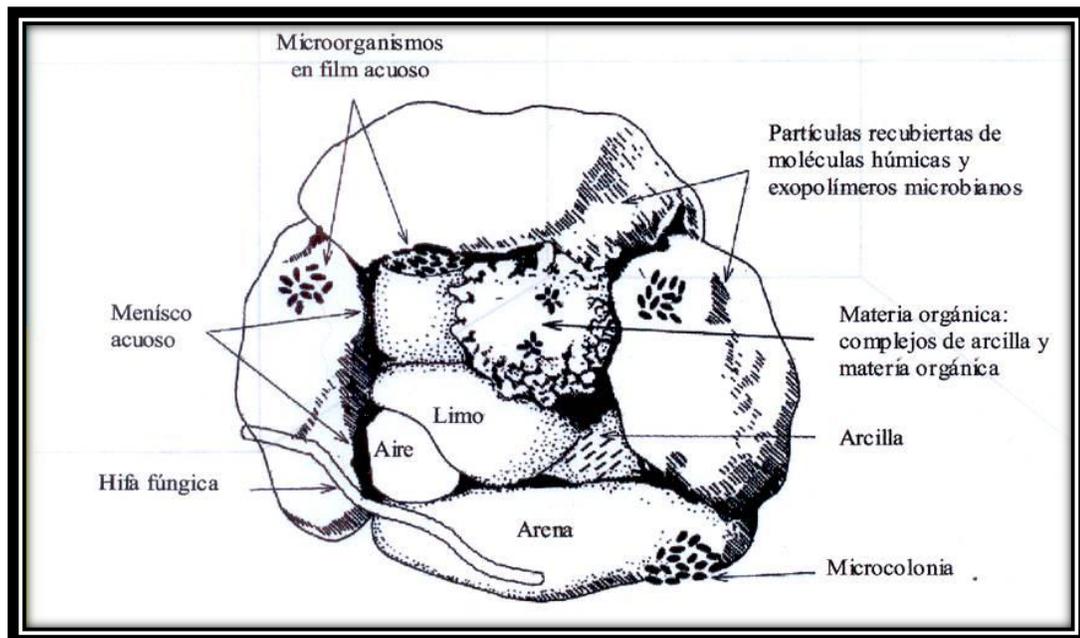


FIGURA. 3. Esquema de la disposición en el espacio de los agregados constituyentes de un suelo. [12]

Según las proporciones de arenas (2-0,05 mm diámetro), limos (2-50 μm de diámetro), arcillas (inferior a 2 μm de diámetro) y materia orgánica, principalmente humus y derivados, existe una gran variedad de tipos diferentes de suelos. Los componentes minerales y la materia orgánica se distribuyen en el espacio generando una estructura porosa (Figura 3).^[11] Los poros pueden contener agua o aire, de manera que existen tres fases: sólida, líquida y gaseosa. El agua contenida en los poros del suelo contiene sales minerales y nutrientes y es el medio en el cual se puede desarrollar la actividad metabólica de los microorganismos que lo colonizan. El contenido en agua de un suelo puede oscilar enormemente, afectando dicha actividad.^[12]

1.4.2 El humus

El humus es un material de coloración oscura que resulta de la descomposición de tejidos vegetales y animales que entran en contacto con el suelo y se le atribuyen propiedades que tienen que ver con la fertilidad de estos. Se compone principalmente de carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H) y en menor proporción de elementos minerales. Por otra parte se conoce que estos elementos varían su cantidad dentro del material húmico dependiendo de las características químicas del substrato que les dio origen.

Debido al hecho de que estas sustancias no presentan una composición química cuantitativa estable, muestran una estructura espacial amorfa, se conocen como compuestos de alto peso molecular que van de 3.000 a 500.000 unidades atómicas y que en su periferia se encuentran grupos funcionales de carácter ácido (OH y COOH) los cuales hacen posible que estas sustancias puedan adsorber en su superficie agua y elementos nutritivos que pueden ser utilizados por las plantas.

La acción imán del humus hace que los suelos que los contienen presenten una mejor estructura, debido a que el humus actúa como cemento de unión entre las partículas del suelo, dando origen a estructuras granulares, que permiten un mejor

desarrollo radical, mejorando el intercambio gaseoso, activando los microorganismos del suelo, aumentando la oxidación de la materia orgánica y por ende la disponibilidad de nutrientes en formas químicas en que las plantas lo pueden asimilar, estimulando de esta manera el crecimiento vegetal.

Se puede visualizar que existe un cambio radical de las características cualitativas entre el material orgánico entregado al sistema y el producto final humificado. Ahora es importante conocer algunas características básicas de este proceso de humificación. Los responsables de este cambio son los microorganismos que viven en el suelo, los cuales comienzan el proceso descomponiendo la materia orgánica original en unidades básicas, biodegradando así la lignina (ligninólisis), el almidón (almidólisis) y las proteínas (proteólisis y amonificación). A consecuencia de este mecanismo de desintegración, se liberan como productos finales y en condiciones normales de aireación, anhídrido carbónico (CO_2), agua (H_2O), nitrógeno en forma amoniacal y nítrica más residuos de naturaleza salina (cenizas). Este proceso se denomina por simplificación “mineralización”. Paralelamente a la mineralización de la materia orgánica realizada por los microorganismos ocurre la síntesis de sustancias húmicas que consiste en la policondensación de fragmentos hacia complejos coloides amorfos.

Todos los factores que restrinjan la actividad de los microorganismos del suelo, deprimen de forma indirecta la velocidad de formación del humus. Así se puede observar que en zonas húmedas y frías, la tasa humificadora es baja y la materia orgánica que entra en contacto con el suelo tiende a acumularse superficialmente mientras que bajo climas templados húmedos existe una mayor tasa humificadora. Sin embargo en condiciones de clima tropical se presenta una gran actividad biológica que se traduce en una mayor velocidad de humificación de la materia orgánica en contacto con el suelo, por lo que el contenido materia orgánica tiende a ser muy bajo.

El proceso de humificación se encuentra sujeto a la actividad microbiótica, y esta a su vez depende las condiciones ambientales y características cualitativas y cuantitativas de los aportes orgánicos. Por ende no existe una tasa humificadora constante para todas las situaciones edafoclimáticas. ^[13]

1.4.3 Dinámica del fósforo en el suelo

El ciclo del fósforo (P) en el suelo es un sistema dinámico y complejo que involucra la acumulación del elemento en la biomasa microbiana, materia orgánica y formas inorgánicas. El P en el suelo puede ser particionado en compartimientos que varían en su disponibilidad para las plantas y microorganismos. Una fracción muy pequeña se encuentra en forma soluble, la cual está en equilibrio con la forma lábil que comprende el P orgánico fácilmente mineralizable y los fosfatos débilmente adsorbidos a las arcillas coloidales. La mayor parte está en formas insolubles o fijadas, principalmente como minerales primarios fosfatados, humus, fosfatos insolubles de calcio (Ca), Hierro (Fe) y aluminio (Al) y fosfatos fijados por los óxidos y minerales silicatados. En este ciclo, el P orgánico representa una fracción importante oscilando entre 15% y 80% del P total en el horizonte superficial, dependiendo del tipo de suelo y su composición. El P orgánico está compuesto, a su vez, por varias fracciones, desde las más lábiles hasta las más resistentes a la mineralización. Sin embargo, el componente orgánico central del ciclo del P es la biomasa microbiana, la cual es una fracción lábil controlada por factores ambientales y los relacionados con el manejo de los suelos. El motor que mueve todas las formas orgánicas y que realizan la mineralización del P orgánico, es la actividad microbiana. ^[14]

1.4.4 Suelos de sabana

Las sabanas son ecosistemas que se caracterizan por agrupaciones de vegetación herbácea, donde aparecen o no árboles de forma esparcida en suelos ácidos con baja fertilidad, con escaso contenido de materia orgánica y baja capacidad de intercambio catiónico lo que trae como consecuencias limitaciones en la disponibilidad de nutrientes esenciales. ^[15]

Se presentan dos estaciones contrastantes, una de excesiva lluvia y otra de extrema sequía. Las sabanas neotropicales ocupan una superficie de aproximadamente 269 millones de hectáreas representando a escala mundial una de las mayores extensiones de tierra, lo cual le da potencialidad para la producción agrícola y silvícola. Sin embargo se sabe que no toda esa superficie es apta para ser cultivada; estos suelos padecen limitaciones físicas y químicas que en conjunto con un clima tan marcado reducen las posibilidades de producción agrícola.

Hasta hace cuatro décadas las sabanas sudamericanas han estado consagradas fundamentalmente a la ganadería extensiva, con pastoreo sobre vegetación de bajo contenido nutricional (*Trachypogon spp.*). En combinación con estos mecanismos está el uso de la quema como método de eliminación del material lignificado de las gramíneas nativas para permitir el rebrote de pastos más tiernos y más comestibles, como única práctica agrícola.

El origen de las sabanas pueden deberse a diversos factores entre ellos:

- a) Factores climáticos: presencia de altas temperaturas todo el año y prolongados periodos de sequía alternados con periodos de lluvias.
- b) Factores edáficos: escaso suministro de nutrientes.

c) Fuegos periódicos provocados por rayos o por la acción humana. ^[4]

Entre las sabanas que vienen determinadas por sus suelos se encuentran Las sabanas del Orinoco venezolano las cuales se caracterizan por suelos que han sufrido grandes procesos de meteorización entre los que destacan ferrasoles (oxisoles) y acrisoles (ultisoles). Poseen baja fertilidad natural y reacción ácida. Por otro lado debido a sus características, los suelos de estas regiones presentan niveles de fosforo total muy variables, en contraste con los niveles de fosforo y nitrógeno asimilables por las plantas que son generalmente muy bajos. Los bajos niveles nutricionales y el clima marcadamente biestacional hacen que los contenidos de materia orgánica en conjunto con los elementos biógenos (C, N, S), sean muy bajos con respecto a suelos de otros biomas. Por lo tanto en las sabanas la actividad biológica de la mesofauna, microfauna y microorganismos, se ve perturbada por los bajos niveles nutricionales el poco contenido de materia orgánica y la estacionalidad lluvia-sequía. ^[16]

2. Antecedentes

Los suelos albergan algunas de las comunidades biológicas más diversas del planeta, al contener de 5 a 80 millones de especies animales pertenecientes en su mayoría a los artrópodos. Sin embargo la taxonomía de muchos de estos organismos es conocida de forma escasa y hay muchos géneros que todavía no han sido identificados ni clasificados. Se han definido hasta el momento unas 3700 especies de lombrices de tierra, lo que llega a ser menos de la mitad del número real de especies existentes. Este desconocimiento es mucho más intenso en los suelos tropicales, los cuales actualmente se encuentran amenazados por el desarrollo de la agricultura dejando como consecuencia la disminución de la diversidad.

Las lombrices son el grupo de la macrofauna del suelo más abundante en cuanto a biomasa se refiere. Intervienen de manera directa o indirecta en diversos procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Las lombrices y los macroinvertebrados, en general, intervienen mediante sus dominios funcionales en la regulación de funciones importantes del suelo. ^[3]

El efecto de las lombrices sobre la estructura del suelo, resulta de la acción neta de su alimentación y la actividad de las madrigueras. Ellas ingieren partículas del suelo y materia orgánica, la mezcla de los desechos de estas dos fracciones constituyen las excretas o lo que se llama coprolitos. Una vez expulsado el suelo en forma de coprolitos puede ser erosionado debido al impacto de la lluvia, o puede formar agregados sólidos estables a través de una variedad de mecanismos de estabilización. Las lombrices generalmente promueven la aireación y porosidad a través de la formación de madrigueras, y al incrementar la proporción de grandes agregados en el suelo. Sus efectos son especialmente importantes en suelos con estructuras pobres como las sabanas. Al aumentar la tasa de infiltración de agua, las lombrices pueden reducir la pérdida del suelo. Estas también pueden incrementar la erosión cuando remueven la

cobertura protectora de los residuos de superficie, incrementan el sellado de la capa superficial depositando excretas o coprolitos en la superficie que luego son arrastrados por las fuertes lluvias. [7]

Es importante proporcionar información referente a la estructura de las comunidades de lombrices de tierra y su desempeño en la transformación de la materia orgánica y nutrientes, como también su influencia en el suelo, especialmente en las sabanas (suelos de muy baja fertilidad), las cuales presentan diferentes tipos de hábitats (tanto en zonas naturales como en modificados). Si bien las comunidades de lombrices de tierra en zonas templadas han sido bien estudiadas, en zonas tropicales se tiene menor información acerca de estos organismos. En Venezuela los pocos estudios se han desarrollado fundamentalmente en ecosistemas de bosques como es el caso de las investigaciones de **Németh y Herrera (1982)**. [16] En suelos de sabanas, **Ojeda (1995)** [17], **López-Hernández y Ojeda (1996)** [18] estudiaron el papel de las lombrices sobre la disponibilidad del fósforo en suelos ácidos arenosos, **Araujo y López-Hernández (1999)** [19] que caracterizaron poblaciones de lombrices en un sistema de agricultura orgánica en el Amazonas. Esto permite indicar que la información disponible en el país, sobre las comunidades de lombrices y sus efectos tanto en ecosistemas naturales como modificados es muy escasa y dispersa.

López-Hernández et al. (1993) [20]; **Brossard et al. 1996**. [21] **López-Hernández et al. (1993)** en un experimento realizado para medir la liberación de P en dos suelos de capacidad de adsorción contrastantes: un vertisol con una alta capacidad de retención (Laguna Verde, México) y un alfisol arenoso de baja capacidad de retención de P (Lamto, Costa de Marfil) demostraron mediante el uso de técnicas isotópicas que luego que el suelo pasaba a través del tracto digestivo de *Pontoscolex corethrurus* los niveles de P soluble en agua y de P-intercambiable eran mayores en los turrículos que en el suelo control . Igualmente, en este experimento se demostró el efecto del

envejecimiento del coprolito con un incremento en la disponibilidad del P que fue atribuida al efecto de las poblaciones microbianas asociadas mediante un posible rol de los ácidos orgánicos (*López-Hernández et al. 1993*). Un experimento similar pero sin el uso de las técnicas isotópicas fue realizado por *Brossard et al. (1996)* para la lombriz de tierra endogeica y peregrina *Polypheretima elongata* en un vertisol de la Martinica encontrándose un incremento significativo en el P-resina respecto al suelo control. Los incrementos observados en la disponibilidad de P en ambos experimentos pueden estar enmascarados por la selección que hacen las lombrices de tierra de sus alimentos, materiales que pudiesen estar enriquecidos en fracciones mas disponibles de P; el experimento realizado por *Brossard et al. (1996)* y un estudio posterior efectuado por ***Chapuis-Lardy et al. (1998)*** ^[22], demuestran que ambos procesos: selección selectiva e ingestión de partículas finas y la mineralización del P-orgánico durante el tránsito a través del tracto digestivo tienen un efecto en el incremento de la disponibilidad de P en los turrículos respecto al suelo control.

Las sabanas venezolanas constituyen el 29% del territorio nacional y en su mayoría poseen suelos de muy baja fertilidad y productividad natural. ^[16] En consecuencia esta investigación constituye una caracterización de las diferentes formas del P presentes en coprolitos de lombrices en contraste con sabana natural y modificada del Orinoco venezolano, haciendo énfasis en las implicancias prácticas que determina el ciclo biogeoquímico de este elemento.

Jiménez (1998-2003) ^{[23], [24]} realiza varias investigaciones con respecto a la macrofauna del suelo, especialmente de lombrices de tierra. Este autor estudio las sabanas drenadas sobre suelos arcillo-limosos en la región de Carimagua, Colombia, encontrando que las lombrices y termitas son el componente dominante de la macrofauna del suelo. La actividad de estos organismos afecta la parte abiótica del suelo a través de la formación de estructuras órgano-minerales que

modifican profundamente la estructura del suelo y la dinámica de la materia orgánica. Considerando a estos organismos como un verdadero intermediario entre la biodiversidad y los procesos que determinan la fertilidad del suelo.

Lavelle et al. (1988-1996) Realizaron amplios estudios y publicaciones en cuanto a la actividad de las lombrices de tierra y su influencia en la fertilidad del suelo en diversas zonas, denominando a estos organismos como “ingenieros del ecosistema” y las estructuras órgano-minerales que producen como “estructuras biogénicas”.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- ❖ Evaluar las fracciones fósforo y actividades enzimáticas en coprolitos de lombrices de tierra en sabanas del Orinoco venezolano.

3.2 Objetivos Específicos

- ❖ Determinación de parámetros físicos y químicos de los suelos bajo estudio.
- ❖ Cuantificar mediante un esquema de fraccionamiento las diversas formas de fósforo: inorgánicas, orgánicas, microbianas y las actividades fosfatásicas y ureásicas, en las deyecciones y sus suelos asociados.
- ❖ Estudiar las actividades enzimáticas y el fraccionamiento de fósforo en coprolitos frescos y viejos.

4. LOCALIZACION DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

4.1 Descripción del área de estudio

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en dos áreas de estudio:

- Una de ellas se realizó en la Estación Biológica de los Llanos, Calabozo, Estado Guárico, Venezuela ($8^{\circ} 56' N$, $67^{\circ} 25' E$) (Figura. 4). [25]

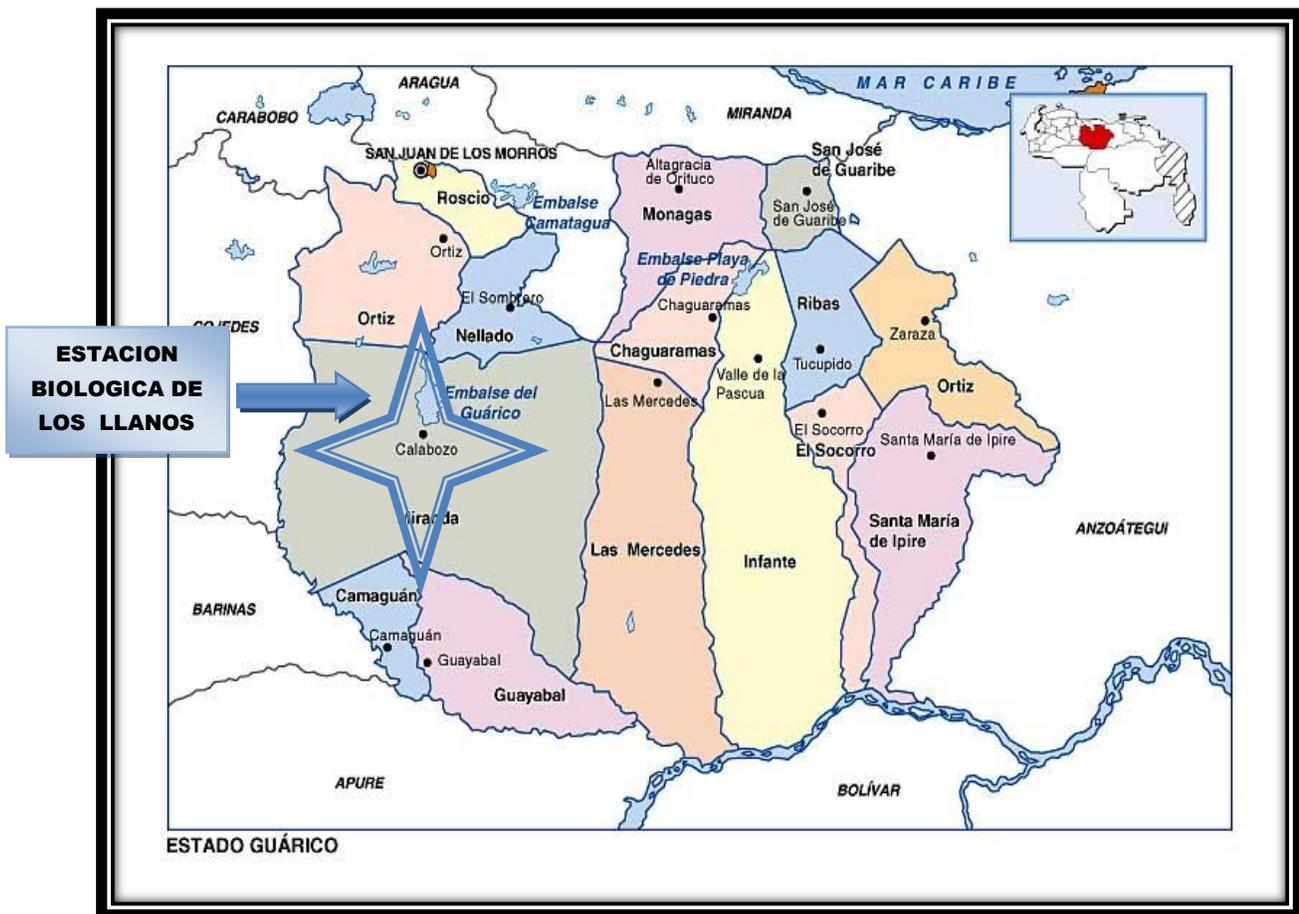


FIGURA 4. Ubicación geográfica del área de estudio. [23]

La Estación Biológica de los Llanos posee un área aproximada de 250 hectáreas, tiene una vegetación típica de las sabanas de *Trachypogon*, al estar protegida por más de 40 años, la composición de las especies vegetales han cambiado y esto se refleja en una disminución del componente herbáceo y un incremento en la densidad y diversidad del componente leñoso. También se ha permitido la permanencia y la acumulación de una capa de hojarasca que sumándose a la poca pérdida de nutrientes por la quema (volatilización de N y S) contribuyen de forma significativa al incremento del componente leñoso. ^[5]

Los suelos de la zona tienen carácter ácido, con baja capacidad de intercambio catiónico y son muy pobres en nutrientes, la textura varía entre franco arenoso y arcillo arenosa. Cerca de la superficie se presenta un horizonte de grava cementada, con alto contenido de óxidos de hierro. Esta capa conocida localmente como arrecife, fue clasificada como horizonte *litoplintítico*. Según la clasificación de los suelos USDA, 1975, ^[26] estos suelos pertenecen al grupo *Haplustox*.

El clima de esta región es mega térmico la temperatura media anual es de 27-28 °C con una diferencia de 3 °C entre el mes de frío (Julio, 26-27°C) y el mes más cálido (Marzo-Abril, 28-30°C). El régimen hídrico de la zona es ampliamente biestacional; si bien la precipitación media en Calabozo es de 1334 mm, 1200 mm caen durante el mes de Mayo a Octubre, 100 mm entre los meses intermedios Abril y Noviembre, y tan sólo 20 mm de Diciembre a Marzo. ^[4]

- La otra se llevó a cabo en la sabana situada en una unidad de producción agrícola de la región, la Agropecuaria San Diego, ubicada en el Municipio Cedeño del Estado Bolívar, aproximadamente a 90km de Puerto Ayacucho, Estado Amazonas. Sus coordenadas geográficas son: 06° 10' Norte y 67° 17' Oeste. Corresponde a la región fisiográfica del Escudo Guayanés, región natural penillanura del Norte. ^[6] (Figura 5)

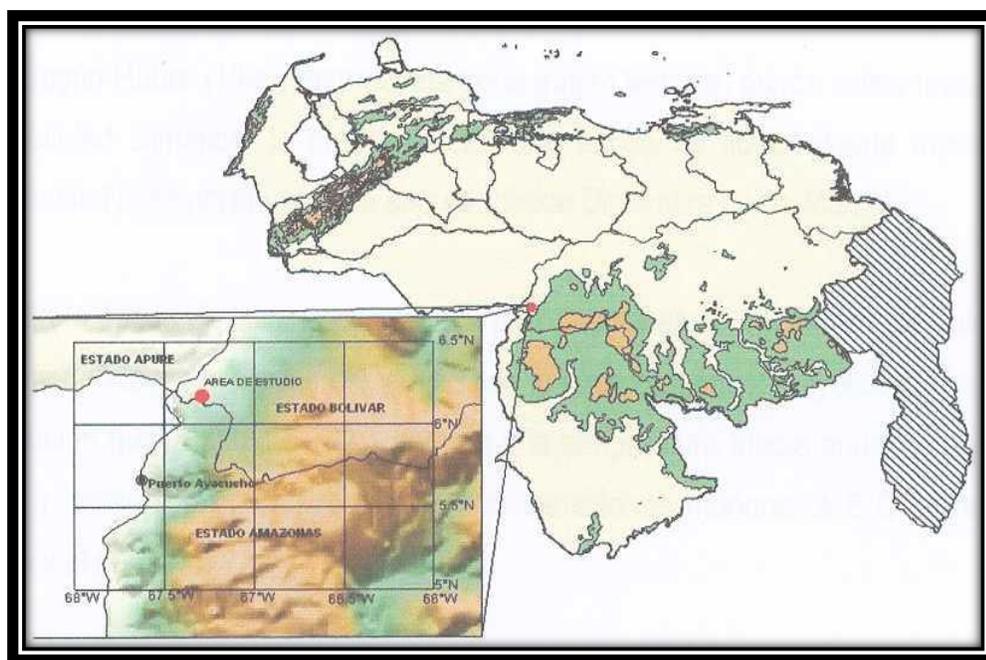


Figura 5. Mapa de localización de la región de estudio. [27]

Como en el caso anterior existe una marcada bioestacionalidad climática, presentándose una época de lluvia que va desde Abril hasta el mes de Noviembre, correspondiendo Junio y Julio a los meses de mayor precipitación, y una época de sequía que va desde Diciembre hasta Marzo.

La época de lluvia se caracteriza por presentar precipitaciones de gran intensidad y duración, con 6 meses muy húmedos con precipitaciones mayores a los 100mm. La precipitación y temperatura promedio anual es de 1862mm y 28,4°C respectivamente, presentando un régimen isotérmico de temperaturas, con variaciones menores a 5°C entre el mes más caliente y el más frío. [27]

Según el balance hídrico (1970-2000) el almacenamiento de agua del suelo se alcanza en el mes de Julio hasta finales de Septiembre, y la deficiencia de agua se extiende desde Febrero hasta Abril, mientras que la utilización de agua por el suelo va desde Octubre hasta finales de Enero ^[25]. (Figura 6).

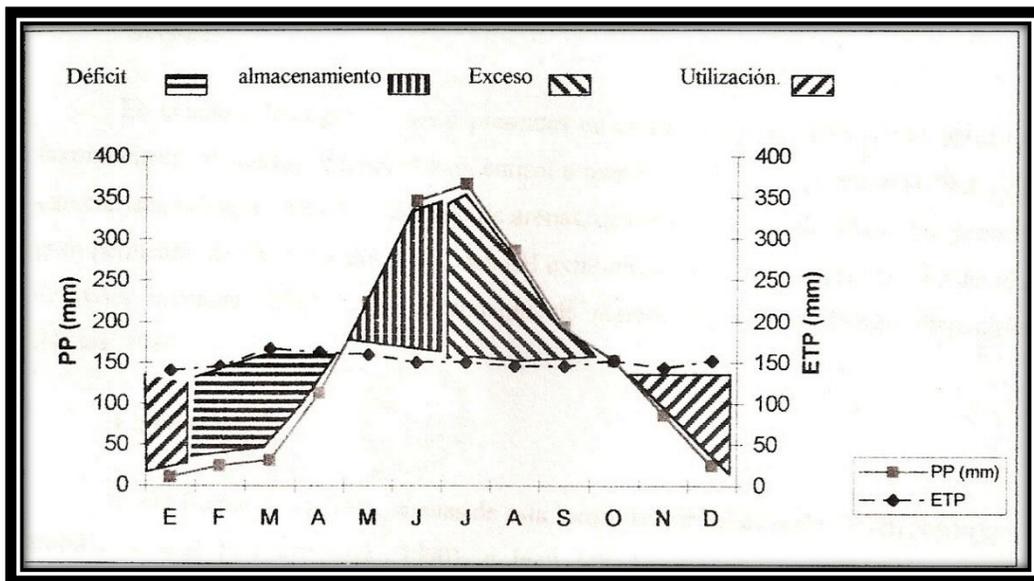


Figura 6. Balance hídrico de Thornthwaite para el periodo 1970-2000 en Puerto Páez, Edo Apure. ^[27]

La región fisiográfica del escudo Guayanés es un tipo de zócalo, constituido por rocas del precámbrico. Es uno de los bloques más antiguos y más resistentes de la corteza terrestre. Está formado por un basamento metamórfico, recubierto de formaciones sedimentarias, tales como las formaciones Imataca, Pastora y Roraima. El principal material de los suelos de la zona es el granito de Parguaza en cuya región afloran rocas ígneas ácidas pertenecientes a este granito, estando una gran parte cubierta por aluviones y suelos residuales. Se ha presentado una fuerte meteorización

de los suelos debido a las altas precipitaciones y temperaturas. Los Ultisoles y oxisoles están comúnmente en el área aunque también se encuentran entisoles arenosos. [28]

Las sabanas de esta localidad son sabanas de *Trachypogon* con árboles o bien sabanas macrotérmicas gramíneas no inundables. [29], [30] Los principales componentes herbáceos son *Trachypogon* y *Axonopus Curatella americana*. Siendo las principales especies arbóreas: *Byrsonima crassifolia* y *Bowdichia virgilioides*. [6], [28]

4.2 Diseño Experimental

4.2.1 Muestreo de los coprolitos de lombriz y del suelo

Durante el mes de Agosto del 2007 (estación de lluvia), fue seleccionada el área de muestreo en cada uno de los sitios de estudio: Sistema protegido de quema y pastoreo agrícola (SP) y la sabana natural no protegida (SNP). Los suelos (S) fueron recolectados a profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30cm en tres calicatas realizadas a lo largo de una transecta, escogida al azar tal como se muestra en la figura 7. Los coprolitos frescos (CF) y viejos (CV) fueron recolectados manualmente en parcelas cercanas a las calicatas primero los viejos al limpiar cada área y luego los frescos.

Al momento de la recolección el agropecuario San Diego, había dejado de funcionar desde hacía un año y no se hizo muestreo de suelo modificado, solo de sabana natural no protegida aledaña a la hacienda. En la sabana no protegida de la Estación Biológica de los Llanos (SNP) no se encontraron coprolitos frescos (CF) en los días de recolección, por lo tanto no se pudo realizar este análisis.

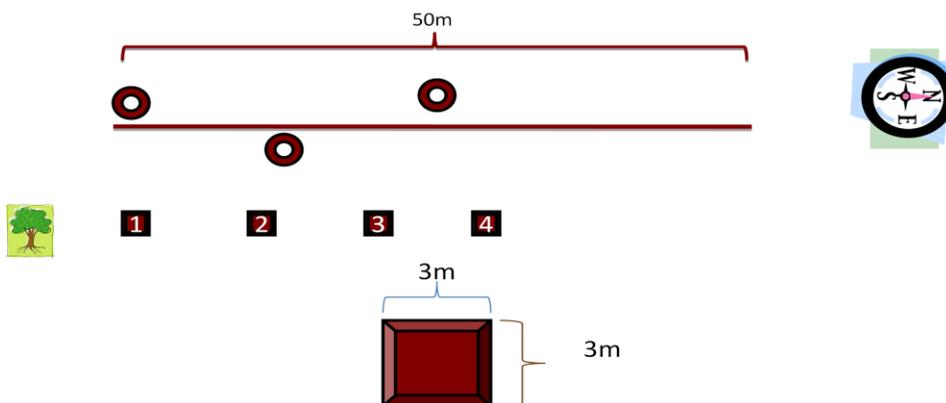


Figura 7. Recolección de suelos en las zonas de estudio.

4.2.2 Procesamiento de muestras

Las muestras de suelos y coprolitos viejos en ambas localidades fueron secadas a temperatura ambiente, pulverizados y tamizados a través de una criba <2mm, las muestras utilizadas en el fraccionamiento fueron nuevamente secadas, pulverizadas y tamizadas por una criba <0,5mm. Los coprolitos frescos, fueron conservados a 4°C hasta el momento de su análisis, al igual que una porción de los suelos y coprolito viejo para los análisis bioquímicos. Se realizó un estudio tanto de campo como de laboratorio que incluyó:

- **Análisis físicos del suelo:**

- ✚ Temperatura.
- ✚ Humedad.
- ✚ Densidad aparente.
- ✚ Textura.

- **Análisis químicos de suelos y coprolitos:**

- ✚ pH.
- ✚ Contenido de fósforo total.
- ✚ Contenido de fósforo inorgánico.
- ✚ Contenido de fósforo orgánico.
- ✚ Contenido de fósforo microbiano.

- **Análisis bioquímicos de suelos y coprolitos:**

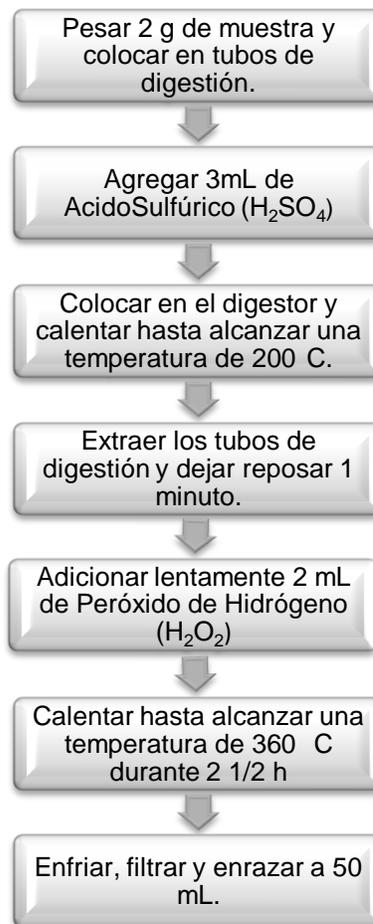
- ✚ Determinación de actividad fosfatásica
- ✚ Determinación de actividad ureásica.

5. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

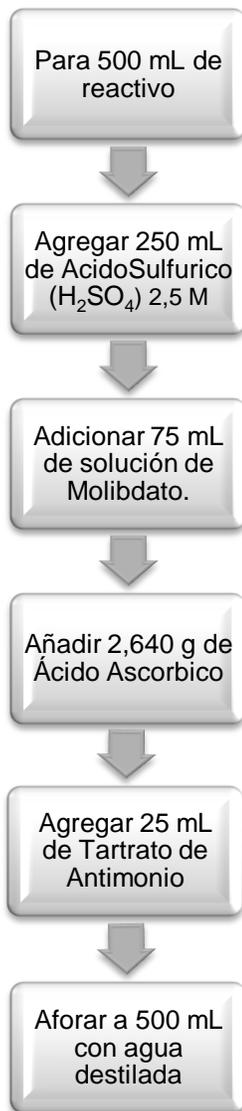
5.1 Fósforo total

Para medir el contenido de fósforo total, se utilizo el filtrado producto de la digestión de 2 g de suelo o coprolito en H_2SO_4 concentrado y H_2O_2 utilizando la metodología de Allen y col. (1974) ^[33] modificada.

Digestión de las muestras



1. Preparación del reactivo B (Molibdato de Amonio)



2. Método de Murphy y Riley (P en solución)

Se aplicó el método colorimétrico de Azul de Molibdeno. (Murphy y Riley, 1962).^[34] el cual se basa en la reacción entre el ácido Molibdato y los iones fosfatos que forman el complejo fosfomolibdato de Amonio el cual es reducido por el Ácido Ascórbico desarrollando un color azul cuantificable a 840nm, cuya intensidad es proporcional a la concentración de fósforo en dicha solución:

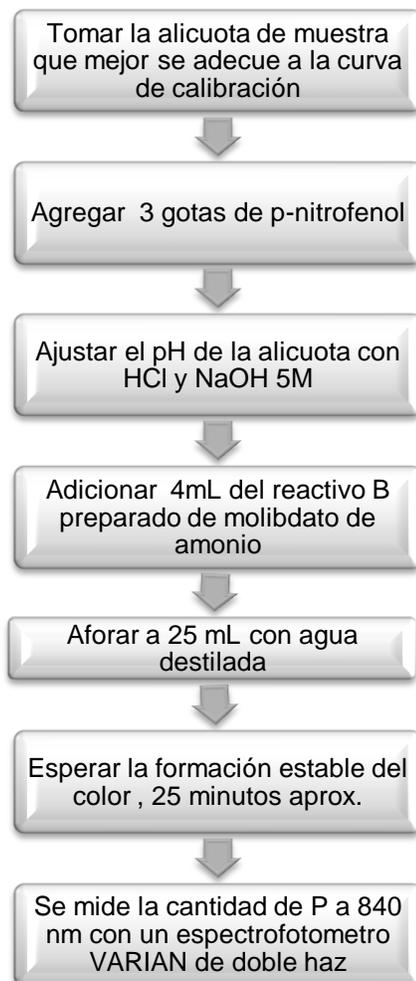
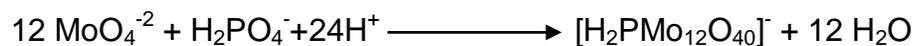


Figura 9. Determinación de fósforo total^{[33] [34]}

5.2 Fósforo inorgánico, orgánico y microbiano

Se realizaron extracciones de las diferentes formas del fósforo, a través del método de fraccionamiento propuesto por (Headley y col., 1982). Una de estas extracciones se realizó con bicarbonato de sodio (Olsen y col., 1954) ^[35] para determinar el fósforo disponible tanto orgánico como inorgánico. La determinación del fósforo microbiano se realizó mediante el acoplamiento del método de (Headley y col., 1982) y (Brookes y col., 1982) ^[36].



Figura 10. Esquema de fraccionamiento.

La extracción secuencial del fósforo según su disponibilidad fue llevada a cabo mediante el protocolo experimental propuesto por H. Tiessen J.O Moir. El cual resume todas las metodologías de análisis citadas anteriormente. [37]



Figura 11. Esquema de fraccionamiento acoplado para P microbiano [36]

5.3 Actividad fosfatásica

Se determinara la actividad de la fosfatasa ácida, según describe Tabatabai y Bremer (1972), ^[38] siguiendo las modificaciones de las tesis de Pérez M. (2002) ^[27] y Santander S. ^[39] La fosfatasa ácida cataliza la ruptura de enlaces fosfodiéster, de acuerdo con: $\text{Ester fosfato} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{R-OH} + \text{PO}^{-3}$

La actividad enzimática específica, es medida empleando métodos colorimétricos. Esto quiere decir, que se emplea un sustrato artificial el (p-nitrofenil fosfato) que luego de ser sometido a la acción de las fosfatasas presentes en la muestras de suelo o coprolito, se hidrolizan en p-nitrofenol (PNF) y PO al escindirse el enlace éster fosfato. La reacción es cuantificada a través de la cantidad liberada de PNF, quien se presenta con una coloración amarilla en solución básica.

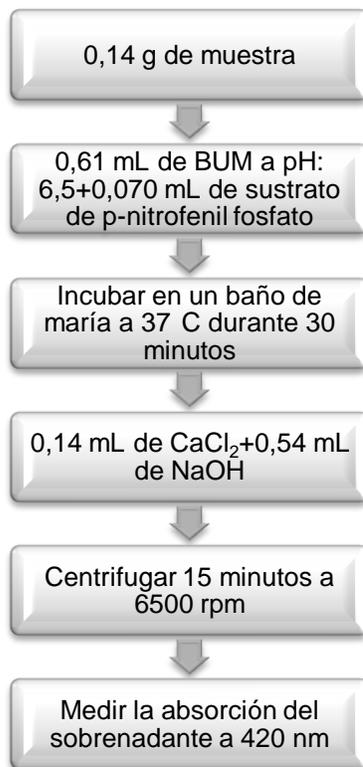


Figura 12. Determinación de la actividad fosfatásica ^[27] ^[38] ^[39]

5.4 Actividad Ureásica

Se determinó midiendo la cantidad de urea hidrolizada después de ser agregada al suelo y coprolito bajo condiciones óptimas de incubación. [40]

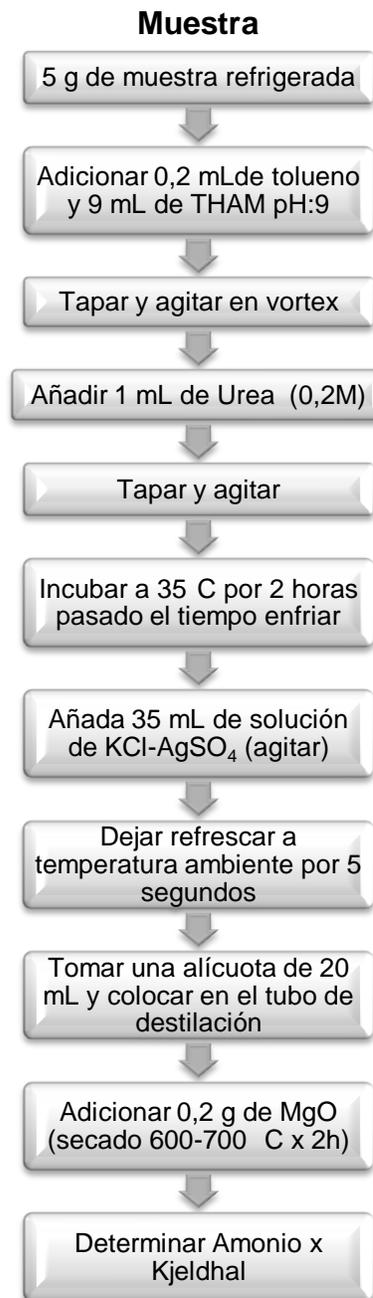


Figura 13. Determinación de actividad ureásica.

Control

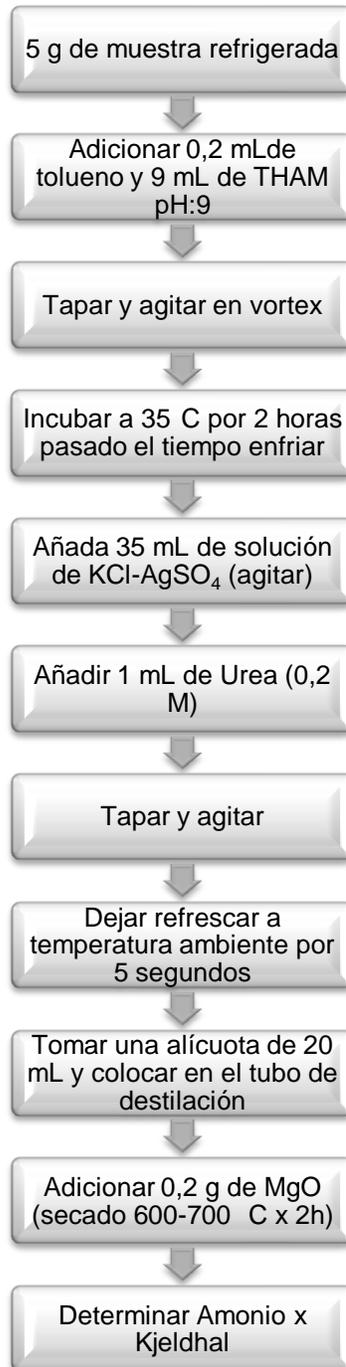


Figura 14. Determinación de actividad ureásica muestra control.

Destilación por Kjeldhal y titulación

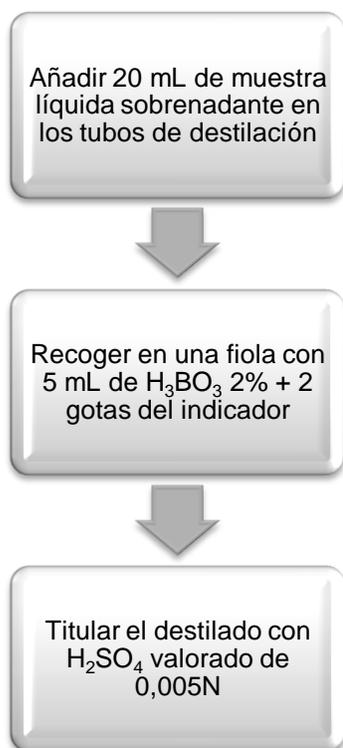


Figura 15. Esquema de destilación en el Kjeldhal

5.5 Análisis Estadístico

Los tratamientos de suelos y coprolitos fueron sometidos a un ANOVA de dos vías como análisis estadístico (para un nivel de confianza de 95%), igualmente para la comparación de SP y SNP de Guárico, se realizó comparaciones de medias entre variables con la prueba, a posteriori de Duncan ($P < 0,05$) contenida en el programa Statistica versión 8.0.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Parámetros físicos de las zonas de estudio

Se puede observar en la Tabla 1 que la zona protegida de Guárico presenta un menor valor de densidad aparente resultado de una prolongada protección a la acción compactadora del pisoteo del ganado. Por el contrario el porcentaje de humedad en la sabana protegida (SP) fue superior que en la sabana no protegida, este aspecto se relaciona con el demostrado incremento del componente arbóreo en la SP citado por diferentes autores ^[42] los cuales otorgan a las plántulas de los árboles un incremento de su capacidad en la competencia con las hierbas por agua, espacio y nutrientes ^[41],

Sin embargo, en características como la temperatura y la textura no se consiguieron diferencias notables, lo que garantiza que los contrastes encontrados en otros parámetros físicos y químicos son resultado del manejo del suelo y no de su textura.

Tabla 1. Parámetros físicos de las sabanas de Guárico SP y SNP

Zona	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Textura
Guárico Protegida	26,5	14,84 (±0,18)a	1,51 (± 0,06)a	FA
Guárico No protegida	26,5	13,35 (± 0,27)b	1,66 (± 0,05)b	FA

FA: franco-arenoso

* Letras diferentes indican diferencias significativas con un $P < 0,05$, letras iguales o no letras no existe diferencias.

*Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar

1 Letra: diferencia entre sabana protegida y sabana no protegida (representado verticalmente).

Para el caso de los suelos de Amazonas, observamos en la Tabla 2 que no se encontraron diferencias significativas en los parámetros físicos, la baja variabilidad de los resultados mostró que los estratos guardan similitud entre sí. Los valores de la densidad aparente método por estratos y método el hoyo fueron superiores a los reportados para un Entisol de Uverito estado Monagas^[43] 1,5 g/cm³ con características similares a estos suelos. Sin embargo entre ambos métodos no existieron mayores diferencias. El porcentaje de humedad se comportó de manera consistente aunque no significativa con la densidad aparente al profundizar en el estrato, creciente para la densidad y decreciente la humedad. En el proceso de expansión/contracción del suelo ocasionado por los cambios de humedad, el volumen total de una masa considerada de suelo varía, produciendo cambios en la densidad aparente. Para este caso en particular a medida que profundizamos en el perfil el volumen total disminuye de forma proporcional a la humedad provocando una contracción de las partículas del suelo y el consecuente aumento de la densidad aparente.

Tabla 2. Parámetros físicos de la sabana de Amazonas

Zona	Perfil (cm)	T (°C)	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm ³) Método del hoyo	Densidad Aparente (g/cm ³) Método el perfil	Textura
Amazonas No Protegida	0-10	24	11,15a (± 1,79)	1,89 (±0,03)	1,75a (±0,30)	FA
	10-20	25	10,87a (±1,63)		1,79a (±0,08)	
	20-30	26	10,07a (±1,41)		1,81a (±0,10)	

*Letras diferentes indican diferencias significativas con un P<0,05, letras iguales no existe diferencias.

*Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar

1 Letra: diferencia entre tratamientos: 0-10, 10-20, 20-30 (representado horizontalmente).

FA: franco arenoso.

6.2 Parámetros químicos de suelo y coprolitos en las áreas de estudio

➤ pH.

Los resultados encontrados en la Tabla 3 para Amazonas, reportan significativamente mayores valores de pH en los coprolitos como resultado del metabolismo de las lombrices (CF 4,9 y CV 4.8) respecto al suelo superficial (4,5). Quintero (2007) ^[44], reportó una disminución de las bases intercambiables en los coprolitos, lo que muestra que las lombrices que habitan en esta zona de Amazonas, quizás poseen un déficit alimenticio motivado a la ingesta de suelos bajos en nutrientes esenciales para su anabolismo. Sin embargo, se refleja una disminución del aluminio intercambiable en los coprolitos propiciado por un aumento en el pH, lo cual provoca una disminución en la solubilidad de este elemento y conduce a una mejora en la biofertilidad del suelo.

Tabla 3. pH de la zona de Amazonas

Variable	Suelo 0-10 cm	Suelo 10-20 cm	Suelo 20-30 cm	Coprolito Fresco	Coprolito Viejo
pH (1:5)	4,5 a (±0,1)	4,7 b (±0,2)	4,7 b (±0,2)	4,9 b (±0,2)	4,8 b (±0,1)

*Letras diferentes indican diferencias significativas con un $P < 0,05$, letras iguales no existe diferencias.

*Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar

1 Letra: diferencia entre tratamientos: 0-10, 10-20, 20-30, coprolito fresco y envejecido (representado horizontalmente).

En la zona de Guárico SP y SNP se presentó igualmente un incremento del pH, a la vez que una disminución del contenido de aluminio intercambiable en los coprolitos, por ejemplo para la SP de 0,07 a 0,05 cmol/Kg suelo, tanto en el CF como en el CV en

comparación a sus suelos ^[44]. Este aumento significativo del pH en coprolitos podría ser consecuencia del incremento de las bases intercambiables en estos, como por ejemplo para la SNP de Guárico incrementos de de 1,9 a 2,64 cmol/Kg suelo. La lombriz de tierra realiza un proceso de selección de partículas más pequeñas para alimentarse, lo que conduce que el coprolito presente una granulometría más fina que el suelo. Al ser partículas de menor tamaño se convierte en una fracción más activa que el suelo y de mayor área superficial con la propiedad de retener nutrientes en cantidades muy superiores ^[31]. Adicionalmente este aumento se debe a que en el coprolito pueden existir restos de material vegetal, porque un sitio preferencial de las lombrices para colocar su deyección es en la macolla del *Trachypogon*, en lugar del suelo vacío de vegetación. Estudios han demostrado ^[45] que los cationes intercambiables K⁺, Ca⁺², Mg⁺², se incrementaron en los coprolitos, debido a la liberación de estos de los materiales orgánicos seguido de su fragmentación durante la digestión, atribuyendo esto al hábito de alimentación preferencial de las lombrices por sustratos ricos en MO.

Tabla 4. pH de la zona de Guárico

Variable	Zona	Suelo 0-10 cm	Suelo 10-20 cm	Suelo 20-30 cm	Coprolito Fresco	Coprolito Viejo
pH (1:5)	SP	4,8 (a,a) (±0,2)	4,3 (b,a) (±0,2)	4,3 (b,a) (±0,1)	5,33 c (±0,06)	5,3 (c,a) (±0,1)
	SNP	4,1 (a,b) (±0,3)	4,2 (a,a) (±0,1)	4,19 (a,a) (±0,06)	-	5,2 (b,a) (±0,1)

* Letras diferentes indican diferencias significativas con un P<0,05, letras iguales no existe diferencias.

*Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar

1 Letra: diferencia entre tratamientos: 0-10, 10-20, 20-30, coprolito fresco y envejecido (representado horizontalmente).

2 Letra: diferencia entre sabana protegida y sabana no protegida (representado verticalmente).

➤ **Fósforo total resultante de la digestión.**

El contenido de fósforo total, en los suelos de la sabana protegida de Guárico, tal como se muestra en la Tabla 5, presentó diferencias significativas para la profundidad 20-30cm, el valor fue inferior respecto a los estratos más superficiales (0-10 y 10-20cm), estos no guardaron diferencias entre sí. El resultado era de esperarse porque las lombrices de esta zona tienen preferencia por eyectar en la superficie, lo que de alguna manera incrementa el fósforo presente en el área donde es depositado el coprolito, tomando en cuenta además la participación de agentes ecológicos como el agua y desechos orgánicos, provenientes de flora y animales muertos descompuestos en la superficie, y que el agua es capaz de arrastrar hasta el estrato 10-20cm no es de extrañar los datos obtenidos. El coprolito fresco guardó diferencias significativas con el coprolito viejo siendo éste último mayor. Comparando suelo contra coprolitos notamos valores superiores para el caso de los coprolitos. La sabana no protegida de Guárico, no presentó diferencias significativas para el fósforo total en los diferentes estratos del suelo pero sí con respecto al coprolito viejo. Es evidente que la lombriz habitante de estas sabanas coopera en el proceso de mineralización, al digerir el suelo y lo enriquece ligeramente al transformar las formas más recalcitrantes de fósforo abundante en estos suelos.

Para el caso de la sabana natural de Amazonas no se presentaron mayores cambios de Pt que la no protegida de Guárico, a pesar que para esta zona si se recolectaron muestras de coprolito fresco, solo se encontró diferencias significativas entre las profundidades del suelo y el coprolito viejo. Ambos coprolitos guardaron diferencias en el contenido de Pt siendo este mayor en el coprolito viejo.

El contenido de fósforo total solo guardó diferencias significativas en la sabana protegida de Calabozo, cuyo valor fue superior, sin embargo no hubo diferencias entre las sabanas naturales de Calabozo y Amazonas.

Los valores de P total en los suelos de Amazonas fueron inferiores a los reportados en otras sabanas de *Trachypogon*^[43] 111,8 ppm ubicadas en Monagas, con suelos del tipo entisol de características similares a la de esta investigación. Numerosos estudios han sido realizados por otros investigadores en las cercanías de Puerto Ayacucho, obteniendo resultados de P total bastante mayores que los reportados en este trabajo, por ejemplo el determinado en una sabana natural aledaña a la Granja Cachama^[46] cuyo valor fue de 214 ppm. Ciertamente al no ser las mismas muestras de suelo la variabilidad es marcada sin embargo, es válida su comparación por la proximidad de las zonas de muestreo. Estas fluctuaciones se relacionan comúnmente al alto contenido de arena, que no permite la retención de fosfatos, y a la lixiviación.

Los datos de P total de Calabozo no fueron similares con los valores reportados por otros autores que trabajaron en la Estación Biológica de los Llanos^[47], el contenido de P total fue 165,0ppm en la sabana protegida y 145,2ppm en la no protegida, y los investigadores no hallaron diferencias significativas entre ellas. Este trabajo obtuvo valores inferiores de P total, que por el contrario guardaron diferencias significativas por la protección. De igual forma que para Amazonas cabe destacar que el muestreo se realizó al azar en una zona diferente dentro de la misma Estación y predispuestos a la zona con mayor número de coprolitos, por tanto la variabilidad del suelo se hizo presente. Para el caso de Guárico encontramos diferencias entre la sabana protegida (SP) y la sabana no protegida cuyos valores de fósforo son mayores para la Estación Biológica, lo cual puede deberse, al demostrado incremento en la densidad de árboles, particularmente las especies de carácter deciduo.^[42] Se ha sugerido que los árboles pueden mejorar el contenido nutricional del suelo superficial al actuar como bombas de nutrientes transportados desde el subsuelo, o bien como trampas de nutrientes cuando su follaje captura los contenidos en la precipitación, el polvo y las cenizas suspendidas en la atmósfera. Estos hechos se confirmaron con los trabajos de Kellman^[48] y Susach^[49] quienes encontraron un enriquecimiento en el suelo superficial bajo el dosel de árboles y sabanas. Por lo tanto no debe extrañar que este cambio en el

componente arbóreo y la mayor productividad de la sabana protegida influya sobre la pedofauna local particularmente a las comunidades de oligoquetos analizadas en esta investigación. Como se puede observar en la tabla 5 el contenido de fósforo total en los coprolitos de lombrices tanto en la SP y SNP es superior que la cantidad de fósforo en el suelo. El coprolito recolectado en la sabana protegida representa el contenido mayoritario de fósforo total, lo que de alguna forma confirma el impacto de estas sobre el suelo donde habitan producto de las mejoras en la calidad de esta sabana gracias a la protección de fuego y pastoreo.

Los altos contenidos de fósforo total en coprolitos, podrían ser explicados por la acumulación de partículas más enriquecidas en nutrientes como los son las arcillas, la lombriz podría tener como hábito alimenticio una selección de las mismas, lo otro que podría estar ocurriendo es que consumen mayor cantidad de materia orgánica y esto guardar relación con los contenidos aumentados de fósforo.

Tabla 5. Contenido de fósforo total (ppm P) en suelos y coprolitos de Guárico y Amazonas

Variable	Zona	Profundidad de suelo (cm)			Coprolito	
		0 - 10	10 - 20	20 - 30	Fresco	Viejo
P total (ppm)	Guárico SP	76,5 a,a (±17,3)	79,4 a,a (±4,4)	62,15 b,a (±2,3)	95,5 c,a (±0,8)	100,5 d,a (±4,6)
	Guárico SNP	69,8 a,b (±9,4)	68,4 a,b (±9,1)	68,9 a,b (±9,2)	-	97,3 b,b (±1,2)
	Amazonas SNP	49,5 a,b (±1,1)	48,2 a,b (±2,1)	48,6 a,b (±1,8)	49,5 a,b (±3,9)	68,4 b,b (±5,3)

*Letras diferentes indican diferencias significativas con un $P < 0,05$, letras iguales no existe diferencias.

*Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar

1 Letra: diferencia entre tratamientos: 0-10, 10-20, 20-30, coprolito fresco y envejecido (representado horizontalmente).

2 Letra: diferencia entre sabana protegida y sabana no protegida (representado verticalmente).

➤ **Fraccionamiento del fósforo.**

❖ **Sabana natural de Amazonas**

El fraccionamiento de las muestras de Amazonas no mostró diferencias significativas en el contenido de las diversas formas de fósforo inorgánico, entre las muestras de suelo superficial y el profundo aunque si se presentaron diferencias para la sumatoria de las fracciones inorgánicas. Sin embargo con respecto al coprolito se encontraron diferencias importantes en la fracción de $P_i\text{-NaHCO}_3$ fumigado, la cual presento incrementos del contenido en el coprolito fresco (CF) y el coprolito viejo (CV) con respecto al suelo asociado. Las formas menos aprovechables, P_i extraíble con NaOH y HCl, presentaron valores significativamente inferiores con respecto al coprolito viejo en la fracción $P_i\text{-NaOH}$ y en comparación al suelo profundo para la fracción HCl. Los valores del coprolito viejo (CV) fueron muy similares a los del coprolito fresco (CF) solo hubo disminución significativa de CV para la fracción $P_i\text{-NaOH}$ sonicado. La suma de las fracciones inorgánicas señaló diferencias significativa entre suelos y coprolitos, mayor contenido en las muestras de coprolito fresco, lo que indica que la actividad digestiva de estas lombrices favorece la mineralización del fósforo orgánico presente en el suelo, incrementando las formas más disponibles.

El fosforo orgánico, solo presentó incrementos significativos en los coprolitos fresco y viejo con respecto al suelo superficial y profundo para la fracción NaOH sonicado. Sin embargo la fracción $P_o\text{-NaHCO}_3$ una forma más fácilmente mineralizable de P_o , mostró menor contenido en los coprolitos con respecto al suelo. La suma de las fracciones no arrojó diferencias significativas, no obstante que el suelo profundo tiene menor cantidad de P_o . El mayor porcentaje de fosforo se encontró en su forma más resistente (fosfatos ocluidos poco aprovechables), correspondiente a la fracción residual.

Los valores de cada fracción inorgánica y orgánica a excepción de las extraíbles con NaOH, fueron similares a los valores reportados en suelos de un área cercana a la de este estudio ^[50]. Solo se encontraron diferencias en los valores de Pi-NaOH, Po-NaOH y P-residual los cuales fueron superiores.

Era de esperarse que los suelos de la sabana natural de Amazonas no guardaran mayor diferencia entre el estrato superficial y el profundo, puesto que se trata de un entisol, caracterizado por ser arenoso y de rápido drenaje, los nutrientes son arrastrados a través del mismo. Sin embargo el suelo superficial mostró una mayor cantidad de P total fraccionamiento, atribuido básicamente al fósforo orgánico, la gran variabilidad de este último parámetro no permitió que hubiese diferencias significativas entre esas profundidades. Los coprolitos (fresco y viejo) mostraron mayor cantidad de fósforo lábil, presente en la fracción Pi-NaHCO₃ fumigado. Dicho incremento también fue reportado en los coprolitos de las sabanas de Carimagua, Colombia ^[51] donde se realizó fraccionamiento de turrículos de lombrices en un oxisol más fértil y de mayor contenido de fósforo, pero que reflejan resultados similares en la repartición del elemento.

Los valores de fósforo total provenientes del fraccionamiento no fueron muy diferentes a los presentados por Hernández y Bautis (2003) ^[43], quienes reportaron para suelos arenosos de Uverito 74,6 ppm de P total. Este valor fue muy parecido al del coprolito fresco, sin embargo inferior a los reportados por López-Contreras ^[50] para suelos arenosos del Amazonas

Los resultados obtenidos para el P total del fraccionamiento fueron inferiores a los determinados mediante el proceso de digestión generalmente se pierde muestra entre trasvase y trasvase durante el fraccionamiento.

Tabla 7. Fraccionamiento de la sabana natural de Amazonas

FRACCION	SUELO NO PROTEGIDO		COPROLITO NO PROTEGIDO	
	0-10cm	10-30cm	fresco	viejo
P inorgánico				
RESINA (ppm:µg/g)	0,15 a	0,19 a	0,58 a	0,67 a
ACUOSA (ppm:µg/g)	0,40 a	0,23 a	0,00 a	0,00 a
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	1,40 a A	0,39 a A	3,24 a B	3,27 a B
NaOH sonificado (ppm:µg/g)	1,14 a A	0,90 a A	1,26 a A	0,42 b B
NaOH sin sonificar (ppm:µg/g)	1,46 a	0,49 a	3,93 a	3,09 a
HCl (ppm:µg/g)	0,70 a A	0,65 a B	1,17 a A	1,14 a A
TOTAL Pi	5,25 a A	2,85 a C	10,18 a B	8,59 a A
P orgánico				
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	2,06 a A	1,66 a B	1,55 a B	1,57 a B
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	2,98 a	1,85 a	5,06 a	4,42 a
NaOH sonificado (ppm:µg/g)	6,72 a A	3,30 a B	7,67a A	8,70 a A
NaOH sin sonificar (ppm:µg/g)	16,13 a	12,09 a	16,58 a	12,78 a
TOTAL Po	27,89 a	18,90 a	30,86 a	27,47 a
P RESIDUAL	31,65 a	22,99 a	32,99 a	36,94 a
Pt fraccionamiento	64,79 a	44,74 a	74,03 a	73,00 a

* Letras diferentes indican diferencias significativas con un $P < 0,05$, letras iguales no existen diferencias.

* Letras minúsculas diferencia entre suelo superficial y profundo a su vez significa diferencia entre coprolito fresco y viejo.

* Letras mayúsculas diferencia entre turrículos y suelos

❖ **Sabana protegida (SP) de Guárico**

Comparando el suelo superficial con el coprolito fresco encontramos que los valores de fósforo inorgánico son superiores para el coprolito fresco, en las fracciones resina y bicarbonato e inferiores para las fracciones Pi-NaOH sonicado y Pi-HCl. Los coprolitos entre sí, solo tuvieron variaciones significativas para la fracción Pi-resina y Pi-NaHCO₃, siendo superior el contenido de fósforo resina del coprolito fresco respecto al viejo y de forma contraria pero marcada en la fracción extraíble con bicarbonato. Entre suelo superficial y profundo no existieron diferencias significativas en cuanto al fósforo inorgánico, salvo para las fracciones de Pi-NaHCO₃ y Pi-HCl, cuyas cantidades fueron superiores en el suelo superficial. La sumatoria de las fracciones de fósforo inorgánico solo mostró diferencias significativas para el suelo profundo cuyo valor fue inferior que las demás muestras.

Las formas orgánicas presentes en los suelos no guardaron ninguna diferencia importante según su profundidad, salvo en la fracción bicarbonato donde suelo superficial obtuvo el mayor contenido del elemento, la sabana protegida presenta incrementos del %CO según la literatura, lo cual se relaciona con la restricción de la quema y mayores aportes de MO al suelo. En esta misma fracción se observó un incremento de fósforo orgánico significativo para el coprolito viejo con respecto al fresco y el suelo superficial.

Los resultados encontrados para las fracciones de fósforo inorgánico se mostraron similares a los obtenidos en trabajos previos realizados en la Estación Biológica ^[47]. Inclusive la sumatoria parcial de fósforo inorgánico para el suelo, estuvo cercana al valor reportado 12,2ppm. Para la misma publicación los valores de fósforo orgánico fueron similares, a excepción de la extraíble con NaOH cuyo valor fue marcadamente superior, 41,1ppm y que el fósforo residual, 90,8ppm. Estos valores

acentuaron la diferencia en los totales de Po y en la sumatoria final de P total 151,3ppm proveniente del fraccionamiento.

Las fracciones que presentaron incrementos del contenido de fósforo en coprolitos con respecto al suelo, fueron las correspondientes a las formas más lábiles. El $P_i\text{-NaHCO}_3$ constituye parte de la fracción disponible para las plantas y el $P_o\text{-NaHCO}_3$ es aquel fácilmente mineralizable por enzimas fosfohidrolíticas.^[52] El fósforo extraíble con resina incluye también formas de fósforo inorgánicas biológicamente disponibles. Estos suelos al pasar por el tracto digestivo de la lombriz sufren procesos que lo transforman y parte del mismo es utilizado para nutrición, y lo que eyecta como coprolito, se enriquece en fosforo mas aprovechable. Se atribuye por tanto este aumento del fósforo disponible a la actividad de las lombrices que habitan en estos suelos protegidos por más de 40 años.

El estudio realizado sobre la dinámica del fósforo en coprolitos de una pastizal en Carimagua Colombia^[51], confirmó los resultados obtenidos por otros investigadores en ecosistemas similares, con la diferencia de que Jiménez y colaboradores aislaron muestras a nivel de laboratorio y lograron constatar como la lombriz ayuda a la mineralización del fósforo orgánico y que no solo se enriquece por consumir restos de otras lombrices y sus turrículos. Esta investigación obtuvo datos de fraccionamiento muy semejantes, particularmente en las extracciones de fósforo inorgánico bicarbonato y resina, donde también se reflejo el incremento del contenido de fósforo lábil en los coprolitos sobre el suelo.

Tabla. 8 Fraccionamiento del fósforo de la sabana protegida de Guárico

FRACCION	SUELO PROTEGIDO		COPROLITO PROTEGIDO	
	0-10cm	10-30cm	Fresco	Viejo
P inorgánico				
RESINA (ppm:µg/g)	0,67 a A	0,30 a A	4,19 a B	2,17 b C
ACUOSA (ppm:µg/g)	0,69 a	0,79 a	0,45 a	0,53 a
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	0,92 a A	0,00 b A	2,16 a B	5,61 b C
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	1,44 a A	0,48 a B	1,69 a A	2,38 a A
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	1,35 a A	1,44 a A	0,11 b B	0,30 b B
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	3,05 a	2,26 a	1,05 a	2,13 a
HCl (ppm:µg/g)	2,33 a A	0,93 b B	0,67 b B	0,65 b B
TOTAL Pi	10,45 a A	6,2 b B	10,32 a A	13,77 a A
P orgánico				
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	4,57 a A	3,14 b B	3,33 b B	5,94 c C
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	4,42 a	2,54 a	4,02 a	1,37 a
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	6,23 a	4,06 a	3,43 a	3,95 a
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	11,68 a	11,38 a	5,60 a	13,72 a
TOTAL Po	26,9 a	21,12 a	16,35 a	24,98 a
P RESIDUAL	30,40 a	37,92 a	29,63 a	31,93 a
Pt fraccionamiento	67,75 a	65,24 a	56,30 a	70,68 a

* Letras diferentes indican diferencias significativas con un P<0,05, letras iguales no existen diferencias.

* Letras minúsculas diferencia entre suelo superficial y profundo a su vez diferencia entre coprolito fresco y viejo.

* Letras mayúsculas diferencia entre turrículos y suelos.

❖ **Sabana no protegida (SNP) de Guárico**

El coprolito viejo presento incrementos importantes de fósforo inorgánico con respecto al suelo superficial, en las fracciones con disponibilidad inmediata para las plantas como el P_i -resina y el P_i - $NaHCO_3$ tanto fumigado como sin fumigar. También se mostro superior al suelo, en formas de alta capacidad de mineralización P_o - $NaHCO_3$. Sin embargo esta situación se invierte para el caso de las fracciones P_i - $NaOH$ sonificado y P_i - HCl correspondientes a las formas de fósforo quimioadsorbido a compuestos de Fe y Al, aparte de los ocluidos por meteorización. En la sabana no protegida de Calabozo, el suelo superficial mostro predominio sobre el profundo en las fracciones P_i - HCl y P_o - $NaHCO_3$, mientras que el resto no evidenció diferencias significativas. La suma de las fracciones inorgánicas solo guardo diferencias significativas con respecto al suelo profundo quien presento valor inferior con respecto al suelo superficial y el coprolito viejo.

El contenido de fosforo residual no presento diferencias significativas entre las muestras, la forma de fósforo presente aquí, es de las más difíciles de ciclar al estar químicamente muy estable, por lo que esta fracción suele tener las mayores cantidades de esta forma de fósforo. El valor de fósforo total recuperado por el fraccionamiento fue superior para el caso del suelo superficial sin embargo estadísticamente no presenta diferencias significativas debido a la variabilidad que muestra el coprolito viejo. Se obtuvieron valores parecidos a los resultados del fósforo total provenientes de la digestión, a excepción del coprolito el cual estuvo sobrevalorado.

Al igual que para la sabana protegida los valores en las fracciones guardaron semejanzas con datos reportados para zonas aledañas a la Estación Biológica ^[47] solo existió discrepancia en las formas del P_o - $NaOH$ y P residual cuyos valores fueron marcadamente superiores 34,8ppm y 82,9ppm respectivamente.

Tabla 9. Fraccionamiento de la sabana no protegida de Guárico

FRACCION	SUELO NO PROTEGIDO		COPROLITO NO PROTEGIDO
	0-10cm	10-30cm	Viejo
P inorgánico			
RESINA (ppm:µg/g)	0,29 a A	0,23 a A	1,78 B
ACUOSA (ppm:µg/g)	0,54 a	0,45 a	0,56 a
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	0,30 a A	0,09 a A	3,35 B
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	1,12 a A	0,46 a A	2,53 B
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	1,35 a A	1,16 a A	0,24 B
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	2,61 a	1,08 a	1,29 a
HCl (ppm:µg/g)	1,78 a A	0,82 b B	0,73 B
TOTAL Pi	7,99 a A	4,29 a B	10,48 A
P orgánico			
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	3,01 a A	2,31 b A	4,32 B
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	4,13 a	2,28 a	2,86 a
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	5,17 a	3,72 a	3,50 a
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	9,01 a	10,35 a	12,74 a
TOTAL Po	21,32 a	18,66 a	23,42 a
P RESIDUAL	35,62 a	35,76 a	25,93 a
Pt fraccionamiento	64,93 a	58,71 a	59,83 a

* Letras diferentes indican diferencias significativas con un P<0,05, letras iguales no existen diferencias.

* Letras minúsculas diferencia entre suelo superficial y profundo a su vez diferencia entre coprolito fresco y viejo.

* Letras mayúsculas diferencia entre turrículos y suelos.

6.3 Parámetros bioquímicos de suelo y coprolito en las áreas de estudio

- **Actividad fosfatásica y ureásica (AF) y (AU) respectivamente**
- **Fósforo microbiano (P-BM)**

La actividad enzimática de la fosfatasa en la sabana natural de Amazonas solo registró diferencias significativas entre suelos y coprolito fresco siendo superior el de los turrículos. Los valores de esta actividad para los suelos se mostraron inferiores a los encontrados en un área cercana ^[46] 10,73 mg/kg h. Las muestras de la sabana natural de Guárico no mostraron diferencias importantes. Sin embargo la protección de la Estación Biológica arrojó incrementos de esta actividad para el suelo superficial sobre el profundo y a su vez el coprolito fresco obtuvo el mayor valor de actividad fosfatásica. Otros resultados obtenidos para suelos dentro de la Estación Biológica concordaron con los encontrados por Hernández-Valencia y López-Hernández (1999) ^[47]. Se esperaba un incremento de la actividad fosfatásica en las muestras de coprolito fresco ya que estas enzimas intervienen en las transformaciones del fósforo en formas lábiles corroborando así los datos obtenidos en el fraccionamiento.

La actividad ureásica no mostró cambios importantes con respecto a la profundidad del suelo, en ninguna de las áreas de estudio. Solo se observaron diferencias significativas entre el coprolito fresco y los suelos en la zona protegida de Guárico, cuyo valor fue superior para el coprolito fresco. El coprolito viejo de la zona aledaña a la Estación (sabana natural) también presentó incrementos con respecto a los suelos. Sin embargo los turrículos de Amazonas presentaron valores significativamente inferiores con respecto al suelo profundo y a su vez se mostraron por debajo de datos reportados en esta localidad ^[46] que alcanzan los 9,06 mg/kg h.

Los incrementos de esta actividad en los coprolitos podrían estar relacionados a los aumentos de N total reportados para estas muestras ^[44] lo cual corroboraría la hipótesis, de que la actividad microbiana específicamente la ureásica, desarrollada en

estas estructuras más estables y compactas podría contribuir al proceso de fijación biológica del nitrógeno.

El fósforo microbiano no guardó diferencias significativas entre los suelos a excepción de la sabana no protegida de Guárico, donde el contenido fue superior en el suelo superficial y hasta inclusive mayor al suelo bajo protección. Los mayores contenidos de fosforo microbiano los registró el coprolito procedente de la sabana no protegida de Amazonas el cual es un sistema con bajos tenores de P disponible. En una investigación anterior ^[53] se propuso una hipótesis que mencionaba que el fósforo microbiano al constituir parte de la fracción lábil y a su vez al estar protegidas de la fijación este se almacenaba en P microbiano como mecanismo de conservación del elemento. Los resultados obtenidos en este trabajo podrían confirmar esta hipótesis, ya que los valores de fósforo disponible son bajos en el caso de Amazonas y altos los contenidos de fósforo microbiano de la misma zona, esta explicación sería válida. Sin embargo no se descarta sobreestimación experimental del método.

Los valores de P microbiano en los suelos de Amazonas fueron similares a los obtenidos en una sabana del Estado Monagas con características parecidas, los valores para sus suelos estuvieron entre 3,2 y 4,3 ppm. ^[43] Sin embargo en Guárico no ocurrió lo mismo, los valores fueron inferiores a lo reportados por otros autores. ^[47] La sabana no protegida de Calabozo presento incrementos de fósforo microbiano en el suelo superficial con valores superiores a los de la sabana protegida, este aspecto podría estar relacionado a la quema y pastoreo ^[54]. Sin embargo la literatura consultada especifica incrementos en la biomasa microbiana para experimentos posteriores inmediatos a la quema y no a los ocho meses como el caso de esta investigación. Por tanto este incremento al igual que el de Amazonas podría presentar sobrevaloración metodológica.

No hubo diferencias significativas entre Amazonas y Calabozo para la actividad ureásica. Sin embargo para la actividad fosfatásica fue importante la protección.

Tabla 10. Contenidos de AF AU y P-BM en las zonas de estudio

Variable	Zona	Suelo superficial (0-10 cm)	Suelo profundo (10-30cm)	Coprolito Fresco	Coprolito viejo
AF ($\mu\text{g PNP} / \text{g h}$)	Amazonas SNP	0,73 a A (0,00)	0,78 a A (0,00)	1,19 a B (0,44)	0,85 a A (0,00)
	Guárico SP	2,96 a A (0,08)	1,78 b A (0,02)	4,67 a B (0,00)	1,32 b B (0,00)
	Guárico SNP	1,13 a (0,00)	0,94 a (0,00)	-	1,08 a (0,12)
AU ($\mu\text{g NH}_4 / \text{g h}$)	Amazonas SNP	1,87 a A (0,81)	3,03 a B (1,40)	0,93 a A (0,81)	1,40 a A (0,00)
	Guárico SP	3,27 a A (0,81)	2,33 a B (1,40)	5,13 a C (0,81)	1,40 b B (0,00)
	Guárico SNP	0,93 a A (0,81)	0,00 a A (0,00)	-	1,87 B (0,81)
P- BM (g/Kgsuelo)	Amazonas SNP	6,71 a A (7,27)	2,05 a A (1,11)	19,2 a B (10,60)	17,4 a A (3,97)
	Guárico SP	0,99 a (1,57)	0,00** a (0,00)	0,00** a (0,00)	0,00** a (0,00)
	Guárico SNP	5,28 a A (2,16)	0,89 b A (1,40)	-	0,00 B (0,00)

*Letras diferentes indican diferencias significativas con un $P < 0,05$, letras iguales no existe diferencias.

*Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

1 Letra minúscula: diferencia entre tratamientos: 0-10, 10-30 y a su vez diferencia entre coprolito fresco y viejo (representado horizontalmente)

2 Letra Mayúscula: diferencia entre suelos y coprolitos (horizontal)

Colores: colores distintos indican diferencias significativas entre sabana protegida y sabana no protegida (representado verticalmente).

** Posibles problemas metodológicos

CONCLUSIONES

1. Los coprolitos de lombrices de tierra presentan una repartición de las fracciones de fósforo inorgánico diferente a la de los suelos asociados con incrementos de las formas lábiles P-resina, P-NHCO₃. En el aumento del proceso de mineralización propiciado por estos organismos, el material orgánico es transformado en formas de fósforo inorgánico preferencialmente.
2. La fracción de fósforo orgánico lábil Po-NaHCO₃ en los turrículos, se mostró incrementada con respecto al suelo para la zona de estudio en Calabozo, mientras que la fracción moderadamente lábil Po-NaOH presento valores inferiores que el suelo. Las fracciones moderadamente lábiles actúan como reservorios de fósforo contribuyendo a largo plazo al proceso de mineralización, por lo que se sugiere que la actividad en el tracto intestinal de las lombrices transforman esta reserva acortando el tiempo de mineralización natural del sistema.
3. El mayor contenido de fósforo en coprolitos y suelos, se encontró en una forma menos disponible para las plantas correspondiente a la fracción de P-residual (fósforo inorgánico ligado a minerales y fósforo orgánico quimiadsorbido) lo que es acorde con el alto grado de meteorización de estos suelos.
4. El contenido de fósforo microbiano presentó un comportamiento diferente con respecto a las zonas de estudio de Amazonas y Calabozo. Para el caso de Amazonas se observó un incremento notable de la actividad microbiana en coprolitos con respecto al suelo mientras que para Calabozo ocurrió todo lo contrario. Según la literatura puede existir una relación entre la disponibilidad de

P y el contenido de P en microorganismos. En condiciones de baja disponibilidad de P como el caso de Amazonas los niveles de P microbiano aumentan lo que podría sugerir que la reducción del P lábil es debido a la inmovilización por parte de los microorganismos. Aunque no se descarta la sobreestimación metodológica.

5. La actividad enzimática fosfatásica resulto incrementada en los coprolitos, se observo mayor actividad en los frescos específicamente los de la Estación Biológica, donde unido a una disminución de las fracciones orgánicas producto de la mineralización relacionada con estas enzimas, se sugiere que las lombrices que habitan en esta área protegida favorecen a una mayor asimilación de P por la vegetación.
6. Los coprolitos de la Estación Biológica particularmente el fresco presentaron mayor actividad ureásica (enzima asociada a la mineralización del nitrógeno) que sus suelos asociados, es de esperarse que al ser los turrículos estructuras más estables se propicie un proceso fijación biológica del nitrógeno incrementando los valores de N total.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1]. C. Edwards y J. Lofty, Biology of Earthworms, Ed. Chapman and Hall, Londres, 283 pp (1977).
- [2]. J. J. Jiménez y R. J. Thomas, El Arado Natural. Las comunidades de Macroinvertebrados del Suelo en las Sabanas Neotropicales de Colombia, Ed. CIAT, Colombia Cap. 1, 1-17, (2003).
- [3]. La sabana. [En línea] Rosario, Argentina, Ir a Ecología, Sabanas < <http://www.barrameda.com.ar/> > [Consulta: 4 de Julio de 2007].
- [4]. Güerere I., Comparación de parámetros químicos, físicos y de la biomasa microbiana del suelo entre una sabana protegida del fuego y una sabana quemada anualmente, TEG, Facultad de Biología, UCV, (1992).
- [5]. López-Hernández D., Hernández-Hernández R. M., y Brossard M., Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del Sur. Estudios de casos en sabanas del Orinoco, Interciencia (30) 10, 623-630 (2005).
- [6]. Díaz N., Transformación del fósforo orgánico en un suelo ácido de sabana tratado con enmiendas orgánicas, TEG, Facultad de Ciencias, UCV (2005).

- [7]. Ríos S. Y., Importancia de las lombrices en la agricultura, Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela, 47-52.
- [8]. Ortigosa Rivas C., Anatomía y Fisiología de la lombriz, [Imagen en línea] Barcelona, España, artículos de expertos, <<http://www.compostadores.com/>> [consulta: 14 de julio de 2007].
- [9]. Y. M. Araujo, Caracterización de las comunidades de lombrices de tierra y sus efectos en los suelos de sabana, Seminario Especial de Grado, Facultad de Biología, UCV (1995).
- [10]. J. Fraile-Merino, Las lombrices de tierra en Costa Rica, importancia agroecológica, Revista de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, Costa Rica, 81-87 (1996).
- [11]. López-Hernández D., La actividad de la macrofauna (termitas y oligoquetos) en suelos de sabana, Venesuelos, Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía, UCV, 15-25 (2003).
- [12]. M. Viñas Canals, Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica, Tesis Doctoral, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona, España (2005).
- [13]. Lombricultura Pachamama S. A., Humus de lombriz y su aplicación. [En línea] San Pedro, Chile, Biblioteca, Ir a textos, Humus < <http://www.lombricultura.cl/> > [Consulta: 4 de Julio de 2007].
- [14]. Picone L y Zamuner E., Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica, Revista Informaciones Agronómicas del Cono Sur, Buenos Aires, Argentina, (16), 11-15 (2002).

- [15]. Hernández-Hernández R. M. y López-Hernández D., El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales venezolanos, Revista Interciencia (27) 10, 529-536 (2002).
- [16]. Németh A. y Herrera R., Earthworm populations in a Venezuelan tropical rain forest. Pedobiología (23), 437-443 (1982).
- [17]. Ojeda A., Transformaciones del fósforo orgánico en un suelo ácido de sabana sometido a distintas alternativas de manejo agronómico. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UCV, (1995).
- [18]. López-Hernández D. y Ojeda A., Alternativas de manejo agroecológico de los suelos de las sabanas al norte de Suramérica, Sociedad Venezolano de Ecología, Ecotrópicos, 9 (2), 101-117 (1996).
- [19]. Araujo Y. y López-Hernández D., Caracterización de las poblaciones de lombrices de tierra en un sistema de agricultura orgánica ubicado en una sabana en el amazonas venezolano, Revista de la Sociedad Venezolana de Ecología, Venezuela 12 (1), 49-55 (1999).
- [20] López-Hernández D., Lavelle P., Fardeau J. C. y Niño M., Phosphorus transformations in two P-sorption contrasting tropical soils during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae: Oligochaeta). Soil Biology Biochemistry, Vol. 25 (6), 789-792 (1993).

- [21]. Brossard M., Lavelle P y Laurent J.Y., Digestion of a vertisol by an endogeic earthworm (*Polypheretima elongata*, Megaloscolecidae) increases soil phosphate extractability, Soil Biology, (32), 107-111 (1996).
- [22]. Chapuis-Lardy L., Brossard M., Lavelle P. Y Schouller E., Phosphorus transformation in a ferrasol through ingestion by *Pontoscolex corethrurus*, a geophagus earthworm. Eur. J. Soil Biology, (34), 61-67 (1998).
- [23]. Jiménez J. J., Decaens T., Thomas R. J., Lavelle P., La Macrofauna del Suelo. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Cali, Colombia (2003). Versión español.
- [24]. Jiménez, J J., Decaens, T. Macrofauna del suelo: concepto y cuantificación. Material del curso de postgrado “Manejo agroecológico y factores de biofertilidad en sabanas”.Caracas, Venezuela (2003).
- [25] Centro Nacional de Tecnologías de Información, [Imagen en línea], Venezuela, Estados, Guárico, <<http://www.gobierno en linea.com/>> [consulta: 14 de julio de 2007].
- [26]. García-Miragaya J. and Cáceres A., Soil chemistry changes in a forest-grassland vegetation gradient within a fire and grazing protected savanna from the Orinoco Llanos, Acta Ecológica, Venezuela, 11 (6), 775-781 (1990).
- [27]. Pérez M. Alternativas en el manejo agroecológico y sucesión temprana en sabanas de drenaje interno rápido, ubicadas al norte del estado Amazonas, TEG, Facultad de Ciencias, UCV (2002).

- [28]. López-Hernández D., García M. P., Torres F., Chacón P., Paoletti M., Identification, caracterizacion and preliminary evaluation of Venezuelan Amazonian production system in Puerto Ayacucho savanna-forest ecotone, *Interciencia*, (22) 6, 307-314 (1997).
- [29]. Ramia M., Plantas de las sabanas llaneras. Monteávila Editores, Caracas, Venezuela, p.288 (1967).
- [30]. Huber O. Sabanas y tipos de vegetación relacionados de la región del escudo de Guayana en Venezuela, Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, U.L.A., Mérida, 57-98 (1990).
- [31]. Casanova O. E., Introducción a la Ciencia del Suelo, CDCH Litopar C.A, Facultad de Agronomía, UCV (1991).
- [32]. Bouyucos G. T., Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method, *Soil Sci*, (42), 25-228 (1936).
- [33]. Guía de Laboratorio de Ciencias del Suelo. Laboratorio de Estudios Ambientales. Instituto de Zoología Tropical. Facultad de Ciencias. UCV (1995).
- [34]. Murphy J. y Riley J., A modified single solution method for determination of phosphathe innatural waters, *Analytical Chemistry*, (27), 31-36 (1962).

- [35]. Olsen S. R., Cole C. V., Watanabe F. S. y Dean L. A., Estimation of available phosphorus in soil by extractions with sodium bicarbonate, USDA Circ, (939), (1954).
- [36]. Brookes P. C., Powlson D. S. y Jenkinson D. S., Measurement of microbial biomass phosphorus in soil, Soil Biological Chemistry, (14), 319-329 (1982).
- [37]. Tiessen H., and Moir J.O., Characterisation of available P by sequential extraction, Soil Sampling and Methods of analysis, (1993).
- [38]. Tabatabai M., and Bremer J., Use p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity, Soil Biological Chemistry, (20), 39-43 (1972).
- [39]. Santander S., Influencia de la rizosfera en la estructura, actividades enzimáticas y microbiota en suelos de una sabana ubicada I noroeste del Estado Bolívar, TEG, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, UCV (2003).
- [40]. Tabatabai MA. (1994)., Microbiological and biochemical properties, Soil enzymes, Methods of soil analysis part 2, SSSA Book Series N°5, Madison, P 775-833.
- [41]. Medina, E y J. Silva 1999. Savannas of northern South America: A steady state regulated by water-fire interactions on a background of low nutrient availability, J. Biog. 17: 403-413.
- [42]. San José, J. J. y M Fariñas 1983. Changes in tree density and species composition in protected *Trachypogon* savanna, Venezuela Ecology 64: 447-453.
- [43]. Hernández-Valencia I. y Bautis M. 2005. Cambios en el contenido del fósforo en el suelo superficial por la conversión de sabanas en pinares, Bioagro 17 (2): 69-78

- [44]. Quintero E, Estudio de C y N en suelos y coprolitos de lombrices de tierra de sabanas del Orinoco, Tesis Especial de Grado, UCV (2007)
- [45]. Ganeshamurthy, A., Manjaiah, K., Subba Rao, A. Mobilization of Nutrients in tropical soils through worm casting: availability of macronutrients. Soil Biol Biochem. Vol 30 p 1671-1676. (1997)
- [46]. López-Hernández D., Araujo Y., Lopez-Contreras A., Hernández-Valencia I. y Hernández C. Changes in soil properties and earthworm populations induced by long-term organic fertilization o a sandy soil in the Venezuelan Amazonia, Soil science vol. 169 p. 188-194. (2004)
- [47]. Hernández-Valencia I. y López- Hernández D., Efectos de la quema sobre el ciclo del fósforo en una sabana de *Trachypogon*, Ecotrópicos 12: 3-7. (1999),
- [48]. Kellman, M., Soil enrichment by neotropical tres, J. Ecol. 565-577. (1979)
- [49]. Susach, F., Caracterización ecológica de las sabanas de un sector de los Llanos Bajos Centrales de Venezuela. Tesis Doctoral, UCV. (1984)
- [50]. Lopez- Contreras A., Hernández-Valencia I. y López-Hernández D., Fractionation of soil phosphorus in organic amended farms located on savanna sandy soils of Venezuelan Amazonian, Biol Fertil Soils 43: 771-777. (2007)
- [51]. Jiménez J.J y col., Phosphorus fractions and dynamics in surface earthworm cast under native and improved grasslands in a Colombian savanna Oxisol., Soil Biology and Biochemistry, vol. 35 p. 715-717. (2003)

[52]. Bowman R. A. y Cole C. V., An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grasslands soils. Soil Sci. 125: 95-101. (1978),

[53]. Hernández-Valencia I., Dinámica del fósforo en un suelo de sabana de *Trachypogon* de los llanos altos centrales. TD. Postgrado en Ecología. Facultad de Ciencias. (1996)

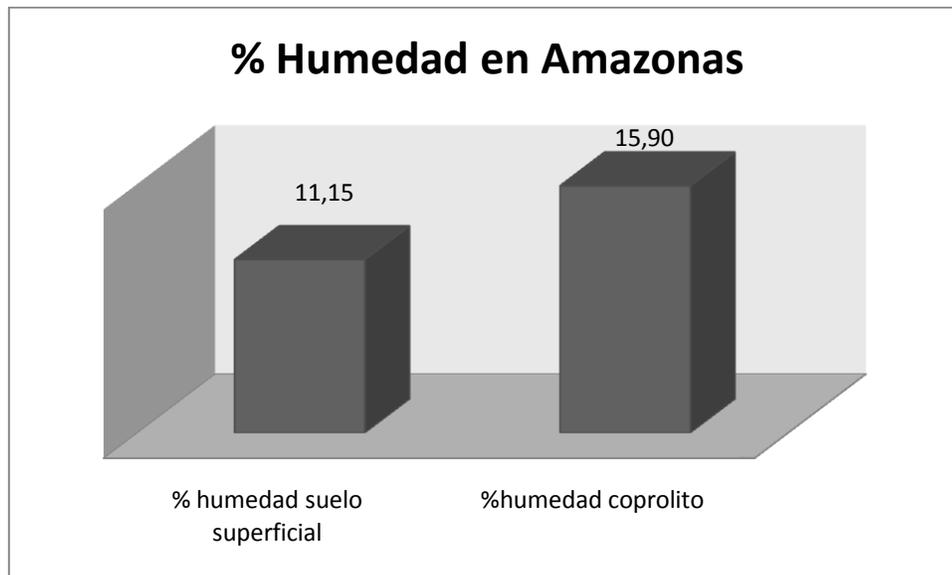
[54]. Singh S. C., Influence of soil properties on microbial C, N, and P in dry tropical ecosystems. Biol Fertil Soils 13: 176-180. (1991)

8. ANEXOS

ANEXO 1. Porcentaje de humedad de los coprolitos de Amazonas

PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	DIFERENCIA PH-PS (g)	%HUMEDAD
1,4653	1,2337	0,2316	15,81
1,9323	1,6226	0,3097	16,03
1,5817	1,3307	0,2510	15,87
Promedio			15,90

ANEXO 2. Grafica de % humedad en Amazonas



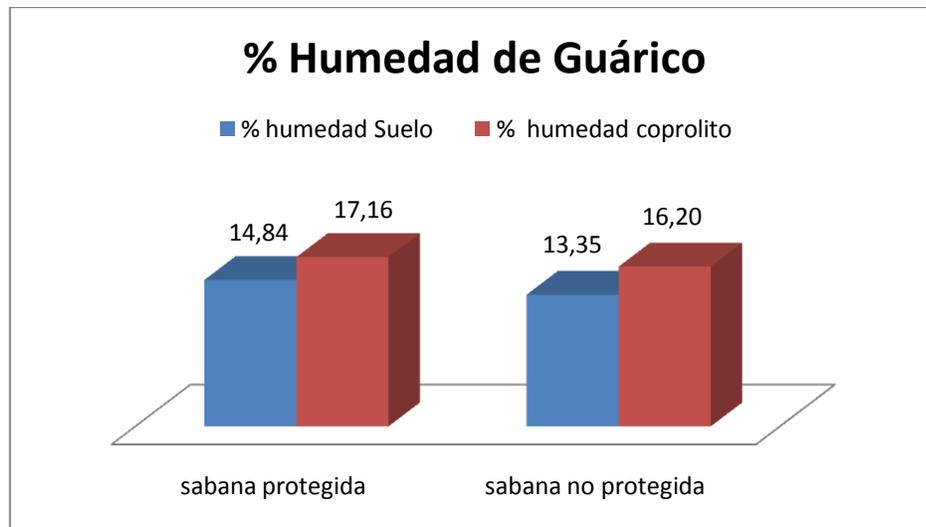
ANEXO 3. % humedad de los coprolitos en la sabana protegida de Guárico

Peso húmedo (g)	peso seco (g)	Diferencia (g)	% Humedad
1,7188	1,4226	0,2962	17,23
2,2511	1,8625	0,3886	17,26
1,8332	1,5219	0,3113	16,98
Promedio			17,16

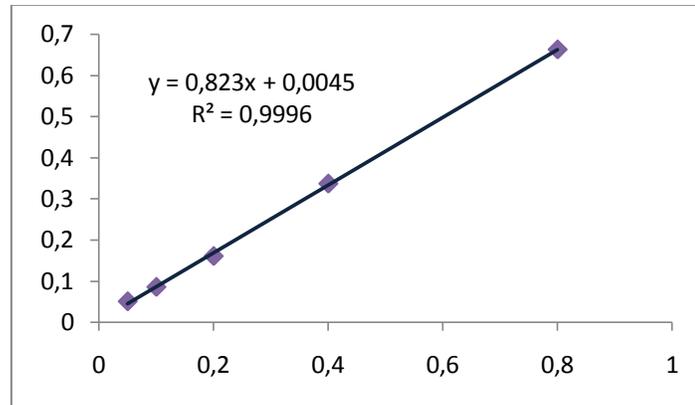
ANEXO 4. % humedad de los coprolitos en la sabana no protegida de Guárico

Peso húmedo (g)	peso seco (g)	Diferencia (g)	% Humedad
1,7041	1,4422	0,2619	15,37
2,2318	1,8533	0,3785	16,96
1,8316	1,5337	0,2979	16,26
Promedio			16,20

ANEXO 5. Grafica de % humedad en Guárico



ANEXO 6. Curva de Calibración de fósforo



ANEXO 7. Cálculos de Fósforo de una de las fracciones

FRACCION RESINA

AMAZONAS

	ABS I	ABS II	ABS III	ppm I	ppm II	ppm III
0-10	0,008	0,01	0,009	0,003	0,005	0,004
Compuesta	0,01	0,011	0,009	0,005	0,006	0,004

PESO 1	PESO2	PESO3	ppm muestras	ppm muestras	ppm muestras	Prom ppm
2,0009	2,0006	2,0008	0,1055	0,1888	0,1471	0,1471
2,0003	2,0012	2,0002	0,1888	0,2304	0,1472	0,1888

CALABOZO

SABANA NATURAL

	ABS I	ABS II	ABS III	ppm I	ppm II	ppm III
0-10	0,012	0,014	0,011	0,007	0,009	0,006
Compuesta	0,009	0,011	0,013	0,004	0,006	0,008

PESO 1	PESO2	PESO3	ppm muestras	ppm muestras	ppm muestras	Prom ppm
2,0005	2,0006	2,0004	0,2721	0,3554	0,2305	0,2860
2,0006	2,0008	2,0008	0,1471	0,2304	0,3137	0,2304

ESTACION

	ABS I	ABS II	ABS III	ppm I	ppm II	ppm III
0-10	0,014	0,032	0,019	0,009	0,027	0,014
Compuesta	0,013	0,014	0,011	0,008	0,009	0,006

PESO 1	PESO2	PESO3	ppm muestras	ppm muestras	ppm muestras	Prom ppm
2,0003	2,0008	2,0005	0,3555	1,1051	0,5637	0,6747
2,0006	2,0001	2,0004	0,3137	0,3555	0,2305	0,2999

COPROLITO

COPROLITO VIEJO SABANA NATURAL

	ABS	ppm alicuota	PESOS	ppm muestra
B1	0,035	0,048	2,0003	1,9995
B2	0,022	0,032	2,0005	1,3413
B3	0,035	0,048	2,0009	1,9989
PROM				1,78

COPROLITO VIEJO ESTACION

	ABS	ppm alicuota	PESOS	ppm muestra
B1	0,027	0,038	2,0003	1,5945
B2	0,035	0,048	2,0003	1,9995
B3	0,053	0,070	2,0007	2,9101
PROM		0,052		2,17

COPROLITO FRESCO AMAZONAS

	ABS	ppm alicuota	PESOS	ppm muestra
B1	0,012	0,015	2,1285	0,6002
B2	0,009	0,011	2,1275	0,4256
B3	0,014	0,018	2,1284	0,7167
PROM		0,015		0,58

COPROLITO VIEJO AMAZONAS

	ABS	ppm alicuota	PESOS	ppm muestra
B1	0,016	0,022	2,1506	0,8538
B2	0,012	0,016	2,1510	0,6149
B3	0,011	0,014	2,1515	0,5550
PROM		0,017		0,67

COPROLITO FRESCO ESTACION

	ABS	ppm alicuota	PESOS	ppm muestra
B1	0,058	0,0867	2,1496	3,3630
B2	0,09	0,1361	2,1595	5,2503
B3	0,068	0,1022	2,1494	3,9607
PROM		0,108		4,19

ANEXO 8. Desviaciones estándar Guárico no protegido

FRACCION	SUELO NO PROTEGIDO		COPROLITO NO PROTEGIDO	
	0-10cm	10-30cm	fresco	viejo
P inorgánico				
RESINA (ppm:µg/g)	(±0,04)	(±0,04)	(±0,15)	(±0,16)
ACUOSA (ppm:µg/g)	(±0,05)	(±0,03)	0,00	0,00
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	0,00	0,00	0,00	0,00
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	(±0,51)	(±0,11)	(±0,64)	(±0,28)
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	(±0,30)	(±0,36)	(±0,29)	(±0,27)
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	(±1,91)	(±0,53)	(±2,16)	(±1,31)
HCl (ppm:µg/g)	(0,00)	(0,00)	(±0,11)	(±0,9)
TOTAL Pi	(3,49)	(0,25)	(2,55)	(2,09)
P orgánico				
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	(±0,15)	(±0,11)	(±0,04)	(±0,07)
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	(±0,64)	(±0,37)	(±3,35)	(±1,35)
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	(±0,76)	(±0,85)	(±2,23)	(±0,60)
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	(±7,07)	(±0,73)	(±2,55)	(±3,82)
TOTAL Po	(12,22)	(1,36)	(7,77)	(5,66)
P RESIDUAL	(±8,37)	(±3,56)	(±9,56)	(±9,93)
Pt fraccionamiento	(15,62)	(1,32)	(10,32)	(7,74)

ANEXO 9. Desviaciones estándar Guárico protegido

FRACCION	SUELO PROTEGIDO		COPROLITO PROTEGIDO	
	0-10cm	10-30cm	Fresco	Viejo
P inorgánico				
RESINA (ppm:µg/g)	(0,39)	(0,06)	(0,96)	(0,67)
ACUOSA (ppm:µg/g)	(0,39)	(0,64)	(0,13)	(0,06)
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	(0,18)	(0,00)	(0,81)	(0,20)
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	(0,39)	(0,12)	(0,05)	(0,67)
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	(0,06)	(0,31)	(0,10)	(0,23)
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	(0,29)	(0,66)	(0,93)	(2,94)
HCl (ppm:µg/g)	(0,43)	(0,15)	(0,05)	(0,00)
TOTAL Pi	(1,19)	(0,63)	(0,43)	(3,51)
P orgánico				
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	(0,22)	(0,68)	(0,06)	(0,15)
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	(0,41)	(0,27)	(1,41)	(2,36)
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	(0,77)	(1,38)	(0,32)	(3,80)
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	(4,35)	(2,85)	5,60 (0,64)	13,72 (6,36)
TOTAL Po	(4,41)	(1,34)	(0,57)	(12,24)
P RESIDUAL	(16,15)	(1,90)	(9,19)	(12,80)
Pt fraccionamiento	(4,75)	(1,39)	(0,97)	(15,38)

ANEXO 10. Desviaciones estándar Sabana natural de Amazonas

FRACCION	SUELO NO PROTEGIDO		COPROLITO NO PROTEGIDO
	0-10cm	10-30cm	Viejo
P inorgánico			
RESINA (ppm:µg/g)	(0,06)	(0,08)	(0,39)
ACUOSA (ppm:µg/g)	(0,18)	(0,05)	(0,05)
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	(0,28)	(0,16)	(0,45)
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	(0,37)	(0,08)	(1,46)
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	(0,24)	(0,14)	(0,35)
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	(0,89)	(0,29)	(1,38)
HCl (ppm:µg/g)	(0,48)	(0,08)	(0,13)
TOTAL Pi	(2,07)	(0,62)	(2,88)
P orgánico			
NaHCO ₃ (ppm:µg/g)	(0,14)	(0,09)	(0,32)
NaHCO ₃ fumigado (ppm:µg/g)	(1,61)	(0,50)	(5,20)
NaOH sonicado (ppm:µg/g)	(1,11)	(0,35)	(3,52)
NaOH sin sonicar (ppm:µg/g)	(4,95)	(2,77)	(8,07)
TOTAL Po	(6,57)	(2,94)	(16,50)
P RESIDUAL	(4,72)	(5,15)	(13,53)
Pt fraccionamiento	(6,70)	(2,38)	(19,38)

