

**ESTIMACIÓN DE LA MICROBIOTA DE SUELO EN EL AGROECOSISTEMA DE  
CHONTADURO (*Bactris gasipaes* Kunth) DESDE UNA PERSPECTIVA  
AMBIENTAL, EN CUATRO ESQUINAS, EL TAMBO - CAUCA.**



**CLARA EDITH FERNÁNDEZ ORTEGA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2009**

**ESTIMACIÓN DE LA MICROBIOTA DE SUELO EN EL AGROECOSISTEMA DE  
CHONTADURO (*Bactris gasipaes* Kunth) DESDE UNA PERSPECTIVA  
AMBIENTAL, EN CUATRO ESQUINAS, EL TAMBO - CAUCA.**

**CLARA EDITH FERNÁNDEZ ORTEGA**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Biólogo

Director:

**LEONIDAS ZAMBRANO POLANCO**

Asesores:

**ISABEL BRAVO REALPE  
BIBIANA STELLA DUARTE.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2009**

## DEDICATORIA

*<sup>1</sup>Bendice, alma mía, la Señor,  
y mi ser a su santo Nombre;  
<sup>2</sup>bendice, alma mía, al Señor  
y no olvides sus beneficios.  
(Salmo 103)*

A la gran familia que Dios me ha regalado sin merecerlo, porque todos ellos en el cielo y en la tierra comparten conmigo este camino y por su bondad me siento acompañada tanto en la alegría como en la adversidad.

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento por el apoyo y contribución para la realización de este trabajo:

A mis mamitas, mis hermanos, mi cuñada y mi sobrino, por su incondicional amor, compañía y apoyo; porque sus vidas inspiran y llenan de alegría mí existencia.

A mis docentes, y en ellos especialmente a Isabel Bravo, Bibiana Duarte, Leónidas Zambrano y Apolinar Figueroa; a quienes debo mucha admiración y merecen todo mi afecto y gratitud.

A mis jurados Clara Inés Giraldo y Giovanni Varona por su oportuno aporte y contribución.

A mis amigos, quienes por su fraternidad sincera se han grabado en mi corazón.

***A Ti Dios, a tu Amada Esposa y tu Divino Hijo***, porque siempre están conmigo y en su amor confié...

## RESUMEN

Esta investigación se realizó con el propósito de reconocer el impacto causado al suelo por el manejo tradicional del cultivo de chontaduro (*Bactris gasipaes* K.) en Cuatro Esquinas (El Tambo-Cauca). Para ello se evaluó cuantitativamente de manera preliminar las alteraciones físicas, químicas y microbiológicas del subsistema edáfico, eligiendo 10 veredas, dos fincas por vereda y dos parcelas de muestreo por finca. La biota microbiana se valoró mediante el índice de diversidad ( $H'$ ) de Shannon-Weaver (1949). Para el análisis estadístico se adoptó un modelo de bloques completos al azar en arreglo de parcelas subdivididas, la comparación se realizó mediante la prueba de Kruskal Wallis. La valoración ambiental del agroecosistema se realizó aplicando una lista de chequeo, la matriz de FEARO y un modelo fenomenológico, herramientas cualitativas de gran aporte científico y ambiental, ya que contribuyen con información fundamental para implementar procesos de gestión y planificación participativa del suelo y los agroecosistemas con un enfoque agroecológico.

Los resultados evidencian que el suelo asociado a este agroecosistema presenta una clara tendencia a la degradación, debido a inadecuadas prácticas agrícolas, ya que se encontraron suelos fuerte y muy fuertemente ácidos (4.5-5.2), con altos contenidos de Aluminio intercambiable, bastante pobres en fertilidad y en contenido de materia orgánica, con predominio de arenas. Además, se evidencia a escala microscópica pérdida tanto en variedad como en cantidad de poblaciones de microorganismos, lo que se atribuye a disminución potencial de las condiciones necesarias para favorecer el desarrollo y actividad microbiana; se encontraron hongos formadores de micorriza, interacción considerada como un gran potencial de resiliencia en el suelo, presentándose una alta colonización (89%), superior a los datos reportados para chontaduro (67%); además se encontraron hongos patógenos, asociados a la pudrición radicular. En este sentido, el comportamiento de las poblaciones microbianas constituye un adecuado bioindicador de calidad del suelo.

La valoración ambiental evidencia por una parte que el manejo agronómico del cultivo genera una alteración adversa y significativamente adversa en el agroecosistema, identificándose los siguientes factores: toxicidad ambiental, pérdida de biodiversidad, degradación del suelo, alteración de la salud humana, alteración de la seguridad alimentaria y pobreza; por otra parte que el componente antrópico se comporta como si fuese un componente ajeno al sistema, ya que no hay un sentido de apropiación verdadero frente a los bienes ambientales de los cuales se abastece, olvidando la importancia de generar un manejo sostenible del agroecosistema.

**Palabras Claves:** agroecosistemas, microbiología ambiental, biorremediación, modelamiento fenomenológico, evaluación ambiental y chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth).

## INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental es un tema que en la actualidad exhibe gran importancia dado el notable deterioro que están sufriendo los ecosistemas por la expansión de la frontera agrícola (entre otras actividades de origen antrópico). Para hallarle una solución sostenible en el tiempo tanto para la comunidad como para el medio ambiente, debe ser abordada de manera **Holística**; por esta razón el manejo y eventual mejoramiento de los sistemas de producción agrícola deben apoyarse en una comprensión adecuada de su origen, estructura y función, conocimiento que permitirá encontrar un balance entre la oferta y la demanda de tal forma que puedan generarse estrategias de gestión que logren proyectarse a sistemas competitivos pero de bajo impacto ambiental.

En este sentido, desde una perspectiva ambiental, el recurso edáfico es un elemento síntesis de la naturaleza producto de la interacción entre los componentes del ecosistema y su manejo (Altieri, 1997), que refleja en sí su fragilidad y la tendencia del recurso a la *degradación*; argumento que evidencia la necesidad de conocer las interacciones que en él se desarrollan, la tensión que causa la actividad agrícola tradicional y la magnitud del efecto que puede suceder de continuar con esta forma de actuar. Es así, como la valoración de su población microbiana es el mejor indicador para reconocer su alteración, ya que su dinámica está en función de las interacciones que se desarrollan entre los componentes del sistema y su comportamiento responde a la armonía del mismo; la microfauna es una gran fuente de información que aún desconocemos, son organismos que participan de diversos procesos, importantes para la conservación, producción y desarrollo de los agroecosistemas.

La estimación microbiana del suelo en el agroecosistema del chontaduro en el corregimiento de Cuatro Esquinas, soporta un análisis que desde un enfoque ambiental permite reconocer la dinámica de la fertilidad del suelo, con el cual se busca bien a mediano o largo plazo, contribuir con la seguridad alimentaría, la salud humana y ambiental de la región, cooperando al esfuerzo interdisciplinario de la sociedad mundial que abandera una normatividad en busca de regular la labor agropecuaria en cuanto a las condiciones de trabajo de los productores, el manejo de los recursos y la calidad de los productos que se llevan al mercado; código denominado como Buenas Prácticas Agrícolas –BPA y que para Colombia la norma técnica para la implementación de dichas practicas es la NTC 5.400, de 2005.

## 1. JUSTIFICACIÓN

Existen evidencias de que los recursos naturales se agotan irreversiblemente y a la par se han ido deteriorado las condiciones básicas para la vida (FAO, 2001), por esta razón se considera que los recursos naturales son un capital finito, el cual es necesario mantener para asegurar la sostenibilidad de la humanidad; y no es posible dar soluciones que frenen este proceso de degradación si no se parte del reconocimiento de los diversos ecosistemas ya que estos y su dinámica, obedecen a patrones propios como son las características climáticas, edáficas y bióticas y al de uso y manejo que da el hombre.

Figuroa *et al*, (1998) plantean que valorar el costo ambiental de la actividad antrópica en un ecosistema (el uso de los recursos naturales), exige una concepción integral de su dinámica, la cual debe abordarse bajo el principio de *la dinámica y Metaestabilidad de los sistemas naturales*, es decir, sobre el conocimiento de su tendencia al equilibrio o la armonía en que intenta mantenerse. Percepción inaplazable para reevaluar el modelo agrícola colombiano (revolución verde) por la evidente debilidad que tiene para sostener social, ambiental y económicamente su productividad<sup>1</sup>, reflejada directamente en los índices de pobreza, seguridad alimentaria y violencia del país.

Muchas instituciones nacionales e internacionales responsables de vigilar y promover la conservación y manejo de los recursos naturales han centrado su atención en la necesidad de fortalecer alternativas para que su apropiación y uso sean sostenibles en el tiempo, social y ambientalmente. Es así, como el cultivo del chontaduro se propone como materia prima promisoría para el municipio de El Tambo en el departamento del Cauca (FUNCOP, 2000):

1. El chontaduro posee un gran potencial de transformación agroindustrial,
2. Es la principal fuente de ingreso para alrededor de 700 familias;
3. Tiene una amplia representación en áreas sembradas-650 has en promedio

---

<sup>1</sup> "En Colombia como en otras partes del mundo, se experimenta una pérdida significativa de especies vivas como consecuencia de los procesos inducidos por el hombre en el uso de los recursos naturales, sin lugar a duda la agricultura juega un importante papel en dicha alteración, ya que sus prácticas de manejo (especialización de los cultivos, continuó aporte y dependencia de insumos externos, baja diversidad y alteración en los ciclos hídrico, de nutrientes y de energía) la hacen insostenible lo cual genera efectos en cascada que conllevan una gran inestabilidad ambiental que se traduce en una costosa y baja productividad, una mayor susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades y una grave problemática social, entre otros efectos, razones por las que la agricultura apremia mayor conciencia y compromiso..." (Ramírez *et al*, 1998)

4. Se halla en una zona de conflicto para nuestro país por el potencial aumento de cultivos ilícitos.

El gobierno en programas como el Plan Nacional de Desarrollo Alternativo (PLANTE, 2002), Agro-amazonía y la Agencia Internacional para el Desarrollo - AID- centraron su atención en regiones que combinan conflicto armado, baja presencia del estado, un capital social frágil y degradación ambiental como el Magdalena Medio, Putumayo, Cauca y Nariño, para impulsar el mejoramiento y desarrollo de cultivos promisorios que proporcionen estabilidad social y rentabilidad económica al sector agropecuario, en este sentido, el cultivo de la palma de chontaduro ha merecido el noble reconocimiento de ser una materia prima valiosa, primero por su ubicación en un área de conflicto social y segundo por su gran potencial de transformación y calidad agroindustrial

En este sentido, Rojas (2000), asegura que “el chontaduro es una materia prima valiosa y de gran interés industrial no solo por su versatilidad para la fabricación más compleja de diversos productos para la alimentación humana (aceites refinados, pastas, conservas y palmitos) sino también por la extracción de sustancias como las xantofilas y de otros compuestos de gran interés fitoquímico y nutricional”<sup>2</sup>. Y los propios campesinos de la zona de cuatros esquinas que reconocen, como lo hace Doña Jacinta Cabezas, que este fruto puede transformarse de manera artesanal hasta en 32 productos diferentes: galletas, chicha, encurtidos, harina, dulces, tortas, pastas, etc.

---

<sup>2</sup> Según ROJAS (2000), El 90% de la materia prima utilizada en concentrados para aves es importada. La demanda de maíz amarillo, su principal ingrediente, pasó en los últimos cinco años de 700 mil a un millón 900 mil toneladas como consecuencia de la tendencia del consumo de pollo, que durante ese mismo lapso se duplicó, pues hoy cada colombiano come 18 kilos en promedio. Esta dependencia, que sin embargo sostiene el actual crecimiento de la industria avícola, a corto plazo puede venirse al suelo por la forma como avanza el mercado internacional.

Germán Afanador investigador de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional expone que la composición nutricional del chontaduro permitiría sustituir hasta en un 50% ese maíz, superando la harina de yuca que predomina como otra alternativa. Uno de los mayores limitantes de las dietas comerciales para pollos de engorde en Colombia es el tema de la energía, componente fundamental del crecimiento y eficiencia del animal. "Las concentraciones de almidones y ácidos grasos de ciertos tipos de chontaduro nos han demostrado porqué el también llamado maíz del trópico compite con el maíz amarillo, lo que sumado a su composición de proteínas y aminoácidos y bajos factores antinutricionales ofrece una conveniente solución".

Otro potencial del chontaduro es su importante contenido de xantofilas colorantes rojos o amarillos presentes en su composición química natural, virtud oportuna en la polémica mundial sobre este tipo de aditivos, que plantea la gran necesidad de usar sustancias orgánicas para este fin, en la universidad nacional se está valorando la harina de 40 ecotipos o variedades del fruto categorizados con el fin de evaluar cómo pigmentan la piel y la yema del huevo después de su consumo sistemático por parte de los pollos.

Las cualidades mencionadas justifican el interés por fortalecer la cadena productiva de este cultivo, su transformación, aprovechamiento industrial, comercialización y exportación. Es así como desde 1990 los productores de chontaduro en el Cauca han buscado mercados para la exportación de su fruto, pero el mayor obstáculo que se presenta es que no cumplen con las condiciones necesarias para certificar los agroecosistemas de esta región como sistemas de producción 'Agroecológica' ya que su producción no avala la calidad ambiental del cultivo para merecer un 'Sello Verde', por tanto urge cambiar la mentalidad de los productores para que apropien con argumentos sólidos la urgente necesidad de fortalecer un manejo agrícola amigable con el ambiente desde el primer eslabón de su cadena productiva –*El Suelo*; enmarcando en la normatividad propuesta para el uso de buenas prácticas agrícolas.

De esta manera la estimación del recurso bioedáfico asociado al cultivo del chontaduro con herramientas como la Evaluación Ambiental y el Modelamiento del agroecosistema, permite generar un análisis holista del recurso suelo que pueda ser presentado de manera didáctica a los productores con la finalidad de que apropien el conocimiento y pueda ser éste un apoyo en la formulación de propuestas de gestión ambiental que busquen mejorar de manera integral el uso, manejo y conservación del suelo asociado a dicho cultivo para el sur del Cauca.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura ha perturbado el equilibrio del sistema edáfico alterando su fertilidad natural, lo cual irremediablemente se refleja también en la economía, seguridad alimentaria y calidad de vida tanto local, como nacional (Carrillo L., 2003). En Colombia este panorama sumado al conflicto que se vive por los cultivos ilícitos<sup>3</sup> desencadena problemas aun más complejos, pobreza, insalubridad, violencia y desplazamiento entre otros, relegándose a un segundo plano la degradación del suelo por la agricultura; mas sin embargo, hoy en día se adelantan diversas estrategias agropecuarias con el fin de generar alternativas que contribuyan con la protección ambiental y la sustitución de cultivos ilícitos en el país. En el corregimiento de Cuatro Esquinas del municipio de El Tambo - Cauca, se encontró esta grave problemática: un agroecosistema que compite por subsistir frente a la expansión de cultivos ilícitos en esta región y que por el manejo agronómico que recibe no es sostenible, ni ecológica, ni económicamente.

Los agricultores de esta zona manifiestan que la baja producción del cultivo es el problema más grave que enfrentan, pero reducen su manejo al uso indiscriminado del suelo, sin descanso, ni reposición de nutrientes y al control de sus plagas, especialmente la del barrenador del fruto del chontaduro (*Palmelampus heinrichi* sp); control que se hace con una carga irresponsable de diversos productos agroquímicos; en total 29 insecticidas del grupo de los organoclorados y los organofosforados, que presentan segundo y tercer nivel en la escala de agrototoxicidad como son el Malathion, Roxion, Tiodan, Volaton, Sevin y Lorsban, entre otros; lo cual lo ubica como un cultivo inmerso en las delicadas condiciones sociales, políticas y ambientales mencionadas.

La problemática expuesta para el cultivo del chontaduro y específicamente para el recurso edáfico del cual se abastece este agroecosistema, refleja la urgente necesidad de orientar en primera instancia a los productores y beneficiarios del cultivo a generar un manejo ecológico, que halle su base en la planificación adecuada, donde se reconozca que este manejo ha generado problemas sistémicos que afectan tanto la calidad del agroecosistema como la salud humana, la seguridad alimentaria de beneficiarios directos e indirectos (productores, consumidores y comunidades aledañas a las siembras.), la calidad del medio

---

<sup>3</sup> En nuestro país son más de 300 mil las familias de colonos y campesinos que han desplazado la agricultura convencional para dedicarse a la siembra y cuidado de cultivos ilegales, a la producción de coca, amapola y marihuana; población que es tildada como Narco-guerrilleros, que vive en una continua zozobra, no se enriquece y es continuamente fumigada (Almario, 1994).

ambiente y la armonía entre sus componentes: **Suelo-Agua-Fauna-Vegetación-Hombre**

Con base a las anteriores consideraciones y con el fin de contribuir en la construcción del conocimiento sobre la dinámica en el recurso edáfico y orientar su manejo a un sistema de producción agroecológico, esta investigación propuso la siguiente **hipótesis**:

*Desde el punto de vista sistémico el manejo del agroecosistema de chontaduro en la zona de Cuatro Esquinas (El Tambo-Cauca) ha perturbado la fertilidad del suelo; y por ende en menor escala el equilibrio en sus comunidades microbiológicas.*

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Valorar integralmente el efecto del manejo antrópico sobre la calidad del suelo y su microbiota en el agroecosistema de chontaduro (*Bactris gasipaes*. Kunth) del corregimiento de Cuatro Esquinas –El Tambo, con una visión que fortalezca procesos de gestión ambiental.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

1. Caracterizar la calidad del suelo valorando de manera integral las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del mismo.
2. Determinar el impacto ambiental que genera el manejo del cultivo de chontaduro en el recurso suelo.
3. Generar un modelo fenomenológico del agroecosistema para reconocer las interacciones que se establecen entre sus componentes.

## 4. MARCO TEORICO

*En la naturaleza todo está relacionado, árboles, plantas, animales, pájaros e insectos.  
Unos sirven a los otros de diversas maneras, como alimento o como refugio  
y ninguno puede, en el tiempo, vivir sin los otros.  
Silvestre Jaramillo*

### 4.1. ANTECEDENTES

Montilla (2000), plantea que a través de la historia se han utilizado como alimento alrededor de 3.000 especies de plantas, de las cuales menos de 200 se cultivan y comercializan a diferente escala, sin embargo, un alto porcentaje de los alimentos de nuestra dieta se obtiene de pocas especies: trigo, maíz y arroz entre los cereales; papa, batata y yuca, entre los cultivos tuberosos; guisantes, soya, maní y frijol entre las leguminosas y caña de azúcar, palma africana y plátano, entre otras; con la obtención de proteína animal ocurre lo mismo, el 95% de esta solo se obtiene de tres especies: ganado vacuno (*Bos taurus* y *Bos indicus*), porcino (*Sus scrofa*) y aves de corral (*Gallus gallus*); por ello se buscan a nivel mundial nuevas alternativas para diversificar la dieta humana.

El chontaduro se considera como un fruto promisorio, ya que diversas investigaciones proponen que presenta un gran potencial de transformación agroindustrial y una excelente calidad nutricional, imponiéndose su uso como harina, ya que es una de las mejores formas de aprovechar el fruto en la alimentación tanto humana como animal, Rojas, (2000). Cruz (citado por Mora Urpi, 1993), afirma que la harina de Pijigao posee cantidades importantes de ácidos grasos esenciales, tales como el *Acido Linoléico*. De acuerdo con Mora Urpi *et al* (1991), la harina de esta palma es una importante fuente de calorías, proteínas, hierro, calcio, vitaminas A, B1, B2, C y Niacina. Mora Urpi (1995), afirma que el fruto es esencialmente energético por su alto contenido de carbohidratos y grasas; que además tiene un alto contenido de carotenos, precursor de la vitamina A, y señala que la harina contiene 3,5 Kcal/g de energía metabolizable y un 8% de proteínas.

Brasil y Costa Rica por ejemplo son pioneros en la investigación sobre la palma de chontaduro la cual han considerado desde los años 70 como una excelente alternativa agroindustrial; en Brasil desde 1975 se ha creado el banco de germoplasma más completo de la cuenca amazónica, hoy día cuenta con 558 accesiones, base sobre la cual desarrolla todo tipo de investigación agronómica, genética, morfológica, bioquímica y nutricional, para su mejoramiento

agroindustrial y biotecnológico; no en vano es el mayor productor y consumidor de palmito a nivel mundial, así mismo en Costa Rica en el Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos-CITA, de la Universidad de San José, se estudian diversas posibilidades para embalajes plásticos y los tratamientos físicos, químicos y biológicos necesarios para transportar palmito fresco ya que éste presenta un mayor potencial de exportación que el palmito en conserva.

En el departamento del Cauca, la producción del chontaduro tiene su mayor representación en el municipio de El Tambo, donde anualmente se producen alrededor de 2.700 toneladas del fruto, las cuales se comercializan solo en 10 departamentos del país, donde en el 90% de los mercados se ofrece el fruto sin transformación agroindustrial (Funcop, 2000). En este municipio desde el año 1997 la Fundación para la Comunicación Popular –Funcop, se abrió paso en la investigación participativa para validar tecnologías orgánicas que mejoren el manejo del cultivo de la palma y sean adecuadas para la región; lográndose una propuesta de manejo agroecológico para la finca y el cultivo. De la misma manera el Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA desarrolló en el año 2003 investigaciones participativas con pequeños productores con la finalidad de adecuar las técnicas para el manejo de cosecha, poscosecha y conserva del fruto, logrando un protocolo de buenas prácticas para el chontaduro.

Sin embargo, después de casi 7 años, de 700 familias productoras, tan solo el 3.34% de la producción total se halla apenas en un estado de transición del manejo químico al orgánico, respuesta que se considera muy baja; grave problema dada la *tensión ambiental* que acarrea el manejo que tradicionalmente se da a éste cultivo en nuestra región, lo que hace pensar que hoy día aun no es claro cuánto (ambiental, nutricional y sanitariamente) vale la pena una agricultura amigable con el ambiente. Las pocas familias (25 en total) que intentan cambiar el manejo que dan a sus cultivos se agrupan en una organización comunitaria llamada Amprot, pero en la región también se destaca Cooprochonta, asociación de campesinos que con el fin de mejorar la producción y rentabilidad de sus cultivos se van fortaleciendo, este es otro de los notables resultados de la colaboración y presencia de las organizaciones mencionadas en el municipio.

En el 2004 el Fondo Colombiano para la Modernización y desarrollo tecnológico de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa –Fomipyme, el Crepic o Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca y la Universidad del Cauca lideraron la investigación denominada “Fortalecimiento Integral de la mini cadena de la palma de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth) en el departamento del Cauca”, en la cual se concluyó que el sistema edáfico que sustenta al agroecosistema de chontaduro en el Tambo tiende a la degradación, razón por la cual se desarrollo esta investigación.

## 4.2 MARCO REFERENCIAL

Hoy en día la humanidad trata de acabar con el erróneo paradigma de que nuestro planeta es fuente ilimitada de recursos naturales, materias primas y energía, pues esta concepción ha generado grandes perturbaciones ambientales que en su mayoría están relacionadas con el cambio en el uso del suelo (Monasterio *et al*, 2002). Tan sólo una parte de estos recursos es renovable y se requiere por tanto, un tratamiento cuidadoso pues toda actividad humana ocasiona sobre el entorno en que se desarrolla una alteración que lo modifica y genera tensión en su dinámica natural y aunque el medio tiene una gran capacidad de asimilación de estos impactos, se debe evitar que el uso anárquico de aquellos bienes y servicios ambientales, ya que si se rebasa esta elasticidad que nos ofrecen, su armonía y dinámica puede conllevarles a una situación catastróficamente irreversible

Por otra parte pero es de resaltar que, por esta razón no podemos ignorar que el estudio de las interacciones en los sistemas ecológicos resulta fundamental para su comprensión y conocimiento, y este, ha de emprenderse desde diferentes disciplinas de la ciencia con una concepción holística. El holismo es una doctrina que motiva el tratamiento de los organismos o sistemas como un todo más que como partes individuales, basada en una metodología epistemológica que hace hincapié en el estudio de los elementos desde su totalidad donde cada realidad es la suma de las partes que le componen y las interacciones que entre ellas se establecen.

En este sentido, la preocupación mundial ha centrado su mirada en la sostenibilidad de las prácticas agrícolas<sup>4</sup>, enfoque escogido en esta propuesta como el mejor marco teórico, ya que considera a los sistemas de producción agrícola o agroecosistemas como unidad fundamental para el estudio en el campo de la agroecología, permitiendo reconocerles en primera medida como sistemas

---

<sup>4</sup> Según el informe sobre el desarrollo mundial "la idea de sostener el planeta, sin que ello implique practicas conservacionistas indiscriminadas, ha sido una excelente metáfora para repensar el problema del desarrollo y de la pobreza a la luz de una variable clave: **El Medio Ambiente**. Ciertamente el debate sobre si *el mundo se está o no quedando sin recursos no renovables*, es tan viejo como la economía. Sin embargo, la discusión actual no está centrada en la escasez de los recursos no renovables, ya que históricamente se ha demostrado que las carencias reales o posibles se han superado gracias a los nuevos descubrimientos, sino en la forma en que se extraen y se consumen dichos recursos, es decir, en los efectos indirectos que un cierto tipo de modelo de crecimiento ha provocado obre el medio ambiente, resaltándose especialmente el modelo imperativo de la revolución verde en la agricultura donde se exige la máxima rentabilidad en un sistema, premiándose la rentabilidad a corto plazo de los sistemas económicos, mientras que la planeación a largo plazo es castigada por el análisis costo/beneficio. En este sentido el concepto de '*Desarrollo sostenible*' implica la satisfacción de las necesidades presentes, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias... Concepto que es muy útil porque recoge un conjunto de preocupaciones sobre la agricultura, concebida como un sistema de gran influencia económica, social, y ecológica..." (Banco Mundial, citado por Ramírez S., 1995).

que están formados por subunidades o subsistemas que pueden analizarse como compartimentos individuales sin perder complementariedad<sup>5</sup>.

El biólogo austriaco Ludwig Von Bertalanffy (1976), propuso comprender las realidades y problemáticas ambientales desde un punto de vista estructural y relacional, para ello se adelantó particularmente a los avances científicos de la época con el método analítico-reduccionista, atendiendo a que para el estudio de los sistemas no se concibe la posibilidad de explicar un elemento si no es precisamente en su relación con el todo, donde cada factor estudiado es un subsistema abierto que interactúa con otros de manera holística; Bertalanffy consideraba que la tarea primordial de la biología era comprender las leyes de los sistemas biológicos (a todos los niveles de organización), razonamiento denominado **Teoría General de los sistemas –TGS**, la cual propone que el estudio de las interacciones entre las partes que conforman un sistema y entre estas y su entorno, aplicando además una terminología y unos métodos de análisis que se han universalizado en todos los campos del conocimiento y están siendo usados por tecnólogos y científicos de la física, biología, y las ciencias sociales; estos conceptos incluyen términos como: Sistemas, subsistemas; entradas (inputs) y salidas (outputs), cajas negras y retroalimentación (feed-back).

La aplicación de la TGS desde la agroecología, permite una aproximación mas real del sistema a valorar, generando con la información adquirida un esquema lógico expresado en este lenguaje universal para obtener un resumen grafico de lo que comprendemos acerca del modelado de la situación; dicho modelo, o representación fenomenológica de la actividad particular que se estudia es muy útil para apropiarse de manera didáctica los resultados de una investigación y permite identificar los aspectos que necesitan de mayor información.

#### **4.2.1 La Agroecología y su núcleo de estudio el “Agroecosistema”**

Como ya se mencionó la agroecología es la ciencia en que nos ubicamos para realizar este estudio, ésta disciplina científica fija su mirada en la agricultura desde una perspectiva ecológica, ya que toma de la ecología sus principios básicos, para estudiar, diseñar, manejar y evaluar los sistemas de producción agrícola o agroecosistemas desde un punto de vista integral, incorporando dimensiones culturales, socioeconómicas, biofísicas y técnicas; es así como el resultado de

---

<sup>5</sup> Según Ramírez S. (1995), todo sistema puede describirse a través de la desagregación de su estructura y análisis de su funcionamiento, de esta manera, los agroecosistemas pueden desagregarse en sus componentes (recursos bióticos y abióticos) a distintos niveles y pueden analizarse a través de su manejo (manejo de insumos, prácticas agrícolas y tecnología) y/o a través de su desempeño (eficiencia, movimientos, flujos, reciclajes, productos, subproductos) sin dejar de lado la integralidad de sus componentes.

estudiar un agroecosistema desde este enfoque, es una concepción holística y sistémica de las interacciones que se establecen entre el ser humano, los factores abióticos y las comunidades vegetales y animales, análisis que permite orientar una producción agraria tendiente a la armonía de las leyes naturales.

La agricultura se encuentra estrechamente vinculada a su entorno, el cual no sólo actúa como su soporte o contenedor biofísico, si no, como factor productivo determinante para su desarrollo. La sustentabilidad económica de cualquier actividad agrícola está en gran medida condicionada por el impacto que ésta tenga sobre el ambiente, lo que en definitiva determina su sustentabilidad ecológica (Pagiola, 1993). La agricultura según Hernández (citado por Pagiola, 1993), es entonces la modificación consiente del medio ecológico por el hombre con el fin de auspiciar el desarrollo de las especies vegetales seleccionadas y modificadas a la vez por la constante selección del hombre, conformándose así una gran diversidad de agroecosistemas en todo el mundo.

De acuerdo con Bilenca (2000) un agroecosistema puede ser entendido como un ecosistema sometido por el hombre a frecuentes modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos, de carácter abierto (que reciben insumos del exterior y dan productos a otros sistemas), dichas alteraciones afectan prácticamente todos los procesos estudiados por los biólogos, y abarcan desde el comportamiento de los individuos y la dinámica de las poblaciones hasta la composición de las comunidades y los flujos de materia y energía y además de ser un proceso generador de cambios intensos, el establecimiento de agroecosistemas es un fenómeno ampliamente extendido. (Altieri y Yurjevic, 2000; Astudillo y Salazar, 1998; Schauberger, 1999; Hecht, 1997 y Hernández, 2003; entre otros).

Los agroecosistemas están compuestos de manera general por cuatro grandes elementos: comunidad biótica, suelo, aire y agua, los cuales se relacionan directamente con la estabilidad y productividad del mismo; el entendimiento e identificación de dichos componentes, de su estructura y de la función que desempeña cada uno de ellos es fundamental para planificarlos desde un manejo que sea responsable frente a su dinámica y sostenimiento, ya que las alteraciones ambientales<sup>6</sup> que generan los agroecosistemas se acentúan debido a la aplicación tecnologías y modelos de explotación no acordes con las condiciones ecológicas

---

<sup>6</sup> Todo sistema agrícola y pecuario implica la perturbación de un sistema natural que tiene reglas y límites de operación; la magnitud del impacto que causa depende de las condiciones ecológicas originales, de la superficie afectada y del grado de artificialización al que se someta el sistema, ya que dicha transformación aumenta significativamente la dependencia de insumos externos para el sostenimiento del mismo y disminuye proporcionalmente la capacidad sustentadora del mismo. (Labrador, 1996)

en las que se desarrollan. Según Ramos y Hernández (2002), las diferencias básicas entre ecosistema y agroecosistema son:

1. Los sistemas agrícolas se asemejan a fases incipientes en la sucesión de los ecosistemas naturales.
2. Se produce un rejuvenecimiento de niveles tróficos inferiores.
3. Los sistemas agrícolas tienden a la simplicidad, reduciendo la diversidad.
4. Los sistemas agrícolas tienden a afectar los mecanismos reguladores.
5. Por lo anterior dichos sistemas presentan más dificultades para aumentar en complejidad.
6. Además los desequilibrios pueden alcanzarse con mayor facilidad, existiendo la posibilidad de regresiones a niveles inferiores de organización (degradación irreversible).

Los agroecosistemas son sistemas artificiales ya que son dirigidos, orientados y manipulados por el ser humano, en ellos el hombre reemplaza algunos recursos nativos por otros que permiten obtener una mayor productividad de los recursos, lo que supone la alteración del equilibrio y la elasticidad original de aquéllos sistemas naturales (Gliessman, 1985; citado por Altieri, 1998), de manera tal que, el establecimiento de un agroecosistema implica la simplificación de la estructura del medio ambiente, reemplazando la diversidad natural según sus intereses y necesidades por un número reducido de plantas y/o animales que se domestican y cultivan. Son sistemas dinámicos que están sujetos a niveles diferentes de manejo, así la secuencia de los cultivos en el tiempo y el espacio están cambiando continuamente a la luz de los factores biológicos, culturales, socioeconómicos y ambientales a los que se somete dicho ecosistema (Altieri, 1999).

Ahora bien, la producción agraria no sólo es resultado de las presiones ambientales, sino también, de las relaciones sociales, culturales y económicas que determinan el grado y el carácter de la manipulación o artificialización de los ecosistemas naturales, estos sistemas de producción agrícola artificiales, tienen varios grados de resiliencia y estabilidad, dado que no están estrictamente determinados por factores de origen biótico o ambiental. Factores sociales, tales como el cambio en el régimen de tenencia de la tierra, el tamaño de la familia, las obligaciones de parentesco, las oscilaciones en los precios, etc. pueden afectar a los sistemas agrícolas tan decisivamente como una sequía, plagas o disminución de los nutrientes del suelo (Primavesi, 1996). Mas sin embargo, según Altieri (1996), los sistemas de producción agrícola pueden clasificarse de acuerdo al grado de transformación que se realice del ecosistema natural del cual se origina:

- A. **Agroecosistemas Tradicionales;** aquellos encaminados a la producción de más de autoconsumo y bienestar básico, se caracterizan por presentar una variedad de especies de plantas y de animales representadas por un número relativamente pequeño de organismos individuales y que emplea al máximo los recursos naturales a través del uso y manejo tradicional, basado en el trabajo familiar.
- B. **Agroecosistemas Agroindustrializados**<sup>7</sup>: son aquellos sistemas productivos se presentan altamente transformados, ya que se basan en una pequeña variedad de especies animales o vegetales e implementan diversas tecnologías agrícolas<sup>8</sup> con el único objetivo de incrementar al máximo su producción, dichos métodos y técnicas requieren una gran modificación del ambiente, un mayor consumo de insumos externos al sistema, generándose una mayor especialización del cultivo, una inversión económica y un gasto energético mayor.

Los agroecosistemas conformados por unidades bien gestionadas generan un intercambio de energía que adquiere diversas formas y contenidos, como son materias primas, alimentos y herramientas entre otros bienes y servicios, que se aprovechan para el abastecimiento general de los agricultores, su desarrollo económico, la satisfacción de sus necesidades vitales y su calidad de vida, enmarcándose la importancia de su estudio desde un punto de vista social y la gran necesidad de adquirir conocimientos científicos y técnicos que permitan un manejo ecológico sostenible de sus componentes para asegurar su sostenimiento a largo plazo.

## **Propiedades de los Agroecosistemas**

Según Hünne Meyer citado por Altieri (1997), y teniendo en cuenta las opiniones de otros autores, determina que la sostenibilidad de un agroecosistema tanto tradicional como agroindustrializado puede caracterizarse por cuatro propiedades básicas:

---

<sup>7</sup> Este tipo de agroecosistema a diferencia del tradicional, poco o nada contribuye con el mantenimiento y mejoramiento de la base de los recursos naturales ya que con miras a lograr una mayor eficiencia y alto rendimiento de sus cultivos, no toma en cuenta un equilibrio en el uso de los elementos de la naturaleza, ni trata de reducir el peligro que al medio ambiente ocasiona el uso de insumos, técnicas y mejoras artificiales. (World Bank 1992).

<sup>8</sup> "Jiménez, R. (1998). Se entiende como tecnología la habilidades (técnicas) que el hombre a desarrollado tanto empírica como científicamente con el objeto de hacer producir la tierra, ya sea para su subsistencia o para obtener redituabilidad de ella, quedando claro que la tecnología queda determinada tanto por el medio ecológico como por la componente social".

- ✓ **Productividad.** Relación entre los productos de un sistema y los insumos para esta producción.
- ✓ **Estabilidad.** Grado al cual la productividad se mantiene constante, enfrentando distorsiones pequeñas causadas por fluctuaciones del clima y de otras variables ecológicas y económicas.
- ✓ **Resiliencia.** Capacidad de recuperación del sistema de distorsiones causadas por fuerzas externas, por el estrés continuo o por una perturbación mayor.
- ✓ **Equidad.** Distribución equitativa de los beneficios y riesgos generados por el manejo del sistema.

Con base en lo anterior, uno de los principales objetivos del análisis ecosistémico es la predicción de respuestas del sistema al manejo, y en este caso específico el análisis de la respuesta que genera el agroecosistema (de manera general) y cada uno de sus componentes (los cuales pueden ser también estudiados cada uno por separado como un subsistema, de manera específica), al manejo antrópico, a la contaminación y a otras formas de disturbio, basado en la interacción de las partes componentes del sistema.

En función del tipo de respuesta del sistema a un disturbio externo Aber y Melillo, citados por Primavesi (1996), se manejan tres términos generales: **Resiliencia, Resistencia y Estabilidad**. Holling 1973, fue quien propuso la idea de resiliencia como término técnico en el campo de la Ecología y actualmente este concepto es utilizado en una gran variedad de trabajos interdisciplinarios concernientes con las interrelaciones entre sociedad y naturaleza, además, Holling define la resiliencia como “la capacidad de un sistema a estar sometido a un disturbio y mantener sus funciones y controles” y por otro lado, Pimm (1984, en Carpenter *et al* 2001) la define como “la habilidad del sistema de resistir un disturbio y la proporción con la cual regresa al equilibrio anterior al disturbio”.

La Resiliencia presenta tres propiedades básicas:

- a) La cantidad de cambio que el sistema puede soportar (e implícitamente, por lo tanto, la cantidad de fuerza extrínseca que el sistema puede sostener) y aún permanecer en el mismo dominio (es decir retener el mismo control sobre las funciones y la estructura).
- b) El grado al cual el sistema es capaz de auto-organizarse (versus falta de organización u organización forzada por factores externos).
- c) El grado al cual el sistema puede construir su capacidad de aprender y adaptarse.

La capacidad adaptativa es un componente de la resiliencia que refleja el aspecto de aprendizaje del comportamiento del sistema en respuesta al disturbio. A diferencia de la sustentabilidad, la resiliencia puede ser deseable o indeseable (Carpenter *et al*, 2001). El concepto de resiliencia, es decir, de estabilidad-elasticidad que se aplica a varias jerarquías ecológicas, explica cómo algún factor de disturbio modifica la respuesta del estado actual para regresar, en lo posible, al estado original, o para permanecer con una tasa variable, en tiempo y espacio, dentro de los límites de dominio de estado

Carpenter *et al.* (2001) distingue además tres tipos de resiliencias:

- ❑ **Resiliencia ecológica**, “Cantidad de cambio que un sistema puede soportar y aún mantener el mismo estado o dominio de atracción, ser capaz de auto-organizarse y poder adaptarse a las condiciones cambiantes”;
- ❑ **Resiliencia de ingeniería**, “Una medida de la proporción a la cual el sistema se acerca a un estado estable después de una perturbación, también medido como el inverso del tiempo de regreso”, hace la aclaración que este tipo de resiliencia constituye la medida menos apropiada en ecosistemas y otros sistemas que presentan múltiples estados estables, y
- ❑ **Resiliencia social**, “habilidad de las comunidades humanas de aguantar choques externos o perturbaciones a su infraestructura, como la variabilidad ambiental o social y sublevaciones económicas o políticas y reponerse de estas perturbaciones.

La vulnerabilidad es el concepto opuesto a la resiliencia: cuando un sistema social o ecológico pierde resiliencia se vuelve vulnerable al cambio que previamente podría absorber. En un sistema resiliente, un cambio tiene el potencial de crear oportunidad para el desarrollo o innovaciones. En un sistema vulnerable, incluso los cambios más pequeños son devastadores, es así como un ecosistema resiliente puede contener grupos funcionales con varias especies que llevan a cabo funciones similares, pero responden de manera diferente a los cambios ambientales. En áreas alteradas donde se ha reducido la biodiversidad, favoreciendo los monocultivos, la capacidad de los ecosistemas de mantener a la sociedad con bienes y servicios se vuelve más vulnerable a disturbios y cambios ambientales, sociales y políticos (Folke *et al.* 2000; citado por Carpenter 2001).

#### **4.2.2 El suelo en los sistemas de producción agrícola**

Con el esbozo general de este eje referencial nos adentramos en el tema de estudio “El subsistema edáfico asociado al cultivo del chontaduro” reconociéndole en primera medida como un cuerpo natural posible de estudiarse bajo el enfoque

propuesto (TGS) como un subsistema abierto, del que su modelado contribuirá particularmente a reconocer la fragilidad, dinámica y respuesta de su exposición en los sistemas de producción agrícola.

Según Bolaños (2002), el suelo es un recurso natural que sirve como base para el desarrollo agrícola, de una región o país, en este biotopo tienen lugar el reciclaje de numerosos elementos biogeoquímicos importantes en el buen desarrollo de la vida que sustenta, y además, de productos que podrían acumularse como sustancias tóxicas o agentes contaminantes del ambiente.

La ciencia del suelo pretende entender su naturaleza y su papel en la dinámica de la biosfera. Junto con el agua y la diversidad genética, el suelo es el principal recurso para la agricultura, sin embargo, el aumento creciente de la población ejerce presión y disminuye la posibilidad de utilizar estos recursos de manera sostenible. Quizás, esta es la causa para que en áreas extensas del mundo se dé un uso inadecuado del suelo, generando su degradación. En Colombia, más del 70% de la población se encuentra en la zona andina, lo cual contribuye a que en las laderas, el problema de suelos degradados sea aún más grave (Maino, 2001).

Este biotopo, prácticamente ignorado es un sustrato básico para el desarrollo de la vida terrestre, está formado por una mezcla compleja de materiales orgánicos y minerales, sobre los cuales los organismos desencadenan interacciones dinámicas. Como un sistema complejo, el suelo consiste de componentes sólidos irregularmente fragmentados y de fluidos como el agua y el aire que ocupan los poros del suelo. En la formación de los suelos intervienen factores como el material parental, el clima, los organismos, el relieve y el tiempo. A partir del material parental comienza la meteorización o transformación de las rocas, luego los organismos vivos actúan en ese material y se inicia una diferenciación de capas cuyo espesor puede variar desde pocos milímetros hasta varios metros.

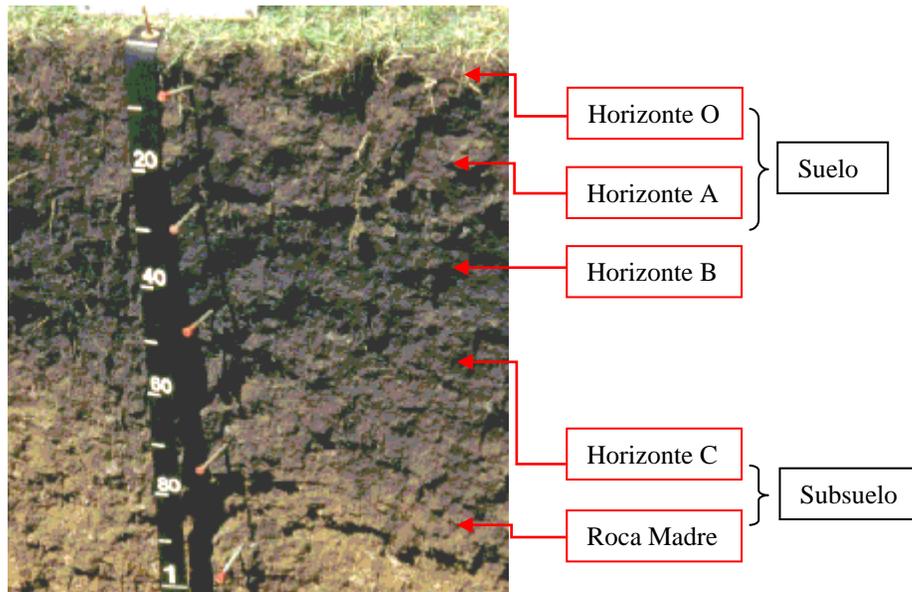
Las características de un suelo dependen del tipo de procesos que den lugar a su formación y de la intensidad con que actúen los factores formadores. Algunas de las características de un suelo se pueden observar cuando se hace un corte vertical en un terreno, sobre el cual se diferencian unas capas llamadas horizontes, el conjunto de horizontes forman el perfil del suelo<sup>9</sup>. En un suelo

---

<sup>9</sup> El *perfil del suelo* es el conjunto de las capas o estratos denominados *horizontes* en que se divide la estructura vertical del suelo. En el caso de las tierras agrícolas que nos interesa estudiar, el perfil del suelo útil abarca solamente hasta aquella capa u horizonte que ya no puede ser alcanzada por las raíces de las plantas, esta área es conocida como **rizósfera** y corresponde en el perfil del suelo al espacio colonizado por las raíces de las plantas y los microorganismos, está compuesto por una serie de elementos y partículas minerales de diferentes tamaños y propiedades (Labrador, 1996).

maduro se encuentran los horizontes O, A, B y C, (**Figura 1.**). Para alcanzar ese grado de evolución, en algunos casos se necesitan varios siglos.

**Figura 1.** Horizontes y perfil del suelo



### **Funciones del suelo:**

1. El suelo contribuye con el reciclaje de recursos como la energía, el agua, los gases y los elementos biogeoquímicos o nutrientes; participando activamente de las interacciones que entre ellos se establecen.
2. Suministra agua, nutrientes<sup>10</sup> y anclaje a las plantas y oxígeno a las raíces, respondiendo a estas necesidades de las comunidades vegetales
3. Las personas habitan en su superficie dándole usos tanto agrícolas como no agrícolas

Bolaños (2002); sugiere que la degradación del suelo se refiere a la pérdida de su potencial productivo, el cual puede ser contemplado desde sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas. Dicha pérdida del recurso, de alguna de sus características originales implicadas en el desarrollo de sus funciones dentro del ecosistema, genera por tanto, un riesgo o daño al medio ambiente. El suelo, difícilmente está en equilibrio, pues muy a menudo sufre alteraciones por

<sup>10</sup> De los dieciséis elementos normalmente considerados necesarios para la mayoría de las plantas estas obtienen trece del suelo; el carbono, el oxígeno y el hidrógeno provienen del aire, las comunidades vegetales absorben los nutrientes disueltos en el agua del suelo (solución del suelo) por un proceso activo que lleva los nutrientes hacia las células radicales. (Burbano, 2004).

fenómenos de expansión y contracción, humedecimiento y secado, compactación y agregación, acumulación de iones intercambiables, sales precipitadas y solubles. A pesar de todos estos procesos que suceden al interior de un suelo, en condiciones naturales se mantiene el equilibrio. Sin embargo, éste puede dañarse cuando por la actividad antrópica, se desconocen sus propiedades y componentes, como sucede con la aplicación reiterada de agroquímicos, la labranza excesiva, la mala calidad de las aguas para riego, etc (Labrador, 1996).

**Degradación Biológica:** en suelos no disturbados se mantiene un equilibrio entre todas las poblaciones de organismos, pero algunas prácticas como la deforestación, las quemas y la labranza intensiva inician la degradación biológica de este recurso, el problema se acentúa con el uso de agroquímicos (herbicidas, fertilizantes, correctivos y plaguicidas) que alteran el medio ecológico del suelo y lo hacen impropio para el desarrollo de muchas especies de organismos (Sánchez, 1999).

En regiones tropicales la pérdida acelerada de la materia orgánica, después de la deforestación, es la mayor causa de la pérdida en la productividad de los suelos (**Tabla 1**), la cual conlleva a cambios negativos en la diversidad y cantidad de poblaciones de organismos, disminución en la estabilidad estructural o bioestructura del suelo conferida por los agregados formados por las exudaciones y secreciones de microorganismos y las partículas del suelo, y la pérdida de potencial en la restitución de elementos nutritivos, a medida que la materia orgánica se descompone (Sánchez, 1999 y Amézquita, 1992).

**Tabla 1.** Principales problemas de degradación biológica en suelos de Colombia

Tipo	Causa	Posible solución
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida acelerada de Materia Orgánica.</li> <li>• Desequilibrio biológico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tala</li> <li>• Exceso de labranza</li> <li>• Uso de biocidas</li> <li>• Desconocimiento del potencial benéfico de la biología del suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar fragilidad del ecosistema.</li> <li>• Prácticas de incorporación y mantenimiento</li> <li>• Control biológico, manejo integrado de plagas y enfermedades.</li> <li>• Uso sostenible del recurso, biofertilización, aplicación racional de agroquímicos.</li> </ul>

Fuente: Amézquita, 1992.

**Degradación Química:** la principal causa de la degradación química en Colombia está determinada por el creciente incremento del área de suelos afectados por sales y por la mayor intensidad con que la salinidad se presenta en áreas que ya estaban afectadas. Según Amézquita (1992), en la **Tabla 2**, se presentan las

causas y las posibles soluciones que servirían para controlar y recuperar dichas áreas.

El problema de la salinidad, desde el punto de vista agrícola está en el elevado potencial osmótico que originan las sales en el suelo. Un suelo afectado por sales es por ello seco para las plantas y en estados muy avanzados de sodificación puede llegar a causar la deshidratación y muerte de plantas susceptibles. La disminución en rendimiento de los cultivos en suelos con sales, es fisiológicamente debido a sequedad química (osmótica) del suelo (Amézquita, 1992).

**Tabla 2.** Principales problemas de degradación química en suelos de Colombia

Tipo	Causa	Posible solución
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salinidad.</li> <li>• Desbalance catiónico.</li> <li>• Acidificació</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clima.</li> <li>• Mal manejo de aguas.</li> <li>• Mal manejo de la fertilización.</li> <li>• Exceso de fertilización nitrogenada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de aguas de buena calidad.</li> <li>• Uso de lámina adecuada.</li> <li>• Drenaje.</li> <li>• Prácticas de labranza que propicien mayor filtración</li> <li>• Cultivos tolerantes.</li> <li>• Fertilización basada en los requerimientos nutricionales del cultivo y en el análisis del suelo</li> <li>• Aplicación de fuentes adecuadas.</li> </ul>

Fuente: Amézquita, 1992.

**Degradación Física:** uno de los procesos de degradación física es la erosión, esta consiste en el desprendimiento y arrastre acelerado de partículas de suelo. Puede ser hídrica o eólica, la primera es más frecuente en zonas húmedas y en terrenos pendientes y la erosión eólica causa mayores daños en regiones secas y sobre terrenos planos.

En varios ecosistemas colombianos se ha presentado disminución de la productividad. Estudios adelantados en suelos cultivados con café indican que la aplicación indiscriminada y reiterada de agroquímicos y de biocidas ha disminuido la biota edáfica, ésta también se afecta cuando el suelo permanece descubierto y/o cuando predominan monocultivos (**Tabla 3**). Si se desea incrementar el potencial productivo de un suelo se debe partir del conocimiento de sus propiedades y componentes. Dentro de éstos, el componente biorgánico es fundamental en los procesos de mineralización de la materia orgánica y en la inmovilización (proceso mediante el cual los organismos incorporan nutrientes para sus funciones vitales).

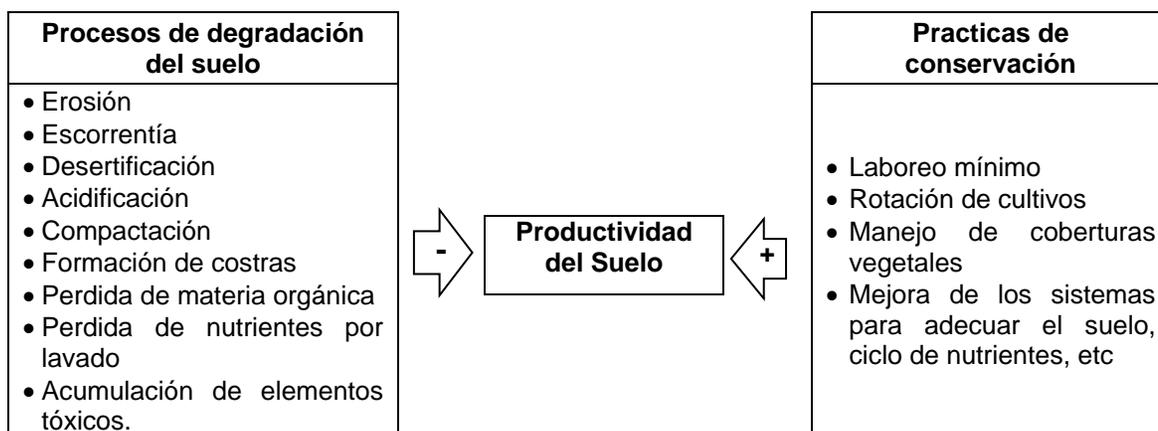
**Tabla 3.** Principales problemas de degradación física en suelos de Colombia

Tipo	Causa	Posible solución
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de estructura y compactación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso indebido de maquinaria (exceso).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de sistemas adecuados de labranza.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceso de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lluvias.</li> <li>• Baja infiltración.</li> <li>• Compactación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenaje interno y superficial.</li> <li>• Labranza adecuada.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agresividad de lluvias.</li> <li>• Susceptibilidad de suelos.</li> <li>• Mal distribución de cultivos.</li> <li>• No se usan prácticas de conservación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de energía de lluvias, producción de mapas.</li> <li>• Estudio sobre erodabilidad de suelos.</li> <li>• Aplicación de prácticas de conservación en cuencas y microcuencas.</li> <li>• Concientización.</li> </ul>

Fuente: Amézquita, 1992.

El suelo es considerado como un sistema frágil que debe ser cuidado y protegido para asegurar su productividad y estabilidad a largo plazo. Además, es un componente clave de sostenibilidad agrícola. Los problemas más serios que afectan la sostenibilidad del suelo son la erosión, y la pérdida asociada de nutrientes, y el agotamiento de la materia orgánica y en este sentido, son los residuos orgánicos los que mejor ofrecen la posibilidad de restaurar la productividad del suelo, en la **Figura 2**. Se muestra la relación entre algunos de los procesos de degradación citados y los benéficos efectos de buenas prácticas de conservación; el componente vital en el equilibrio dinámico que muestra dicha figura es la materia orgánica del suelo, la cual se debe mantener y reponer continuamente mediante la diversificación.

**Figura 2.** Relación entre procesos de degradación y buenas prácticas de manejo



## Selección de indicadores de calidad del suelo

La calidad de los suelos se define tomando en cuenta sus propiedades intrínsecas, así como su capacidad productiva y de amortiguadores ambientales. En este sentido Astier *et al*, (2002), propone un marco para obtener indicadores de calidad de suelos que parte de:

- i) Utilizar tres atributos ambientales de sustentabilidad, productividad, resiliencia y estabilidad;
- ii) Caracterizar el sistema de manejo, en términos de escalas espacial y temporal del análisis;
- iii) Identificar los puntos críticos en el agroecosistema estudiado.

De esta forma se obtiene un marco conciso y coherente para la medición de calidad de suelos sin generar largas listas de indicadores. A menudo lo que ocurre con los científicos es que toman los indicadores edáficos y realizan análisis que frecuentemente están poco integrados, ya que evalúan los procesos edafológicos de manera aislada.

Según Astier *et al*, (2002), el concepto de calidad de suelos ayuda a resolver el problema anterior, ya que integra e interconecta los componentes y procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo en una situación determinada. Carpenter *et al*, (2001), afirma en su documento que en años recientes diversos autores han escrito acerca de la calidad del suelo (Papendick y Parr, 1992; Doran *et al*, 1994; Karlen *et al*, 1997), y sobre las formas de medición y utilización de sus indicadores (Arshad y Coen, 1992; Doran y Jones, 1996; Hartemik, 1998; Etchevers, 1999), también lo han hecho instituciones como la Fundación Kerney y The Soil Quality Institute SQT, la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo – SCCS, entre otras), que tienen como objetivo principal investigar y promover la conservación y mejoramiento de la calidad de los suelos.

En la agricultura sustentable, un punto esencial para aplicar el concepto de calidad de suelos es generar estrategias de análisis que den coherencia al concepto y reduzcan el número de indicadores. Es común que se usen más indicadores que los requeridos, y que éstos sean seleccionados de forma sesgada según la disciplina del investigador que los propone (Astier *et al*, 2002). Atributos como Estabilidad y Resiliencia ya mencionados, están estrechamente asociados a puntos críticos como la pérdida de los suelos (procesos de erosión) y la degradación de las propiedades biológicas, químicas y físicas; éstos, a su vez, se traducen en indicadores como la cantidad de suelo erosionado, la cantidad de

carbono orgánico, la tasa de infiltración, el grado de resistencia a la penetración y el nivel de agentes patógenos.

Esta investigación tiene por eje fundamental la importancia del concepto de calidad de suelos propuesta dentro del marco de la agricultura sustentable y sugiere como herramientas para su medición, la integración en el análisis de algunas de las características físicas químicas y biológicas más relevantes al hablar de la calidad del suelo, por tanto según Astier *et al*, (2002), se afirma que el componente biológico está íntimamente relacionado con las propiedades físicas y químicas del suelo.

Baver (1972), citado por Montenegro en SCCS (2000), lo expone de la siguiente manera “las características del suelo son la clave para su fertilidad, obviamente, existe una íntima relación entre las propiedades químicas, físicas y mineralógicas del suelo y de éstas a su vez con el componente biológico, interacción que determina entre otras cualidades la productividad de los suelos” (en la **Tabla 4**, se exponen las propiedades físicas y químicas del suelo más relevantes para su análisis). Por lo tanto, el término de calidad de suelo puede referirse también gracias a esta íntima relación como fertilidad del suelo o salud del suelo, en este sentido *fértil* debe definirse de manera más comprensiva e integral, como aquel suelo que conserva las propiedades físicas, químicas, y el componente biótico en una interacción armoniosa, mientras que abastece adecuadamente de agua y nutrientes y provee sostén mecánico para las plantas de un agroecosistema (Primavesi, 1996).

**Tabla 4.** Propiedades físicas y químicas del suelo

Las propiedades físicas	Las propiedades Químicas
1. Color	1. Ph
2. Textura	2. Materia orgánica
3. Estructura	3. Relación C/N
4. Porosidad	4. Capacidad de intercambio catiónico
5. Humedad	5. Capacidad de intercambio aniónico
6. Densidad	6. Disponibilidad de Macro nutrientes N, P, K, S, Ca y Mg
7. Aireación	7. Disponibilidad de Micro nutrientes Cu, Mn, Fe, Zn y B

Según Astier *et al*, (2002), si se va a utilizar el referente de la calidad del suelo para valorar este sistema, es importante elegir indicadores que den información integral sobre sus propiedades, la productividad biológica y la calidad del ambiente circundante, sin embargo los reportes más recientes acerca de calidad del suelo sólo consideran el aspecto relacionado con sus propiedades físicas y/o químicas, y utilizan una extensa lista de indicadores de estas características (carbono orgánico, conductividad eléctrica, pH, estructura, textura, nitrógeno mineralizable,

caciones intercambiables, fósforo disponible, densidad aparente, y tasa de infiltración hídrica, entre otros); pero son pocos los investigadores que gracias al enfoque holista de la agroecología, plantean a los microorganismos del suelo como bio-indicadores<sup>11</sup>, que miden de manera directa la calidad del suelo interactuando claro está estrechamente con las propiedades físico-químicas del mismo.

Un bio-indicador de calidad del suelo se concibe como una herramienta de medición que debe dar información sobre sus propiedades, procesos y características. Killham (1995), propone una lista de condiciones que deben cubrir los indicadores de la calidad del suelo. Éstos deben:

- ❖ Ser descriptores de procesos en el sistema edáfico.
- ❖ Integrar propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos en el suelo.
- ❖ Ser accesibles a los diferentes usuarios y aplicables en diversas condiciones de campo.
- ❖ Ser sensibles a las variaciones de manejo y de clima.
- ❖ Provenir de bases de datos reales.

Para llevar a cabo la valoración de un sistema, es decir un “Monitoreo Biológico”, o seguimiento con el objeto de conocer su calidad, Odum (1981), sugiere el uso de las especies "Esteno", ya que les considera como organismos que son mucho mejores indicadores que las especies "Euri"<sup>12</sup>, en este sentido, al intentar asociar la interacción de los componentes bióticos con la dinámica de los agroecosistemas, se obtiene que para reconocer la calidad del suelo y definir los procesos que desarrolla un ecosistema sujeto al efecto de la contaminación por ejemplo; los microorganismos del suelo son los organismos que más fácilmente

---

<sup>11</sup> **Bioindicador:** o un indicador biológico es considerado como aquel, cuya presencia y abundancia señala el estado del sistema en el cual habita, en especial si lo que se busca es el manejo del recurso. Un contaminante o cualquier otro evento particular que perturbe las condiciones iniciales de un sistema provocarán una serie de cambios en los organismos, cuya magnitud dependerá del tiempo que dure la perturbación, su intensidad y su naturaleza, dicha acción puede ser indirecta (cambios en el medio) o directa (ingestión o impregnación).

<sup>12</sup> Odum (1981), Los organismos dependen para poder sobrevivir de ciertos elementos o condiciones mínimas, sin las cuales no podrían subsistir, entre estas condiciones se destaca como mínimo la presencia de elementos como Boro, Hierro, Zinc, Yodo, a dichas cantidades mínimas de estos elementos se les conoce como compuestos traza, así como se valoran como mínima la presencia de ciertas condiciones ambientales como oxígeno, temperatura y humedad. Frente a este concepto los organismos pueden tener un amplio margen de tolerancia para un factor y un margen estrecho para otro factor; aquellos organismos que presentan amplios márgenes de tolerancia para todos los factores son los que tienen mayor probabilidad de estar extensamente distribuidos y mayor probabilidad de supervivencia, estos organismos se conocen como organismos **Euri** donde son amplios los márgenes de tolerancia, y se denomina **Esteno** a aquellos organismos que presentan márgenes de tolerancia estrechos; condiciones que permiten la valoración biológica del sistema al que pertenecen.

permiten reconocer su comportamiento y la relación de su composición con las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo (Killham, 1995).

Los microorganismos del suelo son una herramienta muy nueva y pionera en la interpretación ecológica del componente edáfico, porque permiten tipificar la biota del ecosistema afectado mediante la observación de sus cambios estructurales en el tiempo y en el espacio, y permiten además, evaluar la vulnerabilidad del sistema mediante la tolerancia de las especies a las fluctuaciones naturales u ocasionadas por las diferentes actividades antrópicas (Resistencia), y su capacidad de recolonización (Elasticidad). Son además usados como indicadores porque su periodo de estadía en el suelo es suficientemente como para ser afectados por las condiciones de la calidad del suelo. Además, están relativamente inmóviles; son fáciles de monitorear y tienden a formar comunidades características que se asocian a condiciones físicas y químicas muy particulares (Kilbertus y García, 2001).

#### **4.2.3 La microbiota del suelo**

En la tarea de comprender el funcionamiento y dinámica del suelo para su estudio y modelado, Burbano (1989 y 2004) plantea que el componente biótico ha mostrado ser de gran relevancia, ya que a manera de eslabón contribuye con la formación de un complejo de interacciones internas entre los componentes del suelo y los del ecosistema; otros autores como Bunge (1994), García (1998) Bilenca (2000), Kilbertus y García (2001) al igual que Burbano, destacan de entre los componentes bióticos del suelo a la población microbiana como el mejor indicador para su estimación, ya que es la encargada de sustentar las diferentes funciones del suelo, por lo cual una alteración en las propiedades globales del recurso (por cambios de cobertura vegetal, practicas de manejo, uso u otro tipo de acción antrópica) puede desencadenar notables cambios en su comportamiento.

Según Killham (1995), La población de microorganismos del suelo vive en aquello que a menudo se describe como un “equilibrio inestable” –un estado en el cual al mismo tiempo cada individuo se equilibra con su vecino pero en el cual los cambios en las condiciones del medio conducen a cambios en el equilibrio. Cuando el suelo se mantiene sin disturbar y bajo condiciones constantes, la variabilidad diaria en el equilibrio es pequeña, principalmente, por la escasez de fuentes de energía. Cuando se establecen plantas en este medio, la situación para los microbios cambia drásticamente, porque las plantas están entre los principales a portadores de nutrientes al suelo. Por tanto no es raro, que la población microbiana explote esa abundancia, particularmente en la región radicular, llamada ***rizósfera***.

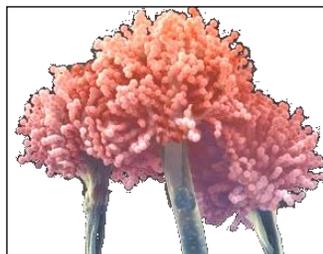
Gracias al descubrimiento de la diversidad y la relevancia del mundo microbiano, surge la posibilidad de aplicar conceptos nacidos originalmente para la biología de macroorganismos a este nivel. Asimismo la complejidad de estos microecosistemas generó la necesidad de crear nuevos conceptos o ampliar los preestablecidos, en un intento por describir más fehacientemente las interrelaciones que ocurren a nivel microscópico. La mayoría de los microorganismos que viven en el suelo juegan un papel indispensable en el mantenimiento de la vida sobre este planeta; el suelo contiene una gran variedad de microorganismos los más importantes son (Brock y Madigan 1991):

**Bacterias:** En general, son el grupo más numeroso en el suelo ya que resisten condiciones secas y pueden sobrevivir en suelos desérticos, los géneros más comunes son: *Nocardia*, *Arthrobacter* y *Streptomyces*. Las bacterias del género *Streptomyces* además de producir antibióticos, producen metabolitos llamados geosminas las cuales dan al suelo su olor característico; otro grupo común de bacterias heterotróficas del suelo es el *Myxobacteria* que son pigmentadas y forman masas brillantemente coloreadas; bajo condiciones de inanición se agrupan para formar complejos cuerpos fructificantes macroscópicos, los cuales contienen esporas que pueden sobrevivir en condiciones pobres de nutrientes. En la **Foto 1**, se observa una bacteria de vida libre en el suelo.

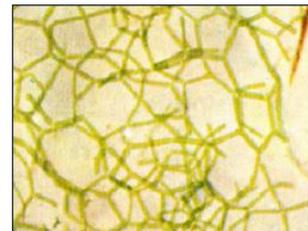
**Hongos:** Los géneros de hongos varían con el tipo de suelo y sus propiedades fisicoquímicas, algunos son de vida libre y otros como las Micorrizas, en forma simbiótica con las raíces de plantas; son comunes especies de los géneros *Candida*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Mucor*. Algunos hongos son importantes patógenos de plantas atacando trigo y maíz entre otros; los hongos del suelo son extremadamente importantes en la descomposición de la materia orgánica del suelo, degradando y utilizando macromoléculas complejas tales como celulosa y lignina. La **Foto 2**, presenta los esporangios de un hongo del suelo.



**Foto 1.** *Rhodospirillum*  
En: Carrillo, 2003



**Foto2.** Hongo del suelo  
En: Carrillo, 2003



**Foto 3.** Algas Clorofíceas  
En: Carrillo, 2003

**Algas:** Debido a que las algas dependen de la luz solar y de la fotosíntesis para proveer sus necesidades energéticas, viven cerca de la superficie del suelo, la población algal disminuye en períodos de oscuridad o de baja temperatura, las algas son una fuente de nutrientes para un número considerable de habitantes del suelo, incluyendo protozoarios, hongos, lombrices de tierra y nematodos. En suelos áridos, son comunes los líquenes, que son una simbiosis de alga-hongo. La **Foto 3**, muestra algas presentes en la interface liquida del suelo.

**Protozoarios:** Son encontrados en la mayoría de los suelos en una densidad de 10<sup>4</sup> a 10<sup>5</sup> organismos por gramo de suelo. Generalmente se encuentran cerca de la superficie debido a que requieren oxígeno. Los Protozoarios son predadores de algas y bacterias del suelo. En la **Foto 4**, se observan paramecios típicos del suelo.

**Actinomicetos:** Son organismos que se asemejan a hongos pero son realmente son bacterias filamentosas. Carecen de núcleo pero crecen formando filamentos multicelulares como los hongos. En el compostaje desempeñan un papel importante ya que degradan compuestos orgánicos complejos, tales como la celulosa, lignina, quitina y proteínas. Sus enzimas les permiten degradar químicamente los desechos duros como por ejemplo: cortezas, tallos, troncos, raíces, papeles. La **Foto 5**, detalla la secreción de antibióticos en un cultivo de actinomicetos del suelo. Este tipo de microorganismos se encuentran principalmente en suelo neutros y son los causantes del olor característico de suelo a “tierra buena” por la producción de geosminas, sustancias de carácter aromático,



**Foto 4.** *Paramecium* sp  
En: Carrillo, 2003



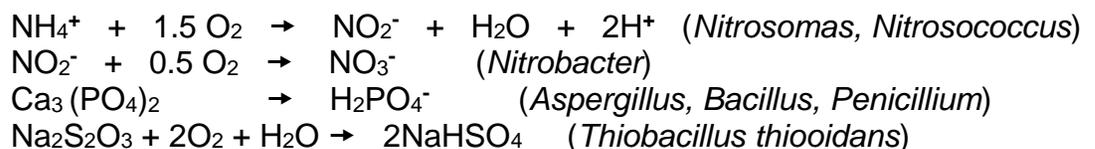
**Foto5.** Actinomicetes  
En: Carrillo. 2003

Los microorganismos del suelo, aparte de suministrarle una buena cantidad de biomasa al mismo y causar en algunos casos problemas fitosanitarios en cultivos, intervienen activa y directamente en los ciclos biogeoquímicos del carbono-C, nitrógeno-N, fósforo-P, calcio-Ca, magnesio-Mg, potasio-K y azufre-S, elementos considerados como nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Según Markham y Bazin (citados por Salamanca *et al*, 1998) encontraron que frente al aporte que hace la microfauna del suelo, los hongos edáficos juegan un papel fundamental en el ciclo del carbono, puesto que son los responsables de

transformar alrededor del 80% de la celulosa que se produce; ésta es la mayor reserva de carbono en el mundo y el polisacárido más abundante en la naturaleza. Cabrera (2000), reportó 9 especies de hongos con una alta capacidad celulolítica, en ultisoles y oxisoles de la amazonia colombiana (*Penicillium*, *Clonostachys*, *Fusarium*, *Verticillum*, *Beauveria*, *Chaetomium*, *Poria*, *Lentinus* y *Trichoderma*).

En el ciclo biogeoquímico del fósforo se destacan algunas de las especies de hongos y bacterias como los microorganismos capaces de solubilizar el fósforo que se halla retenido para las plantas por los minerales del suelo, formando compuestos insolubles con los siguientes elementos: Fe (Estrengita), Al (Variscita) y Ca (fosfato tricálcico o fosfato ortocálcico). Según Brandy y Weil (citados por Cabrera, 2000); parece que los microorganismos capaces de solubilizar este fósforo lo hacen mediante la acidificación del medio liberando a él protones y/o ácidos orgánicos como cítrico, oxálico o succínico, Cabrera encontró cuatro especies de hongos (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Scytidium* y *Paecilomyces*) que presentan una alta actividad solubilizadora de fósforo en Ultisoles y Oxisoles de la amazonia colombiana, Cabrera evaluó la actividad solubilizadora de P *in vitro* de 32 microorganismos aislados en la rizosfera de *Leucaena leucocephala* creciendo en Andisoles, Oxisoles y Vertisoles de Hawaii y encontró que las bacterias fueron los solubilizadores más abundantes pero el organismo que mostro más actividad solubilizadora fue la especie del hongo *Mortierella*.

De esta manera la investigación en microbiología más reciente permiten destacar a varios microorganismos responsables de transformar elementos o compuestos químicos a formas asimilables por las plantas en sus procesos de nutrición vegetal como ocurre en las siguientes reacciones (entre paréntesis el agente causal de la reacción), (Munevar, 1991 y Subbarao, 1992 citados por Salamanca, 1998):



Además del gran aporte que hacen los microorganismos del suelo liberando nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas también se les reconoce la capacidad de reducir la acumulación de agroquímicos en el suelo a algunos hongos como *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* y a bacterias como *Bacillus*, *Clostridium*, *Nocardia*, *Streptomyces*; ya que pueden utilizar algunos de ellos como fuente de carbono (Burbano, 2004). Ciertos microorganismos pueden del mismo modo, asociarse con plantas mejorando su nutrición, como en los casos de las

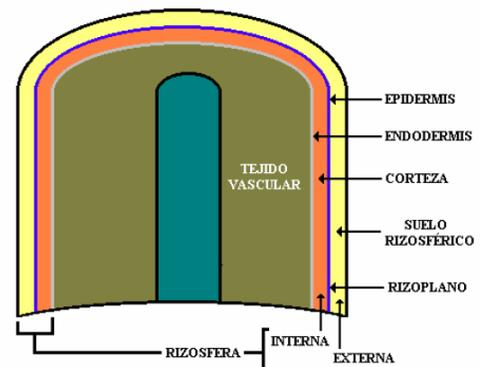
micorrizas y de la fijación biológica de nitrógeno, los cuales son los casos más conocidos y estudiados hasta el momento y se detallaran más adelante.

Algunos microorganismos ejercen control sobre otros macro y microorganismos, manteniendo un equilibrio entre las poblaciones. Ejemplo de esto son los controles que ejercen *Trichoderma* sobre otros hongos y *Streptomyces* sobre otras bacterias. También sea encontrado que algunos microorganismos pueden producir patogenicidad en plantas o animales, llegando a producir enfermedades en ellos, como es el caso, para las plantas, de hongos como *Fusarium* y *Phytophthora* y de bacterias como *Pseudomonas*.

### La Rizosfera.

La mayor parte de reacciones e interacciones que ejercen los microorganismos del suelo con la planta y con otros organismos se presentan en la inmediata vecindad de la raíz, es decir en la rizosfera. Según Lee y Pankuhurst (citados por Salamanca, 1998), las raíces de las plantas viven todo el tiempo en estrecha asociación con los organismos del suelo, en condiciones normales de crecimiento. Esta asociación se conoce como **rizocenosis** y se lleva a cabo en la rizosfera; la rizosfera es entonces, la zona del suelo adyacente a la raíz y que se halla bajo la influencia de su actividad, en esta zona se diferencian tres partes (**Figura 3**) y aunque es difícil establecer la extensión de la rizosfera y sus partes (debido a su alta variabilidad, atribuida a los diferentes factores relacionados tanto con las raíces como con el suelo), se acepta que tiene entre 1 y 10 mm de espesor y que la rizosfera interna, la de más intenso cambio, puede tener entre 15 y 20  $\mu\text{m}$  (Bowen 1993; citado por Salamanca, 1998).

- **Endorrizosfera** o rizosfera interna, que comprende la corteza de la raíz, es decir, el tejido que se encuentra entre la endodermis y la epidermis.
- **Rizoplano**, que es la superficie de la raíz.
- **Exorrizosfera**, ectorrizosfera o rizosfera externa, que es el suelo que está en íntimo contacto con la superficie del raíz y que por ello es llamado también suelo rizosférico



**Figura 3.** Representación esquemática de los componentes de la Rizosfera.

Fuente: Bowen 1993; citado por Salamanca (1998).

## Propiedades de la Rizosfera

La principal característica que tiene la rizosfera es su riqueza energética representada por la gran cantidad de sustancias orgánicas transferidas por la raíz como producto de su metabolismo. Según Lee y Pankhurst (citados por Salamanca, 1998), los exudados radiculares y los tejidos de las raíces muertas pueden aportar 30 o 40% de las entradas de materia orgánica al suelo y ellos son dispuestos directamente en la rizosfera. Además anotan que el proceso de respiración de la raíz puede aumentar la acidez de la rizosfera y acelerar así la solubilización de compuestos inorgánicos poco solubles, aumentando su disponibilidad, como en el caso del P, K, Mg y Ca. (Burns, 1986)

Según Salamanca (1998), se presentan considerables diferencias en el pH y la concentración de aniones y de cationes entre la rizosfera y el resto del suelo. Los iones que son absorbidos rápidamente por la raíz pueden quedar en bajas cantidades en la superficie de ella mientras que aquellos que son excluidos de la absorción pueden acumularse en altas concentraciones, precipitándose alrededor de la raíz como por ejemplo el calcio en algunos casos o los óxidos de hierro en suelos inundados.

Con respecto a los materiales que se escapan de las raíces a la rizosfera, Bowen citado por Salamanca (1998), reporta la clasificación que hicieron de ellos Rovira et al 1979, la cual se presenta a continuación con algunas modificaciones propuestas por Bowen:

- ❑ **Exudados:** son materiales que salen pasivamente de las células jóvenes e intactas de la raíz, tienen bajo peso molecular, son una fuente inmediata de energía para los microorganismos e incluyen azúcares, ácidos orgánicos y aminoácidos, entre otros compuestos. Las proporciones en que se presenten dependen de la composición del citoplasma.
- ❑ **Secreciones:** son compuestos de alto peso molecular que son expulsados activamente por células jóvenes e intactas de la raíz, generalmente son polisacáridos. Pueden con polisacáridos de origen bacterial y recubrir la raíz con un mucilago que se conoce como mucigel.
- ❑ **Lisatos:** son un conjunto de compuestos orgánicos que son liberados al suelo por la lisis (destrucción) de los componentes de algunas células envejecidas de la raíz y/o de las células muertas y desprendidas de ella. La magnitud de su aporte crece a medida que aumenta la edad y/o madurez de las células radiculares.

## Interacciones Rizosfera – Microorganismos

La rizosfera, gracias a su ambiente rico en energía y nutrientes, alberga grandes poblaciones de la mayor parte de los grupos de microorganismos del suelo. Lee y Pankhurst (citados por Salamanca, 1998), sostienen que en ella se presenta una alta población de bacterias, así como la mayor parte de los protozoarios y de los nematodos de vida libre del suelo, Salamanca reporta que los principales grupos de microorganismos son 10 a 100 veces más abundantes en la rizosfera que en el suelo adyacente, debido a que las sustancias que se producen en ella estimulan su crecimiento. Este autor puntualiza que:

- En la rizosfera se presenta una gran cantidad de bacterias amonificantes estimuladas por la presencia de nitrógeno orgánico.
- La fijación de  $N_2$  por bacterias libres es mayor en la rizosfera de plantas no leguminosas que en el suelo adyacente.
- Algunas estructuras de hongos son estimuladas a germinar por las excreciones radiculares.
- Algunos exudados y/o secreciones de la raíz de ciertas plantas tienen efectos alelopáticos pero también este efecto puede ser producido por microorganismos de la rizosfera que alteran los exudados y forman compuestos tóxicos.
- La microflora de la rizosfera protege la raíz contra patógenos del suelo y produce cantidades considerables de sustancias estimulantes del crecimiento vegetal como ácido indolacético, giberelinas y citocininas.

Las interacciones que se dan en la rizosfera pueden agruparse de manera general en tres categorías:

1. **Interacciones neutras:** Estas asociaciones son aquellas que se derivan de la actividad de los microorganismos saprofitos de la rizosfera. Estos organismos pueden alterar directamente la disponibilidad y la absorción de nutrientes por la raíz de la planta, bien sea compitiendo directamente por ellos con la planta o, indirectamente, liberando iones  $H^+$ , agentes quelatantes, hormonas o toxinas que afectan la permeabilidad de la raíz
2. **Interacciones nocivas:** Son aquellas relaciones que producen daños o enfermedad en la raíz de la planta, la mayoría de los patógenos de la raíz la infectan vía heridas o aberturas presentes en la superficie y, una vez instalados, pueden causar desde pequeñas lesiones localizadas o

malformaciones en los tejidos, hasta provocar la muerte de la planta, Salamanca (1998), sostiene que la rizosfera es una barrera formidable para la mayoría de los patógenos de la raíz, y que la producción de nutrientes orgánicos en ella es tan importante para los patógenos como para los organismos antagónicos a ellos que pueden reducir su población, mediante antibiosis, competencia, parasitismo, o predación.

- 3. Interacciones benéficas:** las interacciones benéficas más importantes que se dan entre las raíces de las plantas y los microorganismos son aquellas representadas por la nodulación producidas en las raíces de las leguminosas por las bacterias fijadoras de nitrógeno  $-N_2$ , como *Azospirillum* o *Beijerickia* (Brock, 1991).y el establecimiento de los hongos micorrizógenos en la raíz de la mayoría de las plantas (Sánchez, 1999 y Burbano, 2004). ;

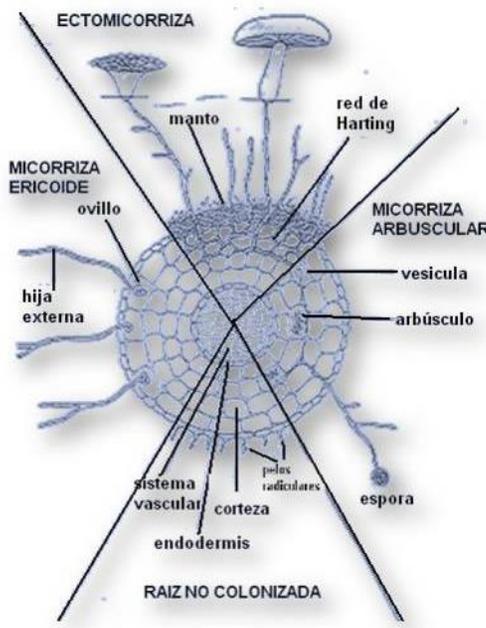
Al ser los hongos formadores de micorrizas microorganismos con una gran ubicuidad y al reconocer que la mayoría de las plantas que se sustentan de nuestros suelos requieren de mecanismos para lidiar con las especies de Aluminio soluble  $[Al^{+3}]$ , por cuestiones de la génesis del suelo, este tipo de interacciones benéficas se convierte en un potencial enorme cuando están presentes de modo natural en los cultivos. Al parecer algunas plantas cultivadas son tolerantes a este efecto y uno de los factores indispensables en generar procesos de tolerancia se debe a los microorganismos presentes en el suelo y en especial a grupos específicos como las Micorrizas. Sin estos factores las especies de Aluminio  $[Al^{+3}]$  pueden ser directamente tóxicas para las raíces de las plantas (Sánchez, 1999 y Burbano, 2004), por esta razón dentro de los grupos funcionales existentes entre las poblaciones microbianas, se eligieron las micorrizas para ser valoradas en esta investigación y profundizar su conocimiento y dinámica en nuestros agroecosistemas.

## Las Micorrizas

Se le llama micorriza a la unión íntima de la raíz de una planta con las hifas de determinados hongos según Sánchez (1999), los hongos micorrizógenos son simbioses obligados, es decir, trata de una asociación simbiótica donde el hongo se beneficia con el suministro de fuentes carbonadas provenientes de las raíces de la planta, mientras que esta última se beneficia por la mayor cobertura de suelo a nivel de raíces facilitada por el hongo, aumentándose para ella la capacidad de absorción de nutrientes minerales

Para dicha interacción biológica no existe especificidad taxonómica estricta entre el hongo y la planta hospedera, aunque puede asumirse, eso sí, que hay una especificidad ecológica entre el hongo y la comunidad vegetal como resultado de la co-evolución. Según Sánchez (1999), en la naturaleza se han identificado tres tipos de micorrizas según dicha especificidad:

**Figura 4.** Tipos de Micorrizas

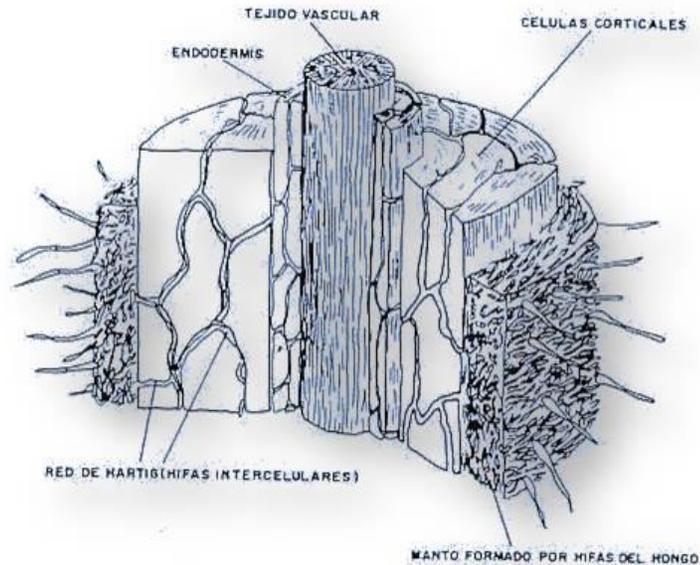


Fuente: Sánchez, 1999

**Ectomicorrizas:** en este tipo de micorrizas, las hifas recubren la raíz formando una estructura en la raíz llamada manto, están asociadas con las raíces de muchas especies arbóreas en las que ocasionan cambios morfológicos en la raíz por la presencia del manto al producirse la infección (**Figura 4 y 5**). Además, penetran a los espacios intercelulares, según Sánchez (1999), hay poca diversidad de hospederos para este tipo de micorriza, y además, ellas son poco frecuentes en condiciones tropicales, las ectomicorrizas son la asociación simbiótica más común en los bosques de regiones templadas y se consideran indispensables en plantaciones de pino, eucalipto y en arboles tropicales de las familias Dipterocarpaceae, y Cesalpinaeae. Según Hurtado (1997), los principales hongos formadores de ectomicorrizas son Basidiomycetes, que se agrupan en los géneros, *Amanita*, *Boletus*, *Lactarius*, *Russula*, *Scleroderma* y *Agaricus*; una de las características más relevantes en esta asociación es que la presencia del hongo incrementa la capacidad de absorción de fósforo a la planta,

al aumentar el área de exploración del suelo gracias a la extensión de las hifas más allá de la zona radicular. Esta acumulación de P es posteriormente liberada al huésped en condiciones de deficiencia de este elemento. También se ha demostrado que este tipo de micorrizas producen fosfatasa extracelulares que pueden servir para reciclar P proveniente de restos vegetales.

**Figura 5.** Diagrama de una ectomicorriza formadora de "manto"



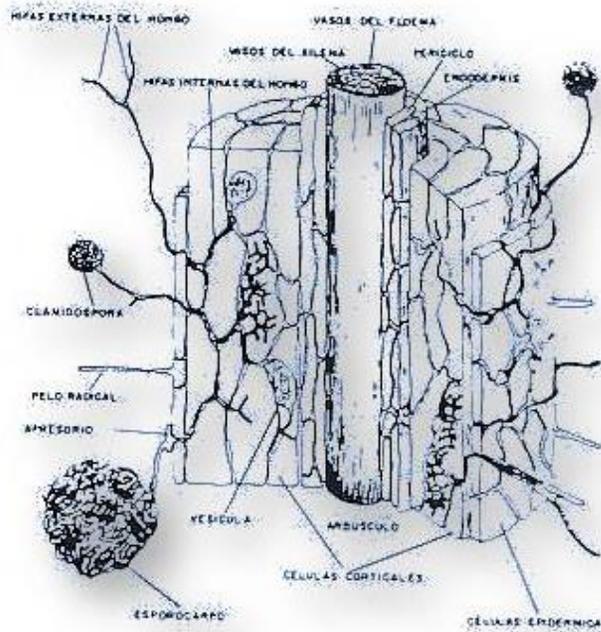
Fuente: Sánchez, 1999

**Endomicorrizas:** es el tipo de micorrizas más común, aun en el trópico; los hongos penetran los espacios inter e intracelulares de la raíz, el micelio se encuentra principalmente en forma intracelular a la corteza radicular. No produce manto fungoso (a excepción de un tipo de Ericaceae) y sus hifas crecen dentro del hospedante por un periodo de tiempo, luego son digeridas o disgregadas. Según Sánchez (1999), a este grupo de micorrizas pertenecen las micorrizas Arbusculares, las de Orquídeas y de las Ericáceas

Las endomicorrizas que forman vesículas Arbusculares (MVA), poseen hifas intracelulares y forman grandes vesículas vacuoladas fuera y dentro del tejido del hospedante, estas micorrizas se presentan en un 85% de las plantas, se hallan asociadas a hongos de la clase Zigomicetes, con el orden de los Glomales en la mayoría de las angiospermas y en algunas gimnospermas, los principales hongos que las conforman son: *Scuteellospora*, *Sclerocystes*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, y *Glomus*. Es posible encontrarlas en todos los climas

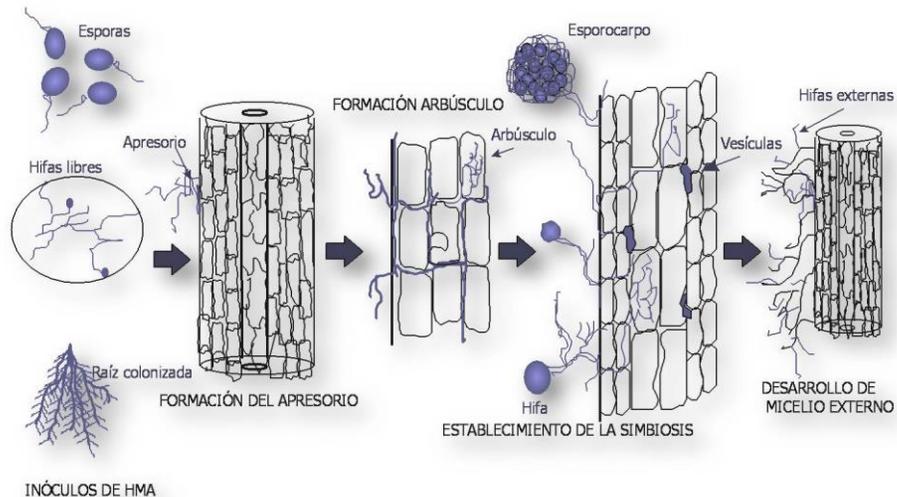
y poseen un amplio rango de hospedantes, especialmente angiospermas, coníferas, algunos helechos y musgos.

**Figura 6.** Diagrama de una Micorriza Vesículo Arbuscular –MVA.



Fuente: Sánchez, 1999

**Figura 7.** Proceso de infección en la Micorriza Vesículo Arbuscular –MVA



Fuente: Sánchez, 1999

Micorrizas de Orquídeas: son formadas por hongos del genero Rhizoctonia con plantas de la familia Orchidiaceae y son indispensables para la germinación de las

semillas de estas plantas, aunque parece que la micorriza es opcional en plantas adultas. En este tipo de asociación hay una alta especificidad.

**Micorrizas Ericoides:** intracelular formada por Ascomycetes, principalmente de los géneros *Pezizella* y *Elaphomyces*, según Sánchez (1999), se presenta con hifas septadas y con ensortijamientos o rizos, son relativamente frecuentes en los géneros de las familias Ericaceae, Empetraceae y Epacridaceae que crecen en suelos anegados, orgánicos y ácidos; también en estas como en las orquidioides se presenta una alta especificidad.

**Ectendomicorrizas:** según Sánchez (1999), son básicamente, ectomicorrizas que llevan a cabo penetración intracelular, en las raíces de las plantas, por hifas septadas. Se encuentran asociadas a plantas coníferas y tienen una alta especificidad. Algunos autores las clasifican como endomicorrizas y otros basándose en la similitud morfológica con Asco y Basidiomycetes las ubican en el grupo de las ectomicorrizas; las forman algunos de los subgrupos de Pinaceae y de Ericales como los *Arbutus* y *Monotropa*.

**Importancia de las micorrizas:** Según Burbano (2004) y Sánchez (1999), las micorrizas aumentan la absorción, por parte de la planta, de nutrientes poco móviles en el suelo, como P, Zn, S, Ca, Cu, Mo, y B; le dan a la planta resistencia en condiciones adversas de suelo como: pH extremos, sequías, salinidad, cambios grandes de temperatura y presencia de elementos tóxicos (Fe, Al, Mn); además protegen la raíz del ataque de patógenos.

Como se mencionó anteriormente, para el establecimiento de algunas especies vegetales se requiere la presencia de micorrizas, así como para la germinación de las semillas de las orquídeas, Corredor (2002), indican que existen plantas con un alto índice de micotrofia, es decir, que presentan una alta dependencia de las micorrizas para su desarrollo, como café, cítricos, yuca, zanahoria, chirimoya, cacao, aguacate, y gran cantidad de pastos, en tanto que se presentan otras con media a baja micotrofia, como caña de azúcar, maíz y sorgo.

Según Azcón *et al*, (1997), estableció que la nodulación de las leguminosas por *Rhizobium* es bastante dependiente de una adecuada micorrización de la planta; parece haber un estímulo a la micorriza por parte de los polisacáridos extracelulares y del nitrógeno aportados por el *Rhizobium*, así como un estímulo al desarrollo de la bacteria por el suministro de fósforo que hace la micorriza a aquella.

#### 4.2.4 El Agroecosistema del chontaduro: Cultivo exótico promisorio

Bajo esta óptica, el particular interés sobre el recurso edáfico asociado al cultivo del chontaduro en nuestra región, responde no solo a la preocupación ambiental por la degradación del suelo, sino también por la urgencia de corresponder al movimiento ambiental<sup>13</sup> que se impone globalmente y reclama un sello de sostenibilidad o **sello verde** que respalde la calidad agroambiental de los productos, pensamiento que día a día se fortalece como un mercado limpio gracias a los nuevos marcos legislativos como el código BPA y la aceptación de estrategias que promuevan soluciones ambientales en el campo agrícola para mitigar la problemática rural y urbana que desencadena el uso inadecuado de este valioso recurso y que atañe aspectos vitales como seguridad alimentaria, salud y bienestar de la comunidad, saneamiento ambiental, economía, generación de energía y desarrollo de la producción agrícola entre otros.

Frente a este amplio panorama nos enfrentamos a la necesidad de fortalecer el manejo ecológico del recurso edáfico asociado al cultivo del chontaduro; ya que éste sustenta una cadena productiva que a pesar de presentarse en varias regiones de la geografía colombiana y de ser de gran importancia por su amplia extensión en hectáreas, su cercanía a la ubicación a de cultivos ilícitos, el arraigo a su cultivo entre colonos, su gran potencial de transformación agroindustrial y ser un cultivo exótico promisorio gracias al gran valor nutricional que posee tanto para la dieta humana y como para la animal (Montilla, 2000); sin embargo, su cultivo y producción no se fortalecerán hasta no enfocar su mirada en una planificación ambiental que asegure una producción estable de alimentos, acorde con la calidad ambiental y el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Según Mora y Gainza (1999), la palma de chontaduro es propia del trópico húmedo americano, se ubica desde la cuenca del Océano Atlántico (Nicaragua, Honduras, Panamá y Costa Rica) hasta las tierras bajas de los llanos amazónicos (Colombia, Ecuador, Venezuela, Perú, Bolivia, Guyana y Brasil). En Colombia, viene siendo cultivada desde hace siglos por la diferentes comunidades indígenas de la Amazonia en pequeños huertos; usando su fruto para consumo animal o humano, después de su cocimiento en agua con sal, con la pulpa y la semilla elaboran harina y aceite, de las yemas foliares obtienen el palmito, y con su

---

<sup>13</sup> A nivel mundial, los nuevos mercados persiguen entre otros objetivos comercializar productos libres de sustancias xenobióticas; contribuyendo con los principios de seguridad alimentaria, protección y conservación del planeta, estos productos se promueven por medio de mecanismos de desarrollo limpio (MDL) y se enmarcan para el campo agrícola colombiano en la Norma técnica NTC5400 (marco legislativo que promueve la aplicación de buenas prácticas agrícolas –BPA), como productos que cumple con una certificación de dicha calidad ambiental o ‘sello verde’. A su mercado se le denomina **Mercado Limpio** o **Comercio Agroindustrial Ecológico**. (Toscano, 2005).

madera fabrican artesanías finas. En la Amazonía el cultivo de chontaduro para la obtención del palmito tiene ventajas, pues al ser una planta nativa de la región, se facilita su adaptación a un amplio rango de condiciones agroecológicas.

Estudios realizados por la Universidad Nacional resaltan sus excelentes cualidades nutricionales y bioquímicas para la fabricación de una gran variedad de productos alimenticios, cualidades que unidas a características como la considerable extensión y ubicación de sus cultivos<sup>14</sup> y el ser un cultivo que permite asociarle con otros cuatro o cinco cultivos igual de intensivos, son condiciones que benefician particularmente a nuestros agroecosistemas y le catalogan como una materia prima promisoría excelente para el desarrollo de nuestra región y del país. Por el gran potencial que presenta este cultivo no tradicional, desde hace muchos años en otros países de Latinoamérica se vienen desarrollando diferentes actividades de investigación que permitan satisfacer la demanda de tecnología y conocimientos que existe por parte de los agricultores. En la **Foto 6**. Se muestran algunos productos preparados de manera tradicional con el chontaduro.

**Foto6:** Productos del Chontaduro  
En: Revista virtual -  
Universidad Nacional de  
Colombia.



### **Potencialidades del Chontaduro**

El chontaduro es una planta con un gran potencial en la alimentación humana y animal, con un alto rendimiento por unidad de superficie, buena calidad de los frutos, altos rendimientos del palmito para uso agroindustrial y amplio uso de sus tallos con fines madereros y un gran potencial oleífero en cultivares seleccionados (Arckoll y Aguiar, 1984; Clement y Arckoll, 1991; citados por Montilla, 2000). Alcanza la madurez entre los 4 y 5 años dependiendo del estado nutricional y de acuerdo a este mismo factor, una planta adulta puede producir entre 40 y 60 Kg de

---

<sup>14</sup> El cultivo de Chontaduro se halla ubicado coincidentalmente a lo largo del suroccidente colombiano en departamentos como Valle del Cauca, Cauca, Nariño, Putumayo, Guaviare y Amazonia, zonas de gran conflicto social por la presencia de narcocultivos, por eso éste cultivo es una buena alternativa para sacarnos de la zozobra de los narcocultivos en estas regiones del país. (Rojas, 2000).

fruto (Mora Urpí *et al*, 1991). Hallazgos recientes en Venezuela indican que con favorables condiciones agroclimáticas, las plantas inician la producción de frutos a los 2 años y medio. Mora Urpi (1995) ha reportado rendimientos promedios entre 15 y 40 toneladas/ha dependiendo del nivel de manejo. De allí la gran importancia de conocer mejor el manejo agronómico de esta especie. Su longevidad puede alcanzar los 75 años (Corpoica, 2000).

El laboratorio de suelos, plantas y agua –LABSU, del Colegio Gamboa en el Ecuador (1997) reporta la composición bioquímica del chontaduro (**Tabla 5.**), donde se indica que este es un alimento con características de fácil digestibilidad, con alto contenido de vitamina K y vitamina C y que en general su contenido nutricional es parecido a la mayoría de las hortalizas, en especial al espárrago y que su cultivo presenta los requerimientos nutricionales expresados en la **Tabla 6.**

**Tabla 5.** Composición bioquímica del chontaduro.

Elementos	Composición
Proteína Bruta	2,27 %
Ceniza	1,44 %
Grasa bruta	0,79 %
Fibra bruta	0,54 %
ELN	4,80 %
Energía bruta	349,00 Kcl
Fósforo	1,65 mg/g
Calcio	5,73 mg/g
Magnesio	4,93 mg/g
Potasio	47,40 mg/g
Vitamina C	593,00 mg/100g

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas y Agua (LABSU) 1997

**Tabla 6.** Requerimientos ecológicos del cultivo de chontaduro

<b>Zona ecológica</b>	Húmeda y muy húmeda tropical, según la clasificación de Holdrige.
<b>Altitud</b>	0 -1.000 m.s.n.m. Altura óptima, 600 m.s.n.m.
<b>Temperatura</b>	24°- 28°C.
<b>Precipitación</b>	2.000 - 4.000 mm.
<b>Humedad relativa</b>	80% o más
<b>Luminosidad</b>	Requiere exposición plena a la luz, el brillo solar debe ser como mínimo de 3 horas al día.
<b>Suelo</b>	Profundo, topografía regular, textura media, franco arenoso, buen drenaje y estructura permeable. El palmito es muy susceptible al exceso de agua y resiste condiciones de ligera acidez.

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas y Agua (LABSU) 1997

## Clasificación botánica

**Nombre Científico:** *Bactris gasipaes* Kunth

**Nombre común:** Chontaduro, Pijuayo, Pejibaye, Pejinaye, Pupunha.

Concordante con su amplia distribución, la especie recibe distintos nombres. Así, se denomina pijuayo y chonta en el Perú; chontaduro y pijuayo en Ecuador; chontaduro, cachipay en Colombia; pijuayo, pichiguao y macana, en Venezuela; parépon en la Guayana Francesa; amana en Surinam; pupunha y pirijao en Brasil; tembé en Bolivia; pejibaye, pijuayo y pijibay en Costa Rica y Nicaragua, y pijuayo en Panamá. La **Foto 7** muestra el gran tamaño de la palma.



Foto 7: Palma de Chontaduro

### Taxonomía:

Tipo:	Fanerogama
Subtipo:	Angiosperma
Clase:	Monocotiledónea
Subclase:	Micrantas
Orden:	Espadicifloríneas
Familia:	Areaceae
Género:	Bactris
Especie:	gasipaes

### Descripción botánica:

Según Mora Urpi (1993), la palma de chontaduro es una palma erecta que puede alcanzar hasta 20 m de altura, nace a partir de una sola semilla formando un conjunto de hijuelos que se conoce como “cepa”, presenta un sistema de raíces fibroso y largo, su estructura morfológica es: raíz, tallo (estipite), hojas, inflorescencia, racimos y frutos, los cuales a su vez se distinguen por presentar: epidermis o piel, mesocarpio o pulpa, endocarpio o cuesco, endospermo o almendra, embrión, semilla; además, estos se agrupan en variedades que a nivel local se han agrupado de acuerdo con la coloración de la cáscara de los frutos.

Esta palma es una planta monoica que forma entre 1 y 20 inflorescencias al año, en las axilas de los anillos de las hojas senescentes, observándose a mitad del tallo, la floración se da entre Junio y Setiembre, con la cosecha alrededor de

cuatro meses más tarde. La inflorescencia es en espigas, cada una de ellas cubierta por numerosas flores masculinas pequeñas, de color crema a amarillo claro, y menor cantidad de flores femeninas. Cada racimo tiene entre 10 y 120 frutos; estos son de forma cónica a ovoide, miden de tres a cinco cm de largo, tienen epicarpio liso y brillante, color amarillo a rojo o mezclas de estos colores, la parte comestible está constituida por el mesocarpio, el cual es grueso, color blanquecino, amarillo hasta naranja-rojizo, con fibras cortas y escasas, y contenido variable en aceite. Cada fruto tiene una sola semilla de color blanco y aceitosa, la cual está cubierta por un endocarpio duro, (Mora Urpi, 1993).

### Manejo del Cultivo (labores culturales):

El cultivo de chontaduro como la mayoría de los cultivos requiere de un buen control químico, físico y cultural de malezas (arvenses), plagas y enfermedades, además de fertilización, plateo, enclamiento y aplicación de enmiendas según los análisis de suelos. La iniciación de su cultivo se realiza en viveros estableciendo los semilleros en bolsas plásticas negras de 20\*25cm, con un buen control agroquímico, riego y fertilización, la preparación del suelo para su trasplante a campo se hace de tres a seis meses de edad, cuando las plántulas tienen entre 25 a 30 cm de altura, al suelo se le realiza una labranza mínima, un trazado (pendiente) y ahoyado (40\*40\*40 cm), la siembra se lleva a cabo en época de lluvia. Este cultivo genera dos cosechas anuales cada cuatro años, a partir de que la palma alcanza 3 – 4 m de altura, con una producción de 50 a 100 kilogramos palma /año; dependiendo de que el cultivo reciba un buen manejo agronómico.

Las Plagas y Enfermedades que más común mente presenta este cultivo son el barrenador del fruto (**Foto 8.**), los ácaros, el picudo del plátano y la caña, entre otras plagas y el tizón del racimo, la pudrición negra y blanca del racimo y el fruto, la mancha amarilla y negra de la hoja, son entre otras las enfermedades más frecuentes (Collazos *et al*, 2004).

**Foto 8:** Adulto y larva del barrenador del fruto del chontaduro. Por: Luis Miguel Constantino - CIPAV, fundación herencia verde Cali Colombia



#### 4.2.5 Bioestadística

La interpretación de cualquier fenómeno biológico especialmente cuando este fenómeno se estudia en condiciones completamente naturales (esto es, sin manipularlo experimentalmente), requiere tener en cuenta tres aspectos fundamentales (Parker 1981):

- **Carácter variable de sus manifestaciones.** Uno de los rasgos más extendidos de los fenómenos biológicos consiste en que sus manifestaciones no se repiten exactamente, de modo que cuando vamos a estudiarlas las mediciones que obtenemos nunca son completamente iguales.
- **Información incompleta.** Normalmente es imposible observar todas las posibles manifestaciones del fenómeno estudiado.
- **Causas múltiples.** Además de las causas que estudiamos, los fenómenos biológicos están afectados por otros muchos factores que es necesario considerar a la hora de interpretar los resultados obtenidos. Esta es la principal razón de la **variabilidad** que encontramos en el mundo natural.

La principal herramienta que nos permite manejar e interpretar datos biológicos teniendo en cuenta estos problemas es la **ESTADÍSTICA**. Esta disciplina tiene dos posibles acepciones (Parker 1981): **1.** Conjunto de métodos empleados para la exposición ordenada y resumida de datos cuantitativos y **2.** Conjunto de métodos que permiten establecer inferencias sobre las **propiedades** de grupos grandes a partir de observaciones realizadas en grupos menores.

La estadística nos permite por tanto resumir los datos obtenidos teniendo en cuenta su **variabilidad** y los objetivos de nuestros estudios, así como establecer resultados generales a partir del estudio de conjuntos de observaciones particulares. El dominio de los conceptos estadísticos básicos y de unos pocos métodos de análisis nos permitirá diseñar correctamente nuestros estudios evitando el efecto de factores indeseados, establecer el grado de fiabilidad de nuestros resultados, y leer y evaluar crítica e inteligentemente los resultados publicados por otros investigadores.

La estadística tiene entonces, relación con aquellos conceptos y técnicas que se emplean en la recopilación, organización, resumen, análisis, interpretación y comunicación de información numérica. En el análisis estadístico se entiende como entidad a personas lugares o cosas, y como variable al conjunto de características de las entidades que interesan en una investigación científica. En virtud de que cualquiera de estas características, por regla general, presenta un valor diferente cuando se observa en diferentes entidades (Parker 1981).

Cuando se inicia el estudio de un problema biológico normalmente éste se plantea en términos generales e imprecisos. Sin embargo, para poder aplicar el método científico para responder a estas cuestiones es necesario definirlos en términos concretos e inequívocos, de manera que puedan ser contrastadas a partir de medidas realizadas sobre una serie de variables seleccionadas y teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por la disponibilidad de recursos. Para poder definir las hipótesis de esta manera, es importante disponer de la máxima información de referencia sobre el fenómeno o proceso a estudiar. Esta información puede extraerse bien de la bibliografía existente o bien a partir del conocimiento de los especialistas en la materia.

En este sentido, el Análisis Factorial es una técnica que posibilita identificar un número relativamente pequeño de 'factores', los cuales pueden ser utilizados para representar la relación existente entre un conjunto de variables intercorrelacionadas. El modelo matemático que subyace a esta técnica consiste en que cada variable aparece como combinación lineal de una serie de factores que pueden ser no observables, esto es, si  $X_i$  representa la variable entonces:

$$X_i = A_{i1} F_1 + A_{i2} F_2 + \dots + A_{ik} F_k + U_i$$

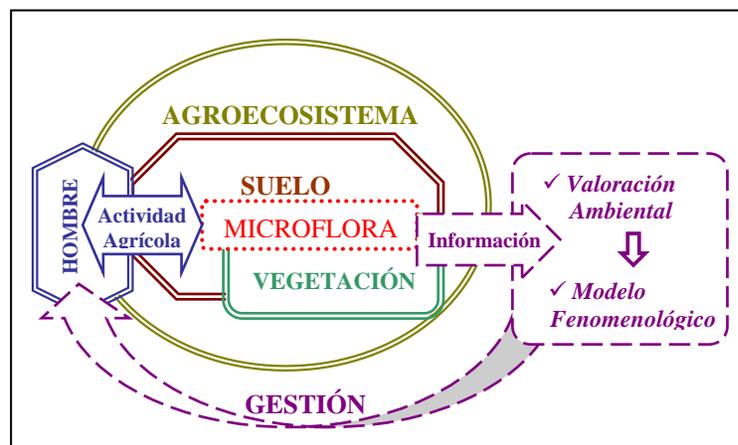
Donde F son los 'factores comunes' a todas las variables y U es un factor único referido a la parte de la variable  $X_i$  que no se puede explicar por los factores comunes. Los  $A_i$  son los coeficientes de cada uno de los factores. Los factores únicos se asume que están incorrelacionados con el resto de factores únicos y con los factores comunes.

Con el Análisis Factorial se puede intentar representar el conjunto de variables con el menor número posible de factores, y a su vez, tratar de encontrar una interpretación clara y un sentido preciso a estos factores. Aunque en la práctica el Análisis Factorial (AF) y el método de Componentes Principales (ACP) se utilizan a veces indistintamente y dan resultados similares, conviene señalar que así como en el ACP el objetivo consiste en encontrar una serie de 'componentes' que expliquen el máximo de varianza total de las variables originales, el objetivo del AF es encontrar una serie de 'factores' que expliquen el máximo de varianza común de las variables originales. El ACP transforma el conjunto original de variables en un conjunto más pequeño de combinaciones lineales, tal que 'recoja' la mayor cantidad posible de la variación del conjunto original de variables. El propósito del ACP consiste en determinar factores (o componentes principales) en orden a explicar en una gran proporción la variación total en los datos con el menor número de factores disponibles.

## 5. METODOLOGÍA

Para valorar el recurso edáfico asociado al agroecosistema del chontaduro (*Bactris gasipaes*, Kunth) (**Figura 8.**), se desarrolló una lista de chequeo simple, una matriz de valoración ambiental tipo FEARO y un modelo fenomenológico del subsistema edáfico, métodos con los que se determinaron algunos tensores que alteran al suelo, generándose así, un análisis que contemple de manera integral la relación que existe entre sus componentes *hombre-suelo-agua-vegetación-fauna* y su dinámica.

**Figura 8.** Modelo para el análisis del suelo asociado al agroecosistema del Chontaduro.



### 5.1. ZONA DE ESTUDIO

El municipio de El Tambo se halla ubicado en la zona centro del departamento del Cauca, a 37 Km de la ciudad de Popayán (**Figura 9.**), este municipio presenta una altura promedio de 1.750 m.s.n.m. aproximadamente, un área de 2.615 Km<sup>2</sup> y se halla localizado entre las coordenadas geográficas 2°25' de latitud norte y 76°45' de latitud oeste; se halla ubicado geográficamente entre el peniplano de Popayán y el valle geográfico del río Patía particularidad que le confiere ecológicamente el reconocerle como un ecosistema de transición o **ecotono**, posición que permite enmarcarlo según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1.978) como un Bosque Húmedo Premontano (bh-PM) y según Cuatrecasas (1.958) como una selva Subandina.

**Figura 9.** División Político-Administrativa del Departamento del Cauca.



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2002).

Según el plan de ordenamiento territorial del municipio (P.O.T. municipio de El Tambo 2.006), este municipio está conformado por tres regiones: río Patía, Alto Cauca y la del río Micay, con 8, 7 y 5 corregimientos respectivamente para un total de 18 corregimientos (**Figura 10**). El Tambo presenta terrenos que corresponden según su topografía a tipos de terreno ondulado 39%, montañoso 38%, escarpado 15% y plano 7% aproximadamente.

Figura 10. Municipio de El Tambo.



★ Área de estudio: Corregimiento de Cuatro Esquinas

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC, 2002.

En este municipio se encuentra el área donde se desarrolló esta investigación: el corregimiento de Cuatro Esquinas ubicado en la región correspondiente al río Patía, la cual presenta una ruta de acceso que se hace desde la ciudad de Popayán y por la vía que conduce al occidente hasta la cabecera municipal de El Tambo (40 Km aproximadamente) y de ésta 15 Km más que se hacen por carretera destapada hacia el suroccidente.

El corregimiento de Cuatro Esquinas tiene 17 Veredas de las cuales se eligieron 10 veredas para llevar a cabo esta investigación sobre la valoración ambiental del recurso bioedáfico (en la Foto 9 se detalla una panorámica de este corregimiento); los parámetros para elegir las fueron su continuidad, cercanía y fácil acceso: caracterizadas por tener un manejo agronómico y ubicación geográfica (con

respecto a altitud, latitud, clima, formación ecológica y zona de vida) homogéneos; las veredas analizadas fueron: **Cuatro Esquinas, Golondrinas, La Libertad, Morcón, Palo Verde, El Porvenir, El Progreso, San Roque Oriente, La Aguadita y Senda Magines.**



**Foto 9.** Panorámica de Cuatro Esquinas

Las características biofísicas y climatológicas generales<sup>15</sup> que presenta el corregimiento de Cuatro Esquinas, muestran un aspecto fisiográfico o paisajístico que varía de terrenos ondulados a quebrados, presenta una altura promedio de 1.250 m.s.n.m, con un régimen climático influenciado por la corriente de aire cálido que proviene del valle geográfico de río Patía y la corriente de aire frío de provenientes de la cordillera Occidental que descienden del cerro Munchique y del volcán Sotará; generándose un clima templado húmedo caracterizado por presentar una variación moderada en la temperatura (19.9-20.9°C), precipitación bimodal: épocas secas (Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto) con un valor que oscila entre 0 y 505.1 mm/año y épocas lluviosas (Enero, Febrero, Marzo, Septiembre, Noviembre y Diciembre) con un valor de 1.679 a 1.835 mm/año. La humedad relativa en relación directa con la temperatura, presenta valores entre 61 y 85%, de la época seca a la lluviosa.

Para esta región la principal fuente de ingresos la constituye la producción del fruto de la palma de chontaduro, con una producción anual de 214.1 ton / año; producto que llega a 10 mercados nacionales (Cali, Palmira, Ibagué, Bogotá, Popayán, Neiva, Medellín, Buga, Cartago y Armenia) y una población dedicada al cultivo que asciende a 450 productores campesinos en 485has sembradas (Funcop, 2.000). Donde factores como una incipiente formación académica (bajo grado de escolaridad), la insuficiente capacidad de trabajar en equipo, poca

---

<sup>15</sup> Los datos climatológicos fueron suministrados por la base de datos de la estación meteorológica Manuel Mejía Vallejo del Centro Nacional de Investigación en Café – CENICAFE - ubicada en San Joaquín, El Tambo.

asistencia técnica especializada, baja capacidad en recursos monetarios y físicos, dificultan procesos que den valor agregado a dicha actividad (potencialidad de transformación de los productos derivados de la palma), llevándolos a una situación de total desarticulación con el ciclo del cultivo y producción del fruto, resaltando que los más afectados o mejor, menos favorecidos del cultivo son los mismos productores campesinos.

## **5.2 VALORACIÓN DEL SUELO EN EL AGROECOSISTEMA DE CHONTADURO**

Los métodos necesarios para desarrollar la caracterización física, química, biológica y ambiental del suelo asociado al agroecosistema del chontaduro en el corregimiento de Cuatro Esquinas se desarrollaron tanto en la zona de estudio con un trabajo de campo y recolección de datos primarios, como en las instalaciones con que la Universidad del Cauca (el departamento de biología y el grupo de investigación en Agroquímica) con un trabajo de laboratorio para realizar las diferentes determinaciones necesarias.

### **5.2.1 Trabajo de campo**

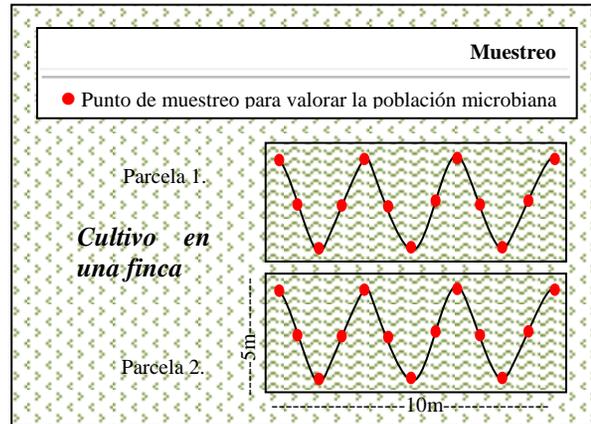
Para el trabajo de campo, la zona de estudio se dividió el área de estudio en unidades y subunidades de muestreo (vereda, finca, parcela y subparcelas); de cada vereda se eligieron dos fincas para establecer en cada una de ellas dos parcelas de muestreo<sup>16</sup> con un área de 5 x 10 m cada una. Para la determinación de estas parcelas se hizo un recorrido de la finca con los agricultores en el cual se recogieron los datos más importantes sobre el manejo agronómico que se da al agroecosistema, información primaria que complementa la información secundaria que se obtiene de las determinaciones en el laboratorio.

La toma de las muestras de la rizósfera del suelo y de las raíces del chontaduro se realizó en cada subparcela de muestreo haciendo un recorrido en forma de zig-zag (**Figura 11**) tomando en cada punto como indica la figura, una muestra que posteriormente se homogeniza para obtener una muestra compuesta. La muestra de suelo se recoge en cada punto indicado, retirando primero la capa vegetal y haciendo un corte en "V" en el horizonte Ao del perfil con un palin hasta alcanzar una profundidad de 0 -50cm (zona de mayor distribución radicular en el cultivo del chontaduro).

---

<sup>16</sup> Las subparcelas de muestreo se establecen dentro del lote del cultivo, evitando escoger zonas de camino o paso de animales y definiendo su área teniendo en cuenta que esta debe presentar un manejo agronómico y una ubicación geográfica homogéneas con respecto a la altitud, latitud, clima, formación ecológica y zona de vida.

**Figura 11.** Muestreo de suelo.



Las muestras de la rizósfera del suelo de una misma subparcela se recogen en un balde plástico limpio y desinfectado, se homogenizan y de esta mezcla se toman aproximadamente 500g de suelo para formar una muestra compuesta, así de cada finca se tienen dos muestras que se empaican por separado en bolsas plásticas negras (nuevas, sin sellos o anuncios), dejándoles un poco de aire para evitar procesos de anaerobiosis; cada bolsa se rotula con la información correspondiente según la unidad de muestreo a la que pertenece (**Figura 12**). Durante el trabajo de campo las muestras colectadas se dejan a la sombra y se llevan al laboratorio el mismo día del muestreo.

**Figura 12.** Ficha de muestreo

FICHA DE MUESTREO	
Código: _____	Fecha: _____
Vereda: _____	Finca: _____
Agricultor: _____	Parcela N° _____
Estado del cultivo: _____	
Observaciones: _____	
_____	

### 5.2.2 Trabajo de laboratorio

Esta investigación se desarrolló contando primordialmente con las instalaciones dispuestas para los laboratorios de microbiología y de agroquímica del departamento de Biología y el grupo de investigación en Agroquímica de la Universidad del Cauca,

### 5.2.2.1 Valoración física y química del suelo:

Para la estimación de la calidad del suelo, fue necesario generar una mirada holista del geosistema, lo cual no es posible valorando únicamente su componente biótico, por esta razón para realizar un análisis integral se tomo la información correspondiente a los análisis físicos y químicos (**Tabla 7**) de la base de datos elaborada por el Grupo de Investigación en Agroquímica de la Universidad del Cauca para el proyecto denominado “Manejo integrado del sistema de producción del cultivo de chontaduro, (*Bactris gasipaes* Kunth)” (Bravo *et al*, 2004).

**Tabla 7.** Determinaciones físicas y químicas para un análisis del suelo

Parámetros Físicos	Parámetros Químicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• %Humedad</li> <li>• Densidad Real (g/mL)</li> <li>• %Sat Agua</li> <li>• Textura del suelo:               <ul style="list-style-type: none"> <li>% Arena</li> <li>%Limo</li> <li>%Arcilla</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• %C orgánico</li> <li>• %M.O</li> <li>• %N</li> <li>• C/N</li> <li>• P(ppm)</li> <li>• Ca meq/100</li> <li>• Mg meq/100</li> <li>• Ca/Mg</li> <li>• K meq/100</li> <li>• Ac. Inter meq/100</li> <li>• Al. Inter meq/100</li> <li>• C.I.C meq/100</li> <li>• Elementos menores</li> </ul>

\* Estas determinaciones se realizan siguiendo la metodología propuesta por las CARL

### 5.2.2.2 Valoración microbiológica del suelo:

Para valorar la población microbiana del suelo asociado al cultivo del chontaduro en el corregimiento de Cuatro Esquinas, municipio de El Tambo-Cauca, se desarrollaron los siguientes tres métodos, resumidos en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Metodología para determinar población microbiana del suelo

Microorganismos del suelo	Método de Estimación	Medio de conteo	Recuento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bacterias</li> <li>• Hongos</li> <li>• Levaduras</li> <li>• Actinomycetes</li> </ul>	Método de recuento en placa de agar	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Agar Nutritivo</li> <li>B. Agar Papa Dextrosa</li> <li>C. Medio selectivo</li> </ul>	$10^{-3}, 10^{-5}$ y $10^{-7}$ Ufc/g <sup>-1</sup> suelo
<b>Grupos funcionales</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hongos formadores de micorriza- HMA</li> </ul>	Conteo de hongos formadores de micorriza con microscopio y estereoscopio Vesículas, hifas y esporas		<ul style="list-style-type: none"> <li>% infección en raíces</li> <li>Esporas gr de suelo</li> </ul>

**A. Estimación de la población microbiana del suelo:** la determinación de la composición y diversidad de la población microbiana del suelo, se realiza con la metodología propuesta por Alexander, 1982 (citado por Duarte *et al*, 2003) y Valencia, (2001) siguiendo los pasos que se mencionan a continuación:

- **Preparación del laboratorio y los materiales para la siembra:** antes de realizar la toma de las muestras del suelo para su análisis se prepara una minuciosa limpieza, desinfección y esterilización del laboratorio<sup>17</sup> para evitar cualquier contaminación química o biológica que inhiba o altere el crecimiento microbiano y afecte los resultados, el procedimiento que se sigue con los diferentes espacios, equipos y materiales de vidrio, aluminio, madera, papel o plástico, que se utilizan para las determinaciones microbiológicas es tratarlos con mezcla sulfocrómica durante 1 hora, lavarlos bien, desinfectarlos con una solución de Yodo al 5%, enjuagarlos con agua desionizada y finalmente someterlos durante 30min a radiación ultra violeta y/o esterilización por calor de acuerdo con las características de composición de cada uno de estos espacios, equipos y materiales.
  
- **Preparación de los Medios de cultivo:** los medios elegidos por Alexander (citado por Duarte *et al*, 2003), para determinar las poblaciones microbianas son Agar Nutritivo, Agar Papa Dextrosa y medio selectivo para Actinomycetes, luego de su preparación, los medios se esterilizan en el autoclave a 121°C durante 35 minutos, se sirven en las cajas de Petri, se rotulan y almacenan selladas con vinipel a 4°C.
  - i. **Agar Nutritivo AN:** este medio nutritivo se preparo según las instrucciones de Escobar (1998) y Valencia (2001); diluyendo con calor y mediante agitación mecánica 28g de Agar Nutritivo en 1000ml de agua destilada estéril.
  
  - ii. **Agar Papa Dextrosa PDA:** de la misma manera se preparo el PDA diluyendo con calor y mediante agitación mecánica 39g de Agar Papa Dextrosa en 1000ml de agua destilada estéril (Escobar, 1998).
  
  - iii. **Medio selectivo para Actinomycetes:** la preparación de este medio se realiza según Valencia, (2001), con las siguientes indicaciones: en 1000ml agua destilada y estéril se diluyen por calor y agitación mecánica los reactivos descritos en la **Tabla 9**

---

<sup>17</sup> Es muy importante tener en cuenta que para obtener resultados confiables y evitar accidentes se debe ser muy riguroso en la asepsia durante todo el proceso (antes-durante y después de la siembra de suelo) y además seguir cuidadosamente las normas de bioseguridad establecidas para el tratamiento de microorganismos. (Duarte, Bravo y Giraldo, 2003)

**Tabla 9.** Medio selectivo para Actinomycetes del suelo.

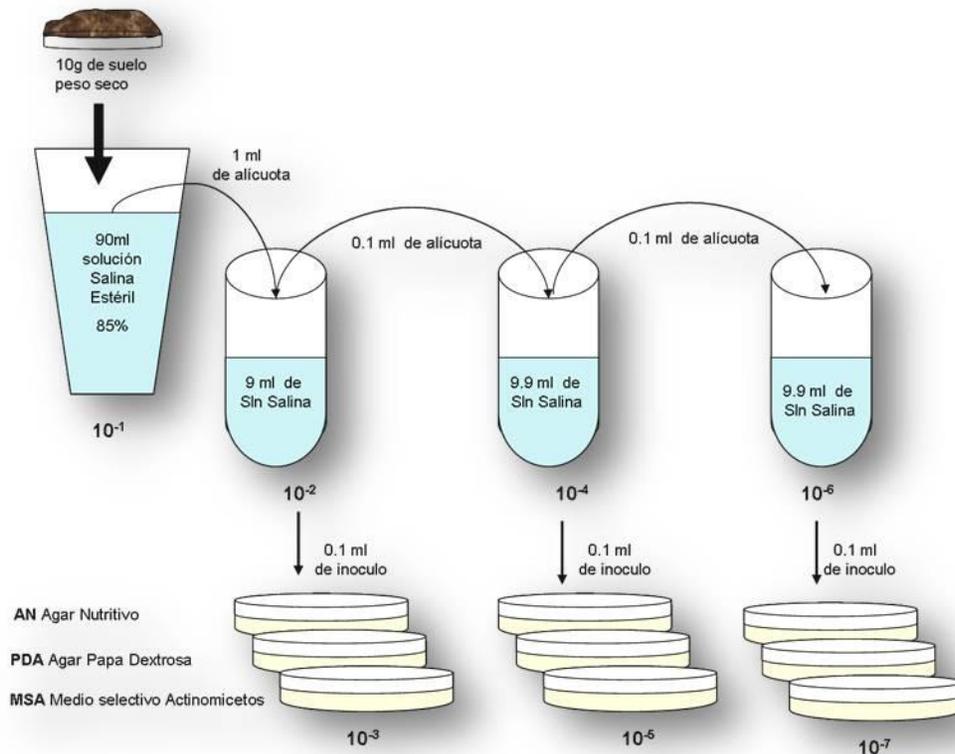
Reactivos	Cantidad g/1000ml
Dextrosa	1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.15
NaNO <sub>3</sub>	0.15
KCl	0.15
Agar bacteriológico	22.50

Fuente: Valencia, (2001)

- **Recepción y procesamiento de muestras:** las muestras se reciben verificando primero que su rótulo tenga la información completa (**Figura 12**), cada muestra se tamiza pasándola por una malla N°10<sup>18</sup>, se colectan de cada muestra tamizada 200g del suelo aproximadamente, y se almacenan en bolsas de papel kraft bien rotuladas a 4°C en un refrigerador convencional, para ser utilizadas durante el transcurso de su valoración, que en tiempo no ha de superar los tres días.
- **Siembra de los microorganismos:** para inocular los medios de cultivo de la flora microbiana presente en las muestras del suelo analizado se desarrolló la metodología propuesta por Alexander, 1982 (citado por Duarte *et al*, 2003), teniendo en cuenta los siguientes pasos:
  - ✓ **Determinación de la humedad del suelo:** se pesan 10g de suelo de cada muestra en cajas de Petri, se rotulan bien y se someten a 105°C en un horno, midiendo cada hora su peso hasta obtener un valor constante en la medición, con este valor se determina la humedad del suelo hallando la diferencia entre el peso inicial y el peso final de cada muestra; en adelante las mediciones de suelo se corregirán teniendo en cuenta su humedad.
  - ✓ **Cultivo de microorganismos:** en 90ml de solución salina estéril se dispersan 10g de suelo peso seco y se homogeniza por agitación mecánica durante 30seg; de esta suspensión se inoculan tres tubos de ensayo que igualmente se homogenizan por agitación mecánica durante 15seg, éste es el inóculo que se adiciona a los medios de cultivo sólidos (AN, PDA y MSA) con un inóculo de 0.1ml (**Figura 13**). Las cajas rotuladas con su respectiva dilución (10<sup>-3</sup>, 10<sup>-5</sup> y 10<sup>-7</sup>), se incuban a 20°C –temperatura promedio del suelo en esta región, durante un periodo de 7 a 10 días –tiempo propicio para observar el crecimiento y desarrollo de las colonias en el medio de cultivo, el conteo de las colonias se realiza con la ayuda de un estereoscopio y del cuenta colonias.

<sup>18</sup> Entre muestra y muestra se esteriliza el tamiz lavándolo con agua destilada y desionizada y aplicándole un poco de alcohol con un atomizador -procedimiento de desinfección necesario para evitar la contaminación de una muestra con la otra. Duarte *et al*, 2003.

**Figura 13.** Método de siembra por dilución (Thomas D., Michael T. 1991)



- **Registro de datos:** el conteo total de las unidades formadoras de colonias – Ufc se desarrollo según Duarte *et al*, (2003); se organizó en una base de datos para registrar la descripción morfológica de cada tipo de colonia y el número de colonias que se formaron por muestra en cada uno de los medios de cultivo, eligiendo el medio con la dilución que presente un conteo entre 30–300 Ufc<sup>19</sup>. Esta base de datos se acompaña además de un registro fotográfico de cada muestra.

**B. Determinación de la presencia de Micorrizas–HMA en raíces:** la determinación de hongos formadores de micorrizas en las raíces (Vesículas e hifas) se realizo con el método propuesto por Phillips & Hayrnan (1970), pasos que se resumen en la **Figura 14**.

<sup>19</sup>Thomas (1991). la medición de **Ufc g<sup>-1</sup>** de suelo, es decir, de Unidades Formadoras de Colonias por gramo de suelo, es una de las unidades en que se expresa la población de microorganismos encontrados en el suelo. Puede definirse, según Thomas, como la cantidad de colonias que se desarrollan sobre un medio de cultivo solido (agar, principalmente) provenientes de la siembra en él de un extracto (lavado) de suelo con una determinada dilución, contadas en una caja de petri, en la que se puedan contar fácilmente entre 30 y 300 colonias individuales. El valor correspondiente a UFC es el numero de las colonias contadas multiplicado por la potencia de 10 positiva de la dilución en la que se hizo el conteo. Por ejemplo, si se contaron 8 colonias en la caja correspondientes a la dilución de 10<sup>-6</sup>, hay 8 x 10<sup>6</sup> Ufc.

**Figura 14.** Método para determinar la de presencia de HMA en raíz



- **Material a procesar:** a 200gr de raíces de la palma del chontaduro, se le extraen las raíces secundarias y/o terciarias, se lavan bien con agua destilada para retirar los restos de suelo, se seleccionan dividiéndoles en 2 submuestras; se cortan en trozos pequeños de 3-4cm de longitud, se pesan en cajas de Petri pequeñas y se secan en un horno a 60°C durante un periodo de 4 - 6 horas
- **Ablandamiento de raíces:** a las raíces secas se adicionan 25ml de KOH al 10% para ablandar los tejidos radiculares y permitir la entrada del colorante, esta reacción se acelera sometiéndola a baño maría a una temperatura de 90°C durante 45 minutos. La función de este reactivo es básicamente ablandar las raíces y crear un medio básico que permita la penetración del colorante. Posteriormente se lavan con agua corriente.
- **Aclarado de raíces:** debido a la coloración oscura de la raíz, se adicionan 12ml de agua oxigenada (H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>) durante 5 minutos.
- **Acidificación del Tejido radicular:** se adiciona 25ml de una solución de ácido clorhídrico –HCl al 10% y se deja reaccionar durante 5 minutos. La función de este reactivo es crear un medio ácido como fijador del colorante.
- **Tinción:** sin lavar pero retirando el exceso de HCL se adiciona el colorante Azul de Tripano, específico para hongos micorríticos y se acelera su reacción sometiéndole durante 5 minutos a 90°C en baño María.
- **Conteo de puntos de infección:** finalmente se montan placas con 5 raíces y se leen en el microscopio a 4x y 10x mediante un barrido enmarcado con el

cubre objetos para reportar la presencia o ausencia de puntos de infección en cada campo de observación de las raíces, **Figura 15**.

**Figura 15.** Método de conteo para HMA en raíz



- **Registro de datos:** Se crea una base de datos en Excel con los siguientes parámetros cualitativos y cuantitativos para el registro de los puntos de infección: N° de raíces infectadas, N° de raíces no infectadas y porcentaje de puntos de infección que se halla de la siguiente manera:

$$\% \text{ Puntos de Infección} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ Puntos infectados}}{\text{N}^{\circ} \text{ Puntos no infectados} + \text{N}^{\circ} \text{ Puntos infectados}}$$

- **Registro fotográfico:** Para cada una de las muestras de raíz seleccionadas se obtiene el trozo con mayor infección y diversidad de estructuras (hifas y vesículas) para el registro fotográfico.

**C. Método para el Conteo de Esporas en suelo.** La metodología que se desarrollo para el aislamiento de esporas en la rizosfera del chontaduro fue la propuesta por Gerdemarm & Nicholson (1963). **Figura 16.**

- **Obtención de la muestra:** se tamiza consecutivamente 10gr de suelo peso seco de la rizosfera del suelo asociado al cultivo del chontaduro por las mallas de 500, 250, 45  $\mu\text{m}$ ; del tamiz de 45  $\mu\text{m}$  se recoge con el mayor cuidado la muestra del polvillo resultante en un tubo de centrifuga, con 30 ml de agua.

Figura 16. Método de aislamiento de esporas en suelo



- **Centrifugación:** al polvillo colectado se le adiciona 15 ml solución de sacarosa al 60%, con una jeringa de manera que la solución quede por debajo del material suspendido en agua. Se centrifuga a 1000rpm durante 15 minutos.
- **Conteo de esporas** Se toman con cuidado los tubos de la centrifuga para no romper la interface de agua–sacarosa que se forma y con la ayuda de una jeringa se recoge la superficie de la interface, el contenido de la jeringa se lleva a una caja de petri y se lava cuidadosamente lo más pronto posible para eliminar la sacarosa, la cual puede plasmolizar las esporas, luego esta solución se pasa por un papel filtro con la ayuda de un embudo para separar las esporas del agua y se hace la observación en el estereoscopio (**Figura 17**).
- **Se reportan los resultados** del número de esporas encontradas por muestra de suelo junto con los de infección en raíz.

Figura 17. Conteo de Esporas en suelo



### 5.3. MÉTODOS PARA LA VALORACIÓN AMBIENTAL

Para generar un diagnóstico integral del entorno se aplicó una lista de chequeo (Canter, 1999), método que permite identificar los elementos del sistema y las variables afectadas por una actividad antrópica en particular, proporcionando una información que resulta particularmente útil en la primera etapa de una investigación; ya que estos datos son la base necesaria para la construcción de la matriz de FEARO (Figuroa *et al*, 1998), método donde se determinan parámetros más significativos y sensibles e identifican los indicadores que tienen mayor grado de dependencia e influencia frente al efecto del manejo tradicional del cultivo de chontaduro sobre el recurso edáfico.

#### 5.3.1 Listas de chequeo o verificación

Este método cualitativo que consiste en la elaboración de una lista ordenada de factores y variables para identificar todas las posibles consecuencias ligadas de manera directa e indirecta a la acción valorada, los factores ambientales son elementos o recursos naturales y culturales del agroecosistema asociados a dicha actividad y las variables son las características ambientales de estos factores que se ven alteradas particularmente; por tanto para ello se realiza un juego de “preguntas de chequeo” que en el diálogo con la comunidad permite tipificar y reconocer los diferentes tipos de impacto que se ejercen sobre la conectividad biológica en las diferentes acciones antrópicas emprendidas para el desarrollo de la actividad a valorar en una Evaluación de Impacto Ambiental-EIA (Canter, 1999).

La principal utilidad de este método es que asegura en una primera etapa de la evaluación un análisis previo y su objetividad en la obtención de información proporciona de forma rápida una idea general sobre aquellas actividades que pueden afectar el ambiente y la salud de la población, los factores y componentes ambientales de los que se necesita una mayor información, lo cual hace posible que ninguna alteración relevante sea omitida, además permite una organización más eficiente a la información del estudio, según los factores y las variables identificadas. Para la selección y organización de los factores, sus variables y la información requerida, se propuso realizar los siguientes pasos:

1. **Recolección de datos primarios y secundarios**<sup>20</sup>: Toda información que contribuye en la valoración del impacto generado por la actividad antrópica a

---

<sup>20</sup> Los datos primarios son aquella información sobre el tema de estudio que no se halla aun documentada y se colecta por medio de encuestas, entrevistas, comentarios, mediciones, etc; la información secundaria son

estudiar debe ser organizada y registrada para su uso adecuado; su sistematización dependerá del tipo de dato (primario o secundario) y de su relevancia para realizar el análisis del impacto.

- 2. Identificación de parámetros:** Además de la información primaria y secundaria, en la valoración ambiental es también esencial seleccionar parámetros específicos para cuantificar la magnitud del impacto que se estudia, estas variables se eligen dependiendo del grado de detalle que se busca con el estudio. En este sentido la información a coleccionar obedece principalmente a los datos que permitan identificar las condiciones en que se halla el subsistema edáfico, en cuanto a su fertilidad estos parámetros o variables son de tipo físico, químico y biológico.

Este método de preguntas y respuestas se aplica a la comunidad involucrada y se fortalece con la estructuración de la matriz de FEARO y el modelamiento fenomenológico gracias a la información secundaria obtenida en la revisión bibliográfica o de otras fuentes y a la determinación de las características valoradas en el sistema. Con estas herramientas de trabajo se evidencian más didácticamente los impactos ambientales positivos o negativos de la actividad valorada.

### 5.3.2 Matriz de FEARO

Según Figueroa (1998), la matriz de FEARO es un método cualitativo de valoración simple muy empleado para estimar impactos ambientales, su nombre se deriva de las siglas de la Oficina Federal de Revisión y Análisis Ambiental del Canadá. Esta matriz es una tabla resumen bidimensional **Figura. 18**, en la que se incorpora la información que se obtiene de la lista de chequeo, es decir, la lista de las acciones asociadas a la actividad antrópica (eje horizontal arriba) y las variables ambientales; parámetros físicos, químicos, biológicos y climáticos asociados al subsistema edáfico en este caso, alterados por dicha actividad (eje vertical izquierdo).

Al cruzar la información de las acciones que se desarrollan para llevar a cabo la actividad analizada con las variables ambientales, se puede determinar si dichas acciones provocan o no, cambios en los factores ambientales, éstos cambios se anotan en la casilla de intersección según la convención que expresa dicho

---

datos preexistentes, es decir, aquellos que se hallan disponibles en diferentes documentos o medios de información como: tesis, revistas, cartografía, etc. Tanto los datos primarios como secundarios son información importante para el buen desarrollo de la investigación. (Steel y Torrie 1985)

impacto, cada convención expresa si la interacción que existe entre la acción y la variable es positiva, negativa, neutra o falta información para calificarla, utilizando un símbolo que corresponde a la gravedad del efecto, lo cual nos da una idea resumida de la naturaleza del impacto encontrado.

**Figura 18.** Matriz FEARO para la identificación de impactos

			Actividad Antrópica valorada																		
			Acción 1			Acción 2			Acción (...n)												
Componentes Ambientales	Abiótico	Suelo	Variable 1																		
		...																			
		...																			
	Biótico	Vegetación																			
		Fauna																			
		...																			
		...																			

Fuente: Modificado de Figueroa *et al* (1998).

Para generar una mejor comprensión del análisis es importante definir el significado de cada uno de los ítems que componen la matriz:

- **Condiciones:** hacen referencia a las circunstancias que afectan los procesos naturales que ocurren en el ecosistema: por ejemplo la deforestación y quema, la aplicación masiva de agroquímicos, la presencia de plagas etc.
- **Componentes:** son la definición de las estructuras más generales que constituyen al ecosistema para hacer más fácil y viable su análisis: componente biótico (vegetación y fauna), C. abiótico (agua y suelo), C.

humano; cada componente está constituido por indicadores básicos o de primer nivel.

- **Indicadores:** en esta categorización se tienen tres niveles de indicadores que en su orden son: indicadores de tercer nivel, es una tipificación de características macro que son afectadas de manera general por la actividad valorada y que encierran a los indicadores de segundo y primer nivel, siguen definiendo en su orden, características o patrones cada vez de mayor de relevancia para el área que se estudia.
- **Actividades:** hacen referencia a las acciones que se desarrollan para llevar a cabo la actividad valorada.

Además se deben definir los criterios bajo los cuales, es valorado el efecto que ejercen las diferentes acciones de la actividad estudiada sobre los componentes del ecosistema.

- **Magnitud:** Severidad de cada impacto potencial con relación a su reversibilidad.
- **Durabilidad:** lapso de tiempo en el que el impacto puede extenderse.
- **Plazo y frecuencia:** el impacto puede ser a corto, mediano o largo plazo y puede ser intermitente o permanente
- **Riesgo:** probabilidad de ocurrencia.
- **Importancia:** valor asignado al impacto con respecto al área por el estado actual.
- **Mitigación:** soluciones disponibles o factibles a los impactos negativos

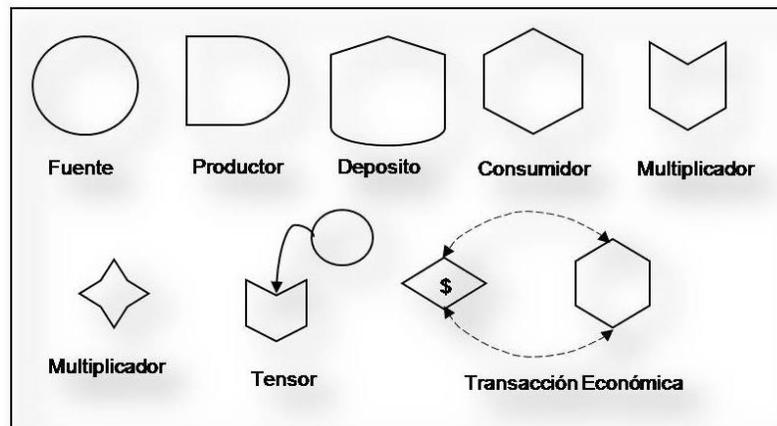
#### 5.4 MODELAMIENTO FENOMENOLÓGICO.

Hoy en día para generar un manejo ecosistémico o de planificación del medio ambiente es indispensable tener una perspectiva integral sobre la dinámica natural del sistema y es aquí donde el modelamiento fenomenológico es una herramienta metodológica y científica que vale pena difundir, ya que este es un proceso de simulación que permite en la valoración de los procesos biológicos, generar una concepción de la dinámica del sistema estudiado de manera más didáctica, para que sea apropiado por todos los actores implicados e interesados en los procesos de manejo, producción y conservación más amigables con el ambiente.

En este sentido, la metodología para el Modelamiento propuesta por el ecólogo Odum (1972) y definida como “El Modelamiento aplicado a la ecología o

Modelamiento Fenomenológico” es la interpretación y/o formulación simplificada que imita un fenómeno del mundo real de modo que puedan abarcarse situaciones complejas y hacer predicciones; ya que esta herramienta mantiene una gran relación entre la particularidad o especificidad de las interacciones con el conjunto del ecosistema pudiendo fácilmente ir de lo particular a lo general y viceversa, los siguientes son los símbolos empleados en un modelo (**Figura 19.**)

**Figura 19.** Simbología para la elaboración de modelos fenomenológicos



Fuente: Modificado Lugo, (1982)

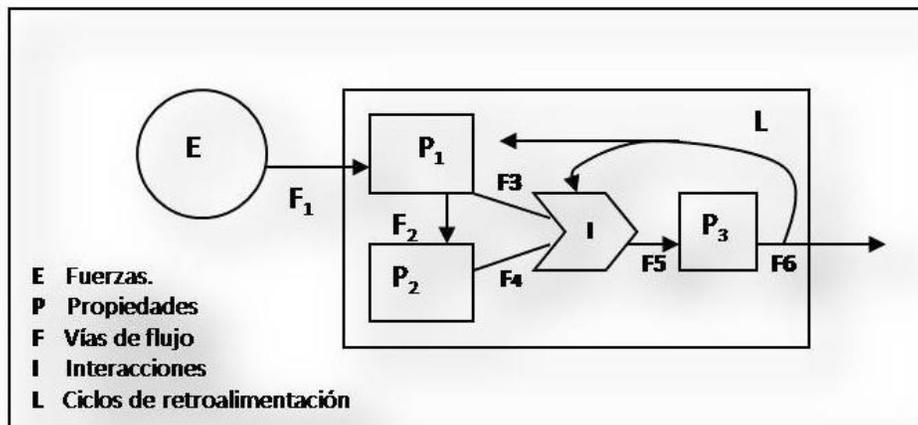
Esta iconografía permite representar los diferentes componentes e indicadores del ecosistema, en un espacio delimitado por el interés del investigador generando un modelo o representación conceptual de un fenómeno que ocurre en un sistema natural, usando la simbología energética empleada en los sistemas informáticos, para representar dicha situación ecológica en un modelo, es necesario tener en cuenta los siguientes componentes, para relacionar los sinergismos que ocurren al interior del sistema e ilustrar los flujos de energía que se desarrollan, los procesos de retroalimentación, la transformación de materia y alteraciones o cambios que ocurren (**Figura 20**):

- **Propiedades (P)**, Variables de estado.
- **Fuerzas (E)**; fuentes externas de energía o fuerzas causales que accionan el sistema.
- **Vías de flujo (F)**, vías que conectan entre sí o con otras fuerzas la transferencia de energía o materia.
- **Interacciones (I)**; ficciones de interacción, las fuerzas y propiedades interactúan para modificar, amplificar o controlar los flujos.

- **Ciclos de retroalimentación (L)**, retorno de una salida para influir un componente o flujo “corriente arriba”

El modelado se inicia con una representación grafica del sistema, reflejando el efecto de la actividad antrópica que se describe en el transcurso la investigación, con la caracterización integral del sistema en un diagrama de diversos compartimentos, como se ilustra en la **Figura 20**.

**Figura 20.** Diagrama de un sistema.



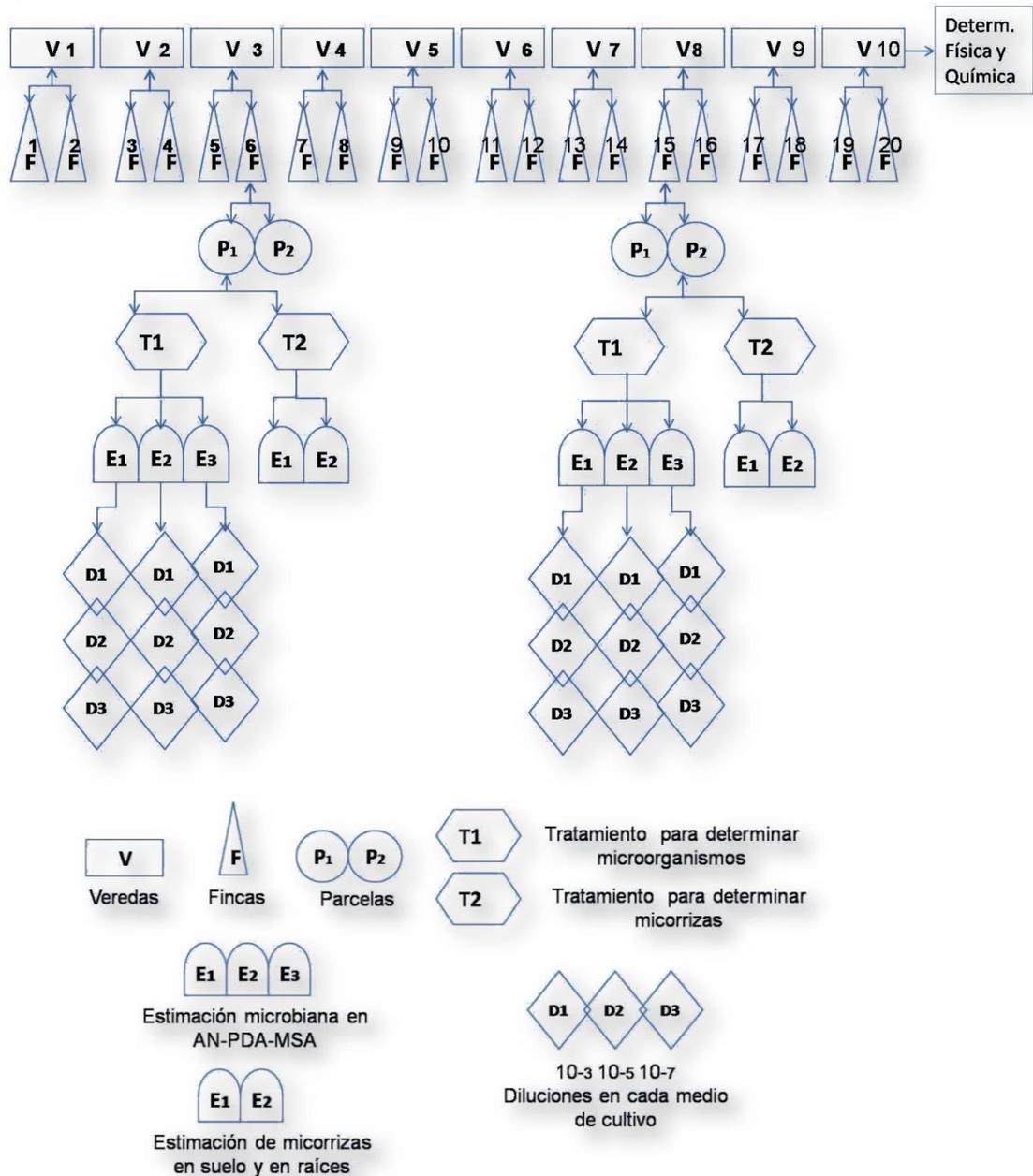
Fuente: Odum E. 1995

## 5.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental consiste en un análisis multifactorial que se aplicó a los datos cuantitativos arrojados por los estudios de laboratorio sobre la microbiota, con la información relacionada de algunas características físicas y químicas del suelo, lo que permitió correlacionar dichas variables, para ello se estableció el diagrama de la **Figura 21**.

El esquema expresa que el área destinada para la investigación la conforman 10 veredas correspondientes al corregimiento de Cuatro Esquinas (El Tambo – Cauca); en cada vereda se muestrearon dos fincas dedicadas al cultivo de la palma de chontaduro, para un total de 20 fincas, caracterizadas por su homogeneidad tanto en el manejo agronómico como en la topografía del cultivo. Las fincas se visitaron con los agricultores propietarios y con ellos se establecieron en el cultivo dos parcelas de 5 x 10m cada una, para un área de 50 m<sup>2</sup>. En total en las 20 fincas se muestrearon 40 parcelas, tomando para el análisis posterior en laboratorio muestras de suelo rizosférico y de raíces de la palma de chontaduro.

**Figura 21. Diseño del trabajo**



A cada una de las 40 muestras de suelo y de raíces tomadas en las 10 veredas se realizaron por una parte, tres análisis microbiológicos para generar una estimación de la población microbiana asociada a la rizósfera de la palma de acuerdo al método propuesto por Alexander, 1982 (citado por Duarte *et al* 2.003) y por otra la determinación de hongos formadores de micorrizas según la metodología propuesta por Phillips & Hayrnan (1970). Igualmente, se determino la presencia de esporas en el suelo con el método de Gerdemarm & Nicholson (1963). Después de colectados y depurados los datos de las variables físicas, químicas y biológicas

estudiadas, la información se almaceno en una matriz de entrada en Excel para correrla en el SPSS v 11. Por el tamaño de muestra tan pequeño estadísticamente lo más recomendable fue realizar una prueba para datos no paramétricos conocida como **Kruscal Wallis**.

### 5.5.1 Diversidad Microbiana

La diversidad microbiana del suelo se estimó gracias al conteo en Unidades formadoras de colonias mediante el índice de diversidad de Shannon H', este índice combina dos componentes de diversidad importantes, el número de especies y la igualdad o desigualdad de la distribución de individuos en la distribución de las especies, mientras más uniforme es la distribución de especies que componen la comunidad, mayor es el valor (Krebs, 1.985).

$$H' = - \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N} \ln \left( \frac{n_i}{N} \right) \quad \text{o} \quad H' = - \sum p_i \ln(p_i)$$

Donde: **H** = contenido de información de la muestra o índice de la especie.  
**Pi** = proporción del total de la muestra que corresponde a la especie i.  
**ni** = Número de individuos por especie  
**N** = Número total de individuos  
**ln** = logaritmo natural

El índice de diversidad oscila entre 0.0 y 5.0, así que 0.0 – 1.5 es baja diversidad, 1.6 – 3.0 mediana diversidad y 3.1 – 5.0 alta diversidad

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 ZONA DE ESTUDIO

En la **Tabla 10**, se describen las características generales de las veredas y fincas analizadas.

**Tabla 10.** Descripción de las veredas y fincas analizadas

Nº	Agricultor	Vereda/Finca	Altura msnm	Observaciones
1.	Aliro Lucio	Palo Verde	1450	Ladera alta, terreno ondulado, manejo tradicional, cultivo mixto
2.	Benito Lucio	Palo Verde	1450	Ladera baja, terreno ondulado, manejo tradicional, cultivo yuca con problemas de pudrición
3.	Carlos Giron	La Aguadita	1000	ladera Media, ladera baja
4.	Olimpo Castro	La Aguadita-El Danubio	1280	Manejo tradicional, cultivo en micelanza, aplican SEVIN
5.	Julio Cesar Moncada	Golondrinas – La Esperanza	1140	Ladera baja, manejo tradicional, cultivo en micelanza, chontaduro, caña de azúcar, yuca, cacao, pastos
6.	Luz Marina Mambuscay	Golondrinas-Bella Vista	1380	Ladera media, lote problema (rastreo)
7.	Leon Gueche	El Porvenir-La Palmera	1320	Ladera alta, potrero, ganado doble propósito
8.	Ernestina Solarte	El Porvenir-La Palmera 2	1300	Ladera media, manejo tradicional. Fumigación con SEVIN, cultivo en micelanza
9.	Elvia Alegría	El Progreso-La Esperanza	1300	Ladera media potrero pasto de grama
10.	Lidia María Chávez	El Progreso- El Ceibo	1400	Ladera media, manejo tradicional, fumigan con SEVIN, cultivo en micelanza
11.	Fredy Hoyo	Senda Magines-El Descanso	1390	Ladera media, manejo tradicional, cultivo en micelanza, aplican SEVIN
12.	Diovigildo Montenegro	Senda Magines-La Primavera	1440	Ladera alta, manejo tradicional, cultivo en micelanza, aplican SEVIN
13.	Jair Dulcey	San Roque Oriente-El Naranjo	1320	Ladera medio, manejo tradicional, cultivo en micelanza, aplican SEVIN
14.	Fidencio Valencia	San Roque Oriente-El Palmar	1420	Ladera alta, tratamiento orgánico del chontaduro a base de vervena blanca citronela, borrachero, barbasco y jazmín.
15.	Nubia Navarro	La Libertad- El Guadual	1340	Manejo tradicional, cultivo en micelanza, aplican SEVIN
16.	Pastor Fajardo	La Libertad- El Alto	1400	Manejo tradicional, cultivo en micelanza, aplican SEVIN
17.	Margarita Mora	Cuatro Esquinas-La Herencia	1400	Manejo tradicional, cultivo en micelanza, aplican SEVIN
18.	Agustín Gutiérrez	Cuatro Esquinas – El Naranjito	1380	manejo tradicional, cultivo de chontaduro y café
19.	Saturnino Girón	Morcón- La Bonanza	1060	Ladera baja, manejo tradicional, cultivos de chontaduro, yuca y guamos
20.	Leonilde Alegría	Morcón -La Peña	1200	Ladera alta, manejo tradicional, cultivo chontaduro, cacao, café y papaya

## 6.2 ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO

La medición de la calidad de suelos mediante el empleo de indicadores permite entender cómo evoluciona su estado (capacidades y propiedades) bajo determinados sistemas de manejo y articularle a una agricultura sustentable. A diferencia de la antigua visión reduccionista, que sólo considera al suelo como fuente de nutrimentos y sostén para las plantas cultivadas, el concepto calidad de suelos ubica a este recurso como el centro de procesos ambientales a todos los niveles. Y para ello la integración en el análisis de sus características físicas, químicas y biológicas es fundamental.

La valoración de algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del subsistema edáfico asociado al cultivo el chontaduro en Cuatro Esquinas, El Tambo – Cauca, se realizó bajo criterios propuestos por la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo -SCCS (2000 y 2005), según las propiedades físicas, químicas y biológicas consideradas como óptimas en los agroecosistemas andinos a estos datos cuantitativos se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

### 6.2.1. Caracterización física

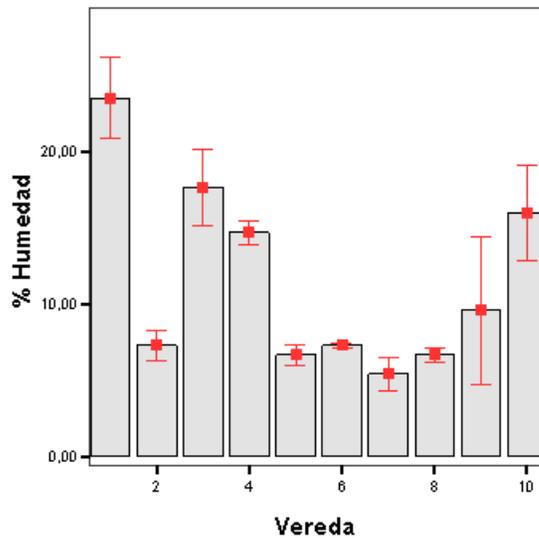
Los resultados obtenidos en los análisis físicos (% de Humedad, densidad real, % de saturación de agua, textura y estructura), realizados a las muestras del suelo estudiado, en la **Tabla 11**, se observa que los suelos en general presentan una textura franco arcillosa, once de las muestras la condición de franco arcillosa arenosa, y dos muestras presentan una textura arcillosa y arcillosa arenosa. Con estas características se denota el alto predominio en el porcentaje de arenas indicando un potencial peligro de erosión.

Se observa además, un porcentaje de humedad higroscópica en general bajo para la mayoría de las muestras atribuible al alto porcentaje de arenas, **Figura 22**. Además, los suelos analizados presentan altas saturaciones de agua y densidades reales comprendidas en el rango de normal a bajo (2.3 - 2.5 g/cc), con excepción de las muestras 14 y 15, que presentan una densidad real alta (**Figuras 23 y 24**).

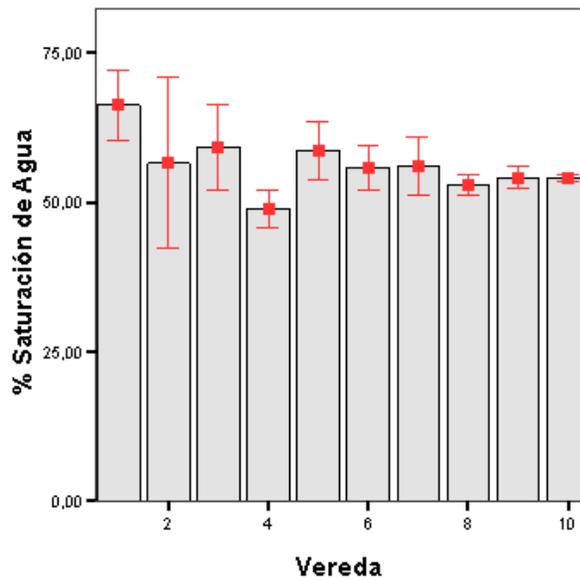
**Tabla 11.** Determinación de la textura en el suelo de Cuatro Esquinas

No.	TEXTURA			TEXTURA DEL SUELO
	%ARENA	%ARCILLA	%LIMO	
1.	*N.D	N.D	N.D	*NO DETERMINADO
2.	N.D	N.D	N.D	NO DETERMINADO
3.	N.D	N.D	N.D	NO DETERMINADO
4.	51,10	26,78	22,12	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
5.	70,49	15,45	14,06	FRANCO ARENOSO
6.	42,84	41,75	15,41	ARCILLOSO
7.	51,18	35,28	13,54	ARCILLOSO ARENOSO
8.	56,45	28,78	14,77	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
9.	57,75	25,41	16,84	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
10.	55,27	28,43	16,30	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
11.	70,90	14,53	14,57	FRANCO ARENOSO
12.	62,98	23,70	13,32	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
13.	50,81	27,80	21,39	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
14.	58,87	21,23	19,90	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
15.	63,19	25,27	11,54	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
16.	43,53	37,44	19,03	FRANCO ARCILLOSO
17.	65,73	19,67	14,60	FRANCO ARENOSO
18.	53,15	28,13	18,72	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
19.	62,97	25,71	11,32	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
20.	62,78	22,02	15,20	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO

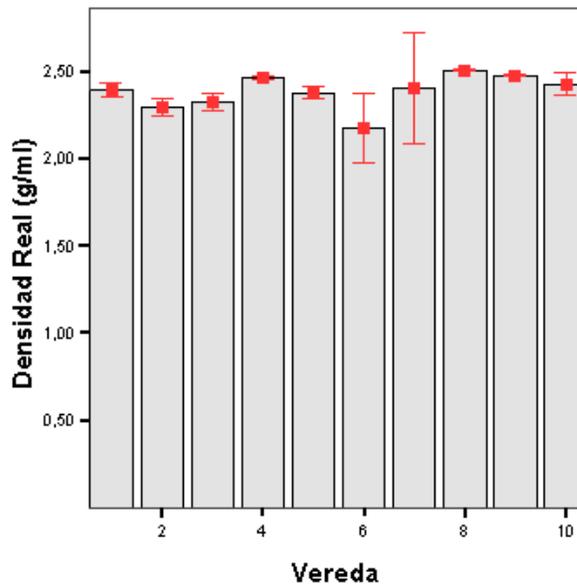
**Figura 22.** Determinación del porcentaje de humedad en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.



**Figura 23.** Determinación de la saturación de agua en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.



**Figura 24.** Determinación de la densidad real 10 veredas de Cuatro Esquinas.



Según la **Tabla 12**, podemos afirmar que los resultados de las determinaciones físicas realizadas no presentan ningún grado de significancia entre las veredas, esto se debe a que el tamaño de la muestra es muy pequeño como para detectar si hay o no realmente diferencia entre ellas.

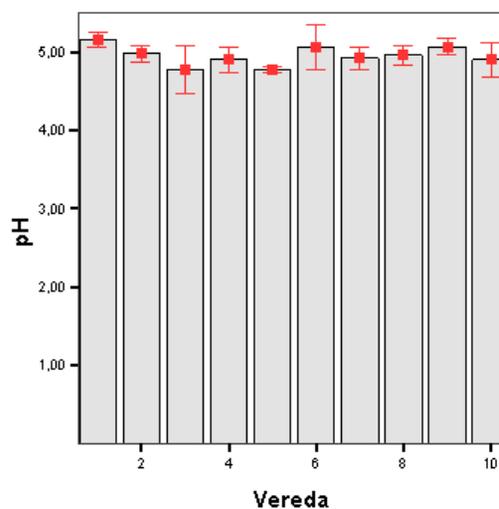
**Tabla 122.** Valor promedio (X) y desviación estándar (S) para los parámetros físicos de las muestras de suelo analizadas.

No	Veredas	% Humedad	Densidad Real (g/ml)	% Saturación de Agua
		X ± S	X ± S	X ± S
1.	Palo Verde	23,51 ± 2,68	2,39 ± 0,04	66,28 ± 5,85
2.	La Aguadita	7,29 ± 1,00	2,30 ± 0,05	56,55 ± 14,33
3.	Golondrinas	17,69 ± 2,50	2,33 ± 0,05	59,27 ± 7,26
4.	Porvenir	14,70 ± 0,79	2,46 ± 0,01	48,93 ± 3,26
5.	Progreso	6,67 ± 0,68	2,38 ± 0,04	58,64 ± 4,95
6.	Senda Magines	7,30 ± 0,14	2,17 ± 0,20	55,89 ± 3,71
7.	San Roque Oriente	5,40 ± 1,13	2,41 ± 0,32	56,01 ± 4,92
8.	Libertad	6,65 ± 0,52	2,51 ± 0,01	52,84 ± 1,73
9.	Cuatro Esquinas	9,57 ± 4,83	2,48 ± 0,01	54,17 ± 1,84
10.	Morcón	15,99 ± 3,10	2,43 ± 0,06	54,02 ± 0,51
<b>Total</b>		<b>11,48 ± 6,16</b>	<b>2,39 ± 0,04</b>	<b>56,26 ± 6,29</b>
<b>Significancia</b>		<b>0,06</b>	<b>0,17</b>	<b>0,38</b>

### 6.2.2 Caracterización química.

Los valores encontrados en las principales determinaciones químicas realizadas a las muestras de suelo de Cuatro Esquinas, permiten reconocer los siguientes atributos: que las veredas entre ellas y frente a las características químicas valoradas, no presentan ningún nivel de significancia **Tabla 13**, lo cual puede atribuirse al tamaño de la muestra.

En general se observa que nueve de los suelos presentan una acidez muy fuerte (> 4.5), atribuible a los altos contenido de aluminio (>1.5 meq/100g suelo) intercambiable presentes en ellos **Figura 25 y 26**, que producen toxicidad no solamente a las raíces de las plantas inhibiendo su división celular sino también al suelo porque afectan su bioestructura, ya que se rompen las uniones entre la fracción orgánica e inorgánica de la fase coloidal, resaltándose estas condiciones en los suelos 3, 9, 15 y 20, donde los niveles de aluminio son muy altos.

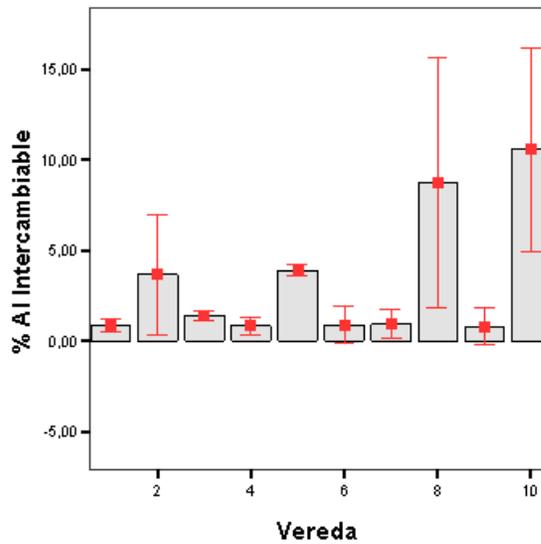


**Figura 25.** Determinación del pH.

**Tabla 133.** Valor promedio (X) y desviación estándar (S) para los parámetros químicos de las muestras de suelo analizadas.

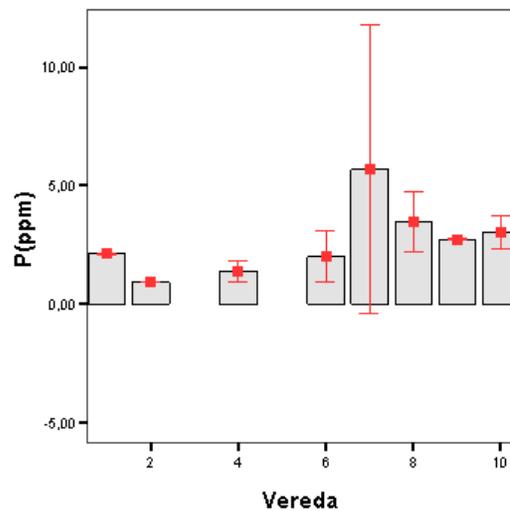
No Veredas	pH	% Materia Orgánica	Relación C/N	P(ppm)	CIC (meq/100)	Ca/Mg	% Al Inter.
	X ± S	X ± S	X ± S	X ± S	X ± S	X ± S	X ± S
1. Palo Verde	5,16 ± ,09	3,49 ± 0,83	8,19 ± 1,26	2,13 ± 0,04	17,76 ± 2,40	1,88 ± 0,30	0,86 ± 0,38
2. Aguadita	4,98 ± ,11	1,64 ± 0,64	5,31 ± 1,50	0,94 ± 0,01	27,26 ± 7,69	1,27 ± 0,32	3,65 ± 3,36
3. Golondrinas	4,77 ± ,31	3,38 ± 2,63	8,14 ± 1,93	0,00 ± 0,00	27,83 ± 7,62	1,48 ± 0,83	1,39 ± 0,29
4. Porvenir	4,90 ± ,17	2,41 ± 0,71	9,51 ± 1,48	1,39 ± 0,42	16,47 ± 1,05	1,80 ± 0,04	0,83 ± 0,49
5. Progreso	4,77 ± ,04	3,36 ± 2,62	8,83 ± 1,29	0,00 ± 0,00	27,66 ± 6,95	1,54 ± 0,08	3,87 ± 0,31
6. Senda Magines	5,07 ± ,29	3,41 ± 1,42	15,47 ± 4,00	2,01 ± 1,09	27,84 ± 0,52	2,82 ± 2,06	0,89 ± 1,05
7. San Roque Oriente	4,92 ± 0,14	3,82 ± 2,52	17,99 ± 1,60	5,69 ± 6,06	22,70 ± 2,13	3,69 ± 3,15	0,91 ± 0,81
8. Libertad	4,96 ± 0,13	3,06 ± 0,65	12,92 ± 3,08	3,47 ± 1,29	18,25 ± 1,44	2,10 ± 0,82	8,73 ± 6,90
9. Cuatro Esquinas	5,07 ± 0,10	2,68 ± 2,79	15,21 ± 6,67	2,73 ± 0,04	20,85 ± 0,80	1,85 ± 0,54	0,78 ± 1,03
10 Morcón	4,90 ± 0,21	2,70 ± 0,01	16,52 ± 1,30	3,03 ± 0,67	18,74 ± 14,21	1,23 ± 0,04	10,57 ± 5,61
<b>Total</b>	4,95 ± 0,18	2,99 ± 1,44	11,81 ± 5,89	2,67 ± 2,17	22,53 ± 6,42	1,96 ± 1,18	3.25 ± 4.14
<b>Significancia</b>	<b>0,38</b>	<b>0,94</b>	<b>0,20</b>	<b>0,24</b>	<b>0,19</b>	<b>0,61</b>	<b>0,14</b>

**Figura 26.** Determinación del Aluminio intercambiable en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.



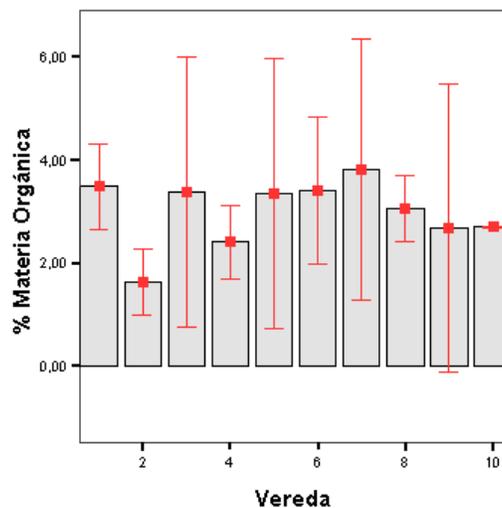
Las restantes muestras presentan una acidez fuerte (4.5-5.5), limitándose la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes especialmente la del Fósforo, lo cual es evidente en todos los suelos (**Figura 27**); presentándose una fuerte deficiencia de este nutriente (< 15 ppm), pero su deficiencia también se atribuye no solo a la fuerte acidez que origina una fuerte adsorción por intercambio aniónico sobre el complejo coloidal, sino también al bajo contenido de materia orgánica que es su principal fuente y a los altos niveles de Al intercambiable que le atrapan en compuestos insolubles; afectándose severamente la productividad de estos cultivos, ya que este nutriente interviene en numerosos procesos metabólicos de las plantas.

**Figura 27.** Determinación del Fosforo en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.



Las muestras 1, 8, 12, 13 y 18 presentan contenidos bajos de aluminio, debido a un posible encalamiento, ya que se observa un nivel medio a alto de Ca, anormal en este tipo de suelo, indicando que el encalamiento neutraliza la acidez debida al aluminio, pero no es suficiente para elevar el valor del pH hasta un valor normal. Según los porcentajes de materia orgánica (**Figura 28**), obtenidos en las determinaciones de estos suelos, se encontró deficiencia en 13 de las muestras analizadas, condición que sumada al alto porcentaje de arenas de estos suelos potencian su inminente peligro de erosión, ya que la carencia de materia orgánica limita la formación de la bioestructura del suelo<sup>21</sup>. Además esta deficiencia determina también la limitación en algunos elementos que están asociados a ella como son Nitrógeno, Fósforo, Azufre y Boro. Solamente 5 de los suelos presentan un nivel medio o adecuado de M.O y se resalta la muestra N° 14 con un alto nivel de M.O, correspondiente al manejo orgánico en dicha finca.

**Figura 28.** Determinación de la materia orgánica en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.

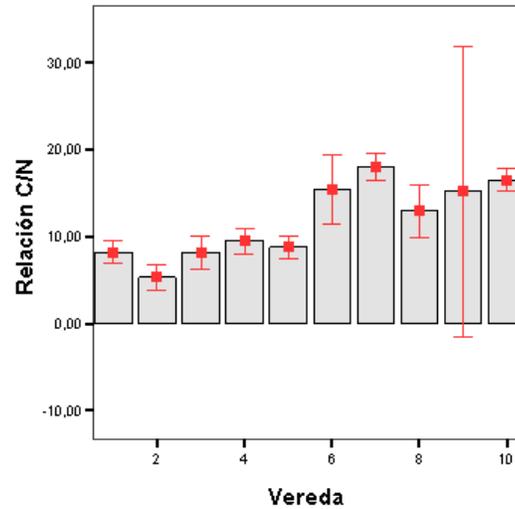


En cuanto al Nitrógeno, solamente seis muestras presentan un nivel normal (0.15 – 0.25% de N), las muestras 5 y 10 presentan un nivel alto, las demás muestras presentan un nivel bajo, atribuible a la deficiencia de materia orgánica, lo que indica un pobre desarrollo de los microorganismos y del cultivo. En la relación Carbono – Nitrógeno C/N, por la deficiencia de estos elementos, encontramos que

<sup>21</sup> **La Bioestructura** del suelo es el término que corresponde a la formación de los complejos organominerales denominados agregados secundarios, los cuales le confieren al suelo una adecuada estructura, una sorprendente estabilidad y una gran resistencia al agua. Este proceso se lleva a cabo gracias al aporte en ácidos poliurónicos, que hacen tanto la materia orgánica como la presencia de los microorganismos del suelo, ácidos le confieren a las partículas del suelo o agregados primarios la posibilidad de cimentarse entre ellas, con la deficiencia en M.O, este proceso no puede llevarse a cabo. De la misma manera un alto grado de acidez en el suelo limita la formación de la bioestructura porque no permite ni la humificación de la M.O, ni la adecuada actividad microbiana, impidiendo la producción de ácidos poliurónicos y de hifas por parte de microorganismos que son los que envuelvan dichos agregados.

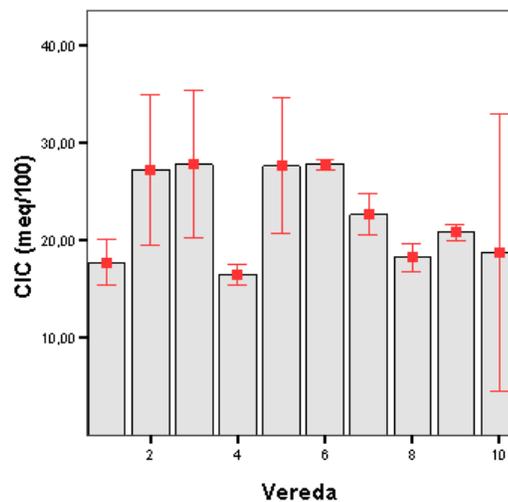
doce de las muestras presentan una relación baja ( $< 10$ ), lo cual confirma una fuerte mineralización de materia orgánica sin reposición de ella (**Figura 29**) las muestras restantes presentan una alta relación C/N, indicando fuerte deficiencia de Nitrógeno.

**Figura 29.** Determinación de la relación C/N en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.



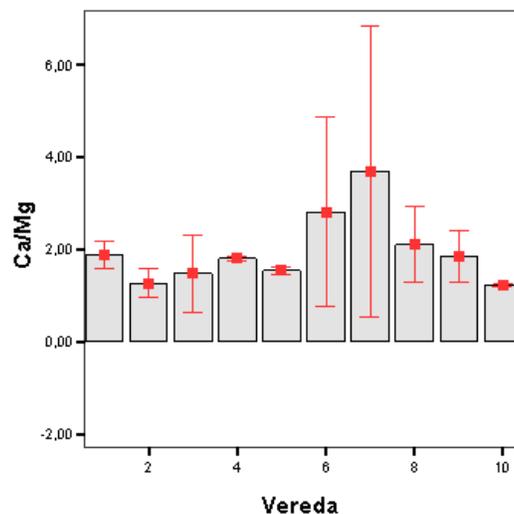
En cuanto a la C.I.C se resalta un nivel muy bajo en el suelo N°19, que se debe al bajo contenido de M.O, así como al alto contenido de arenas presentes en este suelo, seis suelos presentan un nivel normal de C.I.C y las muestras restantes presentan valores altos atribuidos al contenido de arcillas presentes en ellos, puesto que en general los contenidos de M.O son bajos. **Figura 30.**

**Figura 30.** Determinación de la relación C/N en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.



En cuanto a las bases de cambio en general la mayoría de los suelos presentan deficiencia de calcio y magnesio, se aprecia cómo se manifestó anteriormente que los niveles de calcio y magnesio en algunos suelos, están en un nivel medio y/o alto, indicando un fuerte encalamiento con fuentes de cal tipo dolomita. La mayoría de las muestras presentan niveles altos de K, provenientes del tipo de arcillas presentes en ellos. Solamente en dos muestras (5 y 6), se observa deficiencia de este elemento y en cinco de las muestras se presenta una relación Ca/Mg óptima, en las muestras restantes la relación Ca/Mg es baja, predominando así, la deficiencia de calcio; de acuerdo a esta relación, en la muestra N°14 predomina la deficiencia de Mg (**Figura 31**). En la mayoría de los suelos se observa deficiencia en los elementos menores Cu, B, Fe, Mn y en ningún caso se observa deficiencia de Zn.

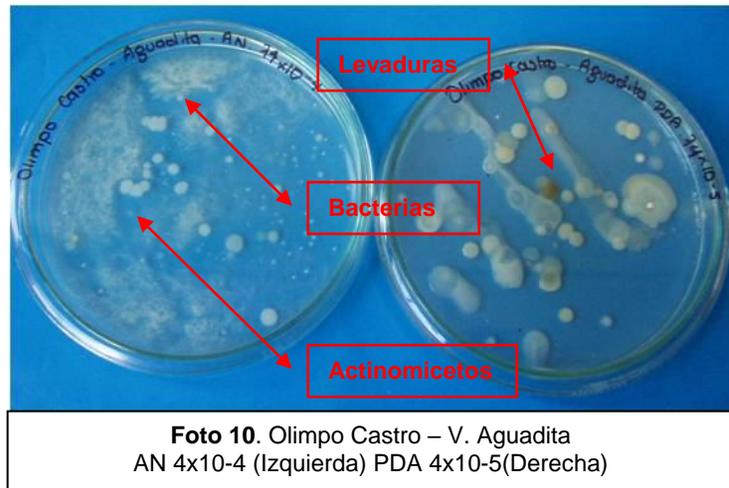
**Figura 31.** Determinación de la relación Calcio-Magnesio en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.



De acuerdo a las consideraciones anteriores se podría inferir que el manejo que se da a estos suelos afecta tanto las propiedades físicas como químicas, ya que presentan niveles tóxicos de aluminio intercambiable, una acidez muy fuerte, pérdida notoria de bases de cambio, bajos contenidos de materia orgánica, poca disposición de micro y macronutrientes y pérdida de ellos por su continua extracción sin reposición y preocupantes condiciones de stress hídrico, potencializando así, una fuerte erosión y degradación de estos suelos, de no tomarse medidas de manejo adecuado. Es puede atribuirse a la fuerte y repetitiva aplicación de plaguicidas utilizados para el control del barrenador del fruto, lo cual afecta los componentes biológicos del suelo, incluyendo a los microorganismos encargados del ciclaje de nutrientes y de los procesos de transformación adecuada de la materia orgánica y a la baja diversidad biótica del agroecosistema.

### 6.2.3 Caracterización microbiológica

La determinación de la población microbiana de las 20 muestras de suelo analizadas por las 10 veredas en el corregimiento de Cuatro Esquinas – El Tambo, arrojó los siguientes resultados: de manera general se observa que los conteos en bacterias, hongos y levaduras fueron muy pobres, a diferencia de las lecturas realizadas para la presencia de actinomicetos, encontrándose en ellos el mayor número de unidades formadoras de colonias –ufc, y morfotipos por muestra de suelo **Foto 10**.



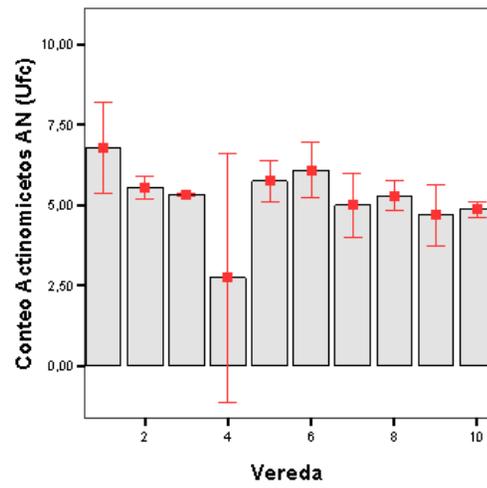
**Foto 10.** Olimpo Castro – V. Aguadita  
AN 4x10-4 (Izquierda) PDA 4x10-5(Derecha)

La Foto detalla la presencia de diferentes morfotipos de bacterias y actinomicetos, algunas zonas de inhibición en el crecimiento de la bacteria filamentososa por la presencia de actinos (izq. Arriba) y la presencia de levaduras blancas que se esparcen por el medio de PDA (derecha).

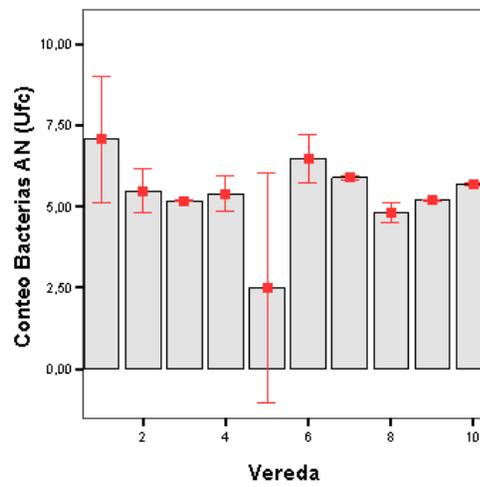
Los actinomicetos presentaron un promedio de 4 morfotipos por muestra y conteos de 26.814.667 ufc/gramo **Figura 32**, en su orden le siguieron bacterias con 2 morfotipos por muestra y conteos de 11.091.666 ufc/gramo de suelo **Figura 33**, levaduras con 1 morfotipo por muestra y un conteo de 1.958.333 ufc/gramo suelo **Figura 34**, y hongos promedio < 1 morfotipo por muestra y conteo 33.333 ufc/gramo de suelo **Figura 35**.

El conteo de hongos en unas pocas muestras fue muy alto, por encima de los rangos reportados pero con diversidades muy bajas, lo cual puede estar relacionado con la presencia de enfermedades como la que ocasiona la pudrición en las raíces de los cultivos de yuca, en el chontaduro en las demás muestras fueron como se menciono conteos muy bajos.

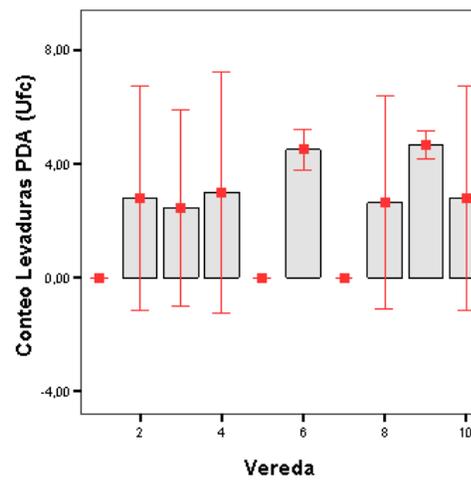
**Figura 32.** Presencia de actinomicetos en los suelos analizados



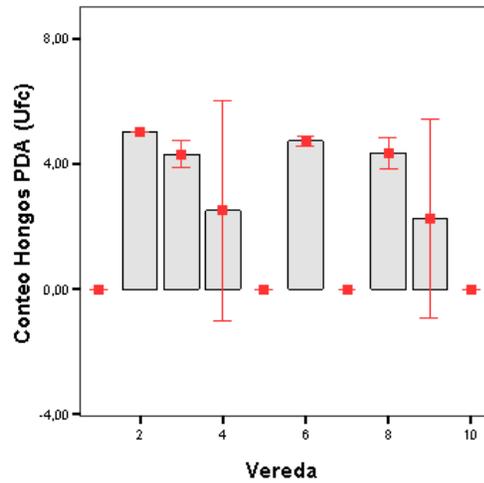
**Figura 33.** Presencia de Bacterias en los suelos analizados



**Figura 34.** Presencia de Levaduras en los suelos analizados



**Figura 35.** Presencia de Hongos en los suelos analizados



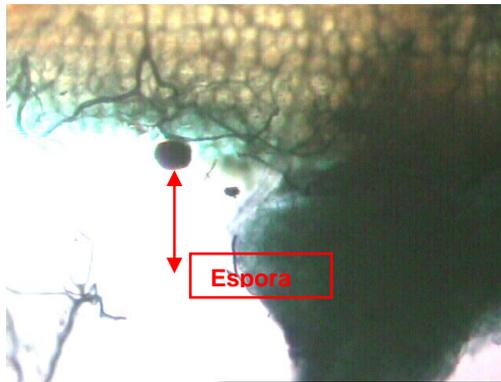
**Foto 11.** Julio César Moncada V. Golondrinas  
Diversidad de Actinomicetos –Chontaduro

En la **Foto 11.** Observamos una gran diversidad microbiana tanto en los medio de AN, como PDA, AN  $5 \times 10^4$  (Arriba Centro), PDA  $5 \times 10^4$  (Abajo Izq) y PDA  $6 \times 10^5$  (Abajo Der) Presencia de diferentes morfotipos de colonias para Bacterias, Actinomicetos y Levaduras.

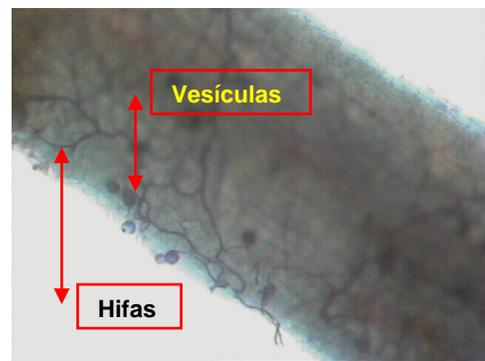
Para la determinación de la presencia de hongos formadores de micorrizas (HMA) en la raíz de la palma del chontaduro, fue necesario adaptar el método propuesto por Phillips & Hayrnan (1970) a las condiciones fisiológicas de la raíz del chontaduro, ya que esta planta posee raíces gruesas, sin pelos radicales y de color oscuro, por lo tanto fue necesario variar en el método la concentración y el tiempo de exposición del tejido radicular a los diferentes reactivos. Se encontró

que existe una infección radicular del 87% (**Figura 36**); porcentaje que está por encima de los datos reportados para este cultivo en suelos del Guaviare (67% de infección radicular, Salamanca C., 2001) y de los reportados para micorrización artificial donde solo alcanza valores del 53%. (Sánchez 1999).

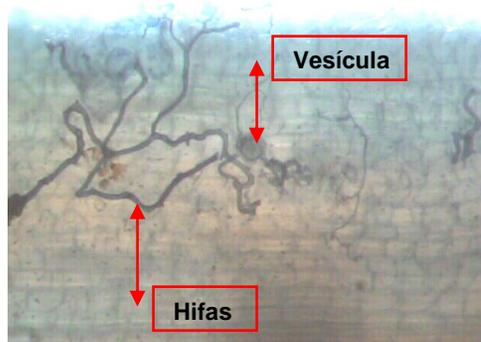
En las **Fotos 12, 13 y 14** se observan las estructuras que hacen parte de la relación simbiótica Riz-Hongo: **vesículas** (sacos de almacenamiento de nutrientes del hongo); **hifas** (hilos o miscelio fúngicos con los que se propaga el hongo, de característica biotrófica, es decir, solo existe en presencia de asociación con otro organismo vivo) y **esporas** o conjunto de células auxiliares aisladas con paredes gruesas de gran resistencia que pueden sobrevivir por años y cuya germinación inicia un nuevo ciclo de simbiosis.



**Foto 12.** MVA -Chontaduro  
Espora unida al sistema radical 10x

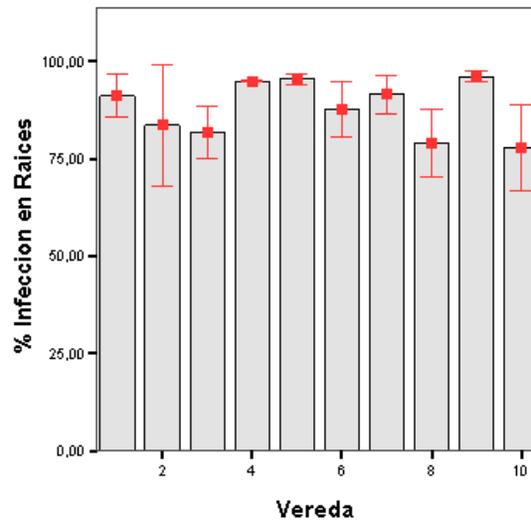


**Foto 13.** MVA -Chontaduro  
Hifas y vesículas Obj. 4x



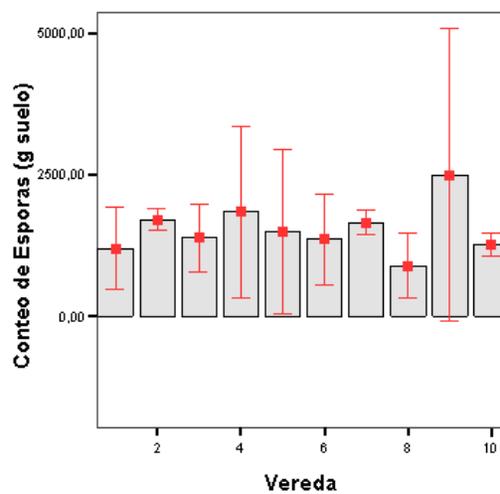
**Foto 14.** MVA -Chontaduro  
Hifas y vesícula Obj. 10x

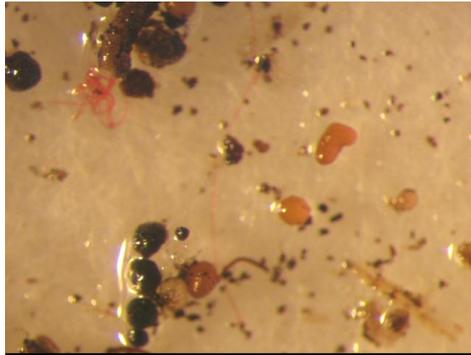
**Figura 36.** Porcentaje de Infección de micorriza en Rizosfera de Chontaduro



Los conteos encontrados para la presencia de esporas por gramo de suelo también son muy altos con respecto a los datos reportados, en todas las muestras se encontró un promedio de 122 esporas/gramo de suelo (**Figura 37**), correspondientes a cinco tipos de morfologías diferentes y que serán clasificadas posteriormente. (**Fotos 15 y 16**), estos conteos están muy por encima de los datos reportados para este cultivo en suelos del Guaviare donde Salamanca C. (2001) obtiene conteos de 6 – 8 de esporas por gramo de suelo.

**Figura 37.** Conteos de esporas en suelos del cultivo de Chontaduro





**Foto 15.** MVA – Chontaduro  
Esporas Vistas en Estereoscopio

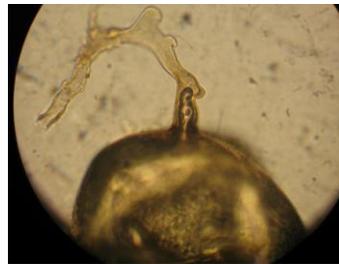


**Foto 16.** MVA-Chontaduro  
Esporas Vista en Estereoscopio

En las **Fotos 15 y 16**, se detallan algunas de esporas encontradas en la rizosfera del chontaduro, observadas en el estereoscopio y en las **Fotos 17 y 18**, se observan dos esporas diferentes vistas en el microscopio a un aumento de 10x y 40x, además se detalla que conservan aún parte del micelio que les unía al hongo micorrítico en la raíz de la palma.



**Foto 17.** MVA Espora del suelo  
– Chontaduro  
Vista en estereoscopio



**Foto 18.** MVA Espora del suelo  
– Chontaduro  
Vista en estereoscopio

Según la **Tabla 13**; los conteos que se realizaron para la presencia de hongos, levaduras, actinomicetos, bacterias y micorrizas, no presentan una diferencia significativa entre ellos y las veredas analizadas, lo cual se atribuye como ya se ha mencionado al tamaño de la muestra.

**Tabla 14.** Valor promedio (X) y desviación estándar (S) para parámetros los biológicos de las muestras de suelo analizadas.

No	Veredas	Actinos	Levaduras	Hongos	Bacterias	Actinos	Esporas (g suelo)	% Infección
		PDA (Ufc)	PDA (Ufc)	PDA (Ufc)	AN (Ufc)	AN (Ufc)		en Raíces
		X ± S	X ± S	X ± S	X ± S	X ± S	X ± S	X ± S
1.	Palo Verde	3,87 ± 2,74	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	1,93 ± 1,37	1,41 ± 1,00	720,54 ± 509,50	5,47 ± 3,87
2.	Aguadita	0,76 ± 0,54	3,96 ± 2,80	0,00 ± 0,00	0,67 ± 0,48	0,34 ± 0,24	195,87 ± 138,50	15,72 ± 11,12
3.	Golondrinas	0,12 ± 0,09	3,46 ± 2,45	0,42 ± 0,30	0,04 ± 0,02	0,03 ± 0,02	604,58 ± 427,50	6,73 ± 4,76
4.	Porvenir	0,00 ± 0,00	4,24 ± 3,00	3,54 ± 2,50	0,55 ± 0,39	3,87 ± 2,74	1520,28 ± 1075,00	0,06 ± 0,05
5.	Progreso	4,30 ± 3,04	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,54 ± 2,50	0,62 ± 0,44	1460,18 ± 1032,50	1,29 ± 0,91
6.	Senda Magines	3,96 ± 2,80	0,71 ± 0,50	0,18 ± 0,13	0,74 ± 0,53	0,86 ± 0,61	794,79 ± 562,00	7,05 ± 4,99
7.	San Roque Oriente	0,71 ± 0,50	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,05	0,99 ± 0,70	214,25 ± 151,50	4,95 ± 3,50
8.	Libertad	0,58 ± 0,41	3,73 ± 2,64	0,49 ± 0,35	0,31 ± 0,22	0,48 ± 0,34	564,98 ± 399,50	8,68 ± 6,14
9.	Cuatro Esquinas	0,38 ± 0,27	0,49 ± 0,35	3,17 ± 2,24	0,01 ± 0,01	0,96 ± 0,68	2592,25 ± 1833,00	1,39 ± 0,98
10.	Morcón	0,14 ± 0,10	3,96 ± 2,80	0,00 ± 0,00	0,05 ± 0,03	0,24 ± 0,17	213,55 ± 151,00	11,11 ± 7,86
<b>Total</b>		2,14 ± 0,48	2,62 ± 0,59	2,39 ± 0,53	1,52 ± 0,34	1,47 ± 0,33	933,53 ± 208,74	8,78 ± 1,96
<b>Significancia</b>		<b>0,54</b>	<b>0,66</b>	<b>0,11</b>	<b>0,14</b>	<b>0,41</b>	<b>0,96</b>	<b>0,14</b>

## Presencia de Actinomicetos y Micorrizas

Los resultados anteriores permiten reconocer que la pérdida general de la fertilidad natural del suelo potencia el desarrollo y actividad de grupos microbianos específicos, convirtiéndose estos en factores claves para la recuperación de los niveles nutricionales del suelo, como una respuesta natural al estrés que enfrenta el geosistema tendiente a la degradación, es así como, la sinergia Suelo – Biotas ecológicamente *genera interacciones que permiten tolerar y/o restablecer el equilibrio metaestable en el agroecosistema*. Siendo los microorganismos funcionales un gran instrumento para la regeneración natural de los suelos y su fertilidad; y la condición que explica la baja productividad y a su vez el sostenimiento del cultivo del chontaduro a pesar de las condiciones tan limitantes en las que se desarrolla.

En este sentido, es de resaltar por una parte, la alta presencia y mayor diversidad de los actinomicetos frente a los demás grupos de microorganismos encontrados en las muestras del suelo analizadas, presentando una ubicuidad del 90% en todas las muestras analizadas, teniendo en cuenta que estos suelos presentan condiciones de pH y de materia orgánica muy limitantes para el desarrollo de todos los microorganismos, por esta razón, se proponen tres posibles explicaciones a este fenómeno:

- a. En estos suelos con pH fuertemente ácido, los actinomicetos están inhibidos, formando esporas como estructuras de resistencia, que en otras condiciones como por ejemplo medios más nutritivos y temperatura más adecuadas para su desarrollo entre otras condiciones físicas y químicas, pueden germinar y desarrollar las poblaciones de actinomicetos, las cuales son conocidos por la importante capacidad potencial de producir ampliamente antibióticos que pueden inhibir otros organismos como bacterias, hongos y levaduras. Que en el laboratorio, las condiciones que se suministran al cultivo para el conteo de los microorganismos, permiten que estos se desarrollen y así presentarse dicha dominancia.
- b. Los actinomicetos en estos suelos se han adaptado a éstas condiciones extremas y están obteniendo su nutrición de sustancias como la celulosa, polisacárido complejo que es el componente principal de la pared celular de las plantas y la lignina, polímero de refuerzo presente en la pared celular, que confiere carácter leñoso a las plantas con una notable presencia en aquellas que alcanzan grandes alturas por su mayor necesidad de soporte y conducción, Sustancias presentes en desechos orgánicos como espinas, hojas y tallos y que sobresalen en el cultivo del chontaduro; sustancias

recalcitrantes, es decir de difícil descomposición, sobre todo en suelos pobres donde no existe la diversidad metabólica dada por los microorganismos que puedan desencadenar procesos de descomposición de estas sustancias, haciendo de los actinomicetos organismos oportunistas.

- c. En suelos con aplicaciones masivas y continuas de plaguicidas (cerca de 11 diferentes), principalmente organoclorados, que contienen aromáticos, pueden haberse inhibido el resto de la flora microbiana más sensible a dicha contaminación y haberse establecido patrones de selección artificial siendo esta la razón de la dominancia en la población de actinomicetos, organismos referenciados como descomponedores precisamente de aromáticos.

En cuanto a los altos porcentajes de infección micorrítica (89%) y de esporas presentes por gramo de suelo (en promedio 122 esporas/g de suelo), puede asegurarse como se reporta por varios autores, que esta asociación es de vital importancia para el cultivo del chontaduro, ya que en suelos de origen volcánico como los nuestros, la alta presencia de los aluminio-silicatos de las arcillas y el aluminio intercambiable  $[Al^{+3}]$ , ocasionan la retención del fósforo que se halla en la solución del suelo por la formación de compuestos insolubles con el aluminio, una acidez muy alta y un gran estrés en el sistema radical de las plantas que impide su división celular y la translocación de nutrientes como P, S, K, N, Ca y Mg entre otros, necesarios para un normal desarrollo y el crecimiento de las plantas.

En este sentido, la importancia de las micorrizas se relaciona con la absorción y uso eficiente de estos nutrientes, especialmente del fósforo<sup>22</sup>, además esta plantación presenta raíces gruesas y sin pelos radicales, por lo cual, depende de las micorrizas para tomar más eficientemente el agua, el fósforo y los demás nutrientes del suelo. Generándose una altísima dependencia tanto por su necesidad nutricional como por su fisiología radicular. Por esta razón es posible proponer que la especie misma del chontaduro en este agroecosistema es una planta **micotrófica dependiente**, que además tiene factores intrínsecos que permiten “atrapar” un gran número de micorrizas. Por otra parte las micorrizas se asocian también a la posibilidad de tolerar situaciones climáticas que inducen a

---

<sup>22</sup> Sánchez (1999) afirma que la asociación simbiótica entre las raíces de la mayoría de las plantas y los hongos micorrícicos, aumentan el volumen del suelo explorado por las raíces para la absorción de nutrientes poco móviles, tales como P, Zn, Cu y B, entre otros, ya que con la propagación del micelio del hongo se crea una red que actúa como malla de expansión al suelo adyacente del sistema radical del cual se benefician las plantas, siendo éste, un sistema radicular que pueda “minar” más de lo que las raíces de la planta logran y permitiéndole una mayor capacidad de absorción, por otra parte el sistema de vesículas del hongo le permite tener un especie de almacenamiento o reservorio tanto de agua como de nutrientes que serán utilizados en las épocas de mas carencia como son por ejemplo, las largas temporadas de verano.

niveles de stress hídricos en las planta como sucede con los regímenes climáticos de esta zona geográfica, donde hay épocas prolongadas de verano y de sequías a lo largo del año e inviernos intensos y cortos, que contribuyen también a la pérdida potencial de la bioestructura del suelo ocasionándose encharcamientos o erosiones cada vez mas fuertes según el clima que se presenta.

Puede inferirse entonces, que nos enfrentamos a un gran potencial en el sentido de que las micorrizas y los actinomicetos están siendo un factor de resiliencia que ha permitido al cultivo de chontaduro enfrentar las condiciones limitantes de un suelo degradado tanto por factores antrópicos como por las condiciones geomorfológicas y climáticas que presenta, los resultados comprueban así, la hipótesis planteada:

Puede afirmarse desde el punto de vista ecosistémico que las inadecuadas prácticas de manejo agrícola son el tensor que altera las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo asociado al agroecosistema de chontaduro, lo cual se refleja en su baja fertilidad y productividad; dicha alteración también es posible evidenciarla a escala microscópica, ya que al valorar la composición microbiana del suelo, esta fue el mejor indicador de su calidad, pues el análisis de su dinámica revela no solo la alteración del equilibrio en sus comunidades como consecuencia dicho manejo, sino que además, es éste el factor que está permitiendo el sostén del agroecosistema.

Razones por las cuales puede reconocerse que a pesar de que los suelos del corregimiento de Cuatro Esquinas presentan una grave tendencia a la degradación por dicho manejo, naturalmente todos los sistemas poseen mecanismos que trabajan en forma más eficiente para tratar de soportar y/o superar niveles de estrés en los sistemas y esto es posible gracias a las interacciones que se establecen entre sus componentes para mantener un equilibrio metaestable convirtiéndose en un factor de resiliencia, fuerza que es tangible solo cuando la capacidad de carga de un sistema no sobrepasa su umbral de recuperación, en este sentido los microorganismo del suelo y en especial grupos específicos como las Micorrizas y los Actinomicetos que son las poblaciones que predominan en estos suelos, son uno de los factores indispensables para generar procesos de tolerancia frente a las condiciones inadecuadas en las que se desarrolla este sistema de producción agrícola.

En este sentido, no puede olvidarse que la naturaleza tiende a mantener un equilibrio ecológico y este es más estable cuanto mayor sea la diversidad de organismos e interacciones que en él se establezcan.

## **6.3 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

### **6.3.1 Lista de chequeo o verificación**

Los impactos ambientales significativos pueden identificarse a partir del listado de afirmaciones genéricas y globales, que revelan el efecto de las diferentes acciones que se desarrollan para llevar a cabo la actividad denominada manejo agronómico del cultivo del chontaduro en Cuatro Esquinas-Tambo, en este sentido las listas de chequeo o control son un método de identificación muy simple por lo que se usan para valoraciones preliminares y sirven primordialmente para identificar factores ambientales y proporcionar información sobre la predicción y evaluación de impactos. Esta lista de chequeo (Anexo I, **Tabla 1.**), es una modificación de la propuesta metodológica que aparece reportada en el manual de impacto ambiental Canter (1999).

Con la aplicación de esta lista puede deducirse que la actividad antrópica valorada ejerce un impacto notorio sobre la comunidad y sobre los bienes ambientales, que es importante profundizar en la indagación para reconocer si se están afectando con dichas acciones sistemas con alguna categoría de conservación especial, la información colectada para poder dar respuesta a esta lista de chequeo se reflejara sustentando cada una de las interacciones que se cruzan en la matriz de FEARO.

### **6.3.2 Matriz de FEARO**

Gracias al enfoque sistémico y holista de la investigación, a la información (cualitativa y cuantitativa) colectada para valorar la actividad antrópica y a la orientación que da la lista de chequeo se establecieron los siguientes componentes y acciones para considerar el impacto que ocasiona el manejo agronómico en el suelo asociado al agroecosistema del chontaduro en Cuatro Esquinas; por medio de una matriz de FEARO:

Este método cuenta con la gran ventaja de poderse realizar de manera preliminar sin necesidad de contar con conocimientos ambientales profundos para hacer un análisis integral de los impactos que ocasiona la actividad valorada, además gracias a este método pueden identificarse con un presupuesto de investigación más económico, dichos impactos y establecerse la relación que existe entre las causas y los efectos que se generan entre los agentes impactantes que ocasiona la actividad y las variables afectadas por la misma para ser corregidos (Figueroa

A., *et al.*, 1998). Permitiendo tener una visión integrada del efecto que causan las acciones sobre los componentes del ecosistema.

Conjuntamente la matriz no solo ayuda a anticipar en qué áreas del ambiente se pueden presentar impactos, sino también a determinar deficiencias de información y permite establecer medidas que mitiguen, canalicen o potencialicen los efectos adversos y/o benéficos que pueden ocasionar las diferentes acciones asociadas al desarrollo de la actividad antrópica valorada.

✓ **Componentes ambientales abióticos:**

**Suelo, Agua, Clima,**

El componente edáfico, se valora en la matriz teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y geológicas particulares; resaltando especialmente para este sistema de producción agrícola una zona muy importante dentro del suelo **la rizosfera**, ya que su exposición al manejo antrópico afecta directamente su dinámica natural; la valoración del componente agua se hace teniendo en cuenta el efecto potencial que puede estar causando al actividad sobre **Aguas subterráneas** (acuíferos y reservorios de agua en la profundidad del suelo) por los procesos de infiltración y sobre las **Aguas superficiales** (ríos, quebrada, lagunas y lagos) por los procesos de drenaje y escorrentía; de la misma manera se sopesara el impacto de dicho manejo sobre el componente climático en el cual se tienen en cuenta la precipitación, temperatura, viento; según el efecto que puedan causarse sobre su calidad ambiental.

✓ **Componentes ambientales bióticos:**

**Vegetación y fauna, relaciones ecológicas y hombre.**

La Vegetación, la fauna y el hombre son los componentes bióticos que van a valorarse identificando el efecto de la actividad sobre su fisiología, estructura y composición; características más generales para tener en cuenta en este tipo de valoración ambiental y que permiten reconocer si el efecto altera la armonía en estos componentes, unida dicha valoración a las interacciones ecológicas que pueden desarrollarse en el agroecosistema para sostener su dinámica

**Acciones desarrolladas en el manejo agronómico del chontaduro**

Las siguientes son las acciones culturales que tradicionalmente el agricultor lleva a cabo en el manejo agronómico del cultivo del chontaduro y que se tomaron como referentes para la realización de la matriz.

## A. Preparación del Terreno

Esta labor agronómica puede llevarse a cabo durante un periodo de casi tres meses o más, según la extensión del terreno que se vaya a sembrar, y comprende acciones como, la limpieza y adecuación del área, el establecimiento de caminos de acceso según el trazado que se va dando a la plantación y a la manera en que se agrupan las palmas, Si el cultivo se establece a partir de bosque primario o secundario, la preparación del terreno se efectúa en forma tradicional: Socola, tumba, repique y descotoneo. Ya los agricultores evitan en cierta manera la quema porque hay algo de conciencia frente a los daños que se producen al suelo. En Cuatro Esquinas, la siembra se realiza en potreros y rastros en forma localizada.

El trazado es la operación por medio de la cual de acuerdo con la distancia escogida, se señalan los puntos (hoyos) donde se siembran las palmas, con el trazado se obtienen las siguientes ventajas: Buena orientación de la plantación, conveniente circulación del aire, facilidad de limpieza del suelo. (surcos), fácil control de plagas y enfermedades, y además se preservan los suelos de la erosión cuando se traza en curvas a nivel (sentido contrario a la pendiente) o en triángulo en terrenos pendientes o ligeramente inclinados.

El trazado puede ser **en cuadro** (este sistema se recomienda para terreno plano), o en **triángulo** que se recomienda para terrenos inclinados, pero también se puede adoptar para los suelos planos con el fin de aprovechar más su superficie; con este sistema se pueden sembrar de 278 a 462 palmas por hectárea; seguidamente al trazado se hacen los hoyos en los que se van a ir sembrando las plántulas de las palmas para el trasplante<sup>23</sup> definitivo a campo abierto. Los hoyos se deben construir con dimensiones de 40 cm x 40 cm por lado y 40 cm de profundidad.

## B. Fertilización y protección del cultivo

### FERTILIZACIÓN

Los agricultores de esta región basan la fertilización de sus cultivos en los análisis de suelos que realizaron al iniciar la plantación para lo cual se recomienda aplicar

---

<sup>23</sup> El trasplante se realiza después de una minuciosa selección, de los 3 a los 6 meses de edad de las plántulas, cuando estas alcanzan una altura de 25 a 30 centímetros, debe coincidir con la época de lluvias, de preferencia en días con alta nubosidad, con el fin de que las plántulas tengan una mejor adaptación; si las plántulas provienen de eras, se procura sacarlas con cespedón y regar horas antes de la extracción para ablandar el suelo y facilitar el entesaque, cuando las plántulas se han desarrollado en bolsas, el transporte a sitio definitivo se facilita siempre que se disponga de medios adecuados para el traslado de las plántulas como equinos, carretas manuales, etc.

350gr de caldolomita en el momento del ahoyado, como enmienda para mejorar la acidez del suelo, quince días después al momento de la siembra la aplicación de 300gr de calfos en un hoyo cercano al de la palma a 50 cm de profundidad y 3Kg de materia orgánica en el hoyo de la palma; seis meses después 150gr de 10-30-10; y repetir cada año el encalamiento con cal dolomita y fertilización separada su aplicación por quince días.

## **CONTROL FÍSICO**

**Control de malezas (arvenses):** Según los agricultores es necesario mantener el cultivo libre de la competencia con otras plantas ya que estas ejercen efectos perjudiciales al competir por luz, espacio, agua y elementos nutritivos disponibles en el suelo. La limpieza se limita a la labor que consiste en retirar constantemente con machete o manualmente las plántulas que van creciendo en torno a las eras, en las calles y alrededor de la plantación, con el cuidado de no cortar brotes o macollos como las raíces superficiales del chontaduro.

**Limpieza general o plateo:** El plateo es una forma de limpieza pero orientada a mantener libre de malezas y hojarasca la zona cercana al tallo de la palma en un radio de 20 a 30 centímetros que se va ampliando con la madurez a un radio de 50 centímetros o más; esta práctica se realiza cada dos o tres meses para permitir inicialmente el desarrollo de las raíces y posteriormente facilitar la labor de fertilización, al igual que poder recoger los frutos caídos por la acción del barrenador (cucarrón) o por deficiencias nutricionales, se efectúa en forma manual y con machete.

Esta práctica se convierte en un control que puede ser preventivo Como método preventivo donde se eliminan del área los posibles focos de infección, tales como malezas, palmas enfermas y desechos que pueden servir de hospederos a plagas y enfermedades. El agroecosistema en Cuatro Esquinas se caracteriza por la ausencia de esta práctica, raramente son objeto de labores culturales de mantenimiento por lo cual la base (plato) de las palmas presentan además de malezas, acumulación de restos vegetales, como hojas viejas de la palma que se desprenden del tronco y que a través del tiempo forman un colchón de varios centímetros de espesor, lo que obstaculiza la recolección de los frutos infestados por larvas del insecto, En consecuencia, los agricultores deben adoptar la práctica de recoger en las épocas de floración tanto los botones florales desprendidos como los frutos infestados por el insecto y proceder a enterrarlos en huecos de 50 centímetros de profundidad.

Otra consecuencia de esta acumulación de malezas y hojarasca en el plato o base de la palma es la presión y el ahogamiento de las raíces superficiales de la palma,

por eso esta reacciona “embalconandose” tratando de defenderse y poder respirar libremente.

## CONTROL QUÍMICO

**Control de plagas y enfermedades:** Esta práctica consiste en revisar la plantación como mínimo una vez cada quince días para detectar a tiempo plagas como hormigas arrieras, insectos comedores de hojas, escamas, chupadores, ácaros, roedores y enfermedades producidas por hongos como: *phytophthora sp*, *phytium sp* y *rhyzoctonia sp* o hongos foliares como *curvularia sp*; *cercospora sp*.

La plaga de mayor importancia económica en el cultivo del chontaduro es el barrenador del fruto, ya que puede ocasionar la pérdida total de la producción de frutos en áreas con altas poblaciones del insecto, para evitar su ataque se acostumbra aplicar indiscriminadamente altas dosis de agroquímicos con el fin de prevenir y controlar el ataque masivo trayendo esto como consecuencia la contaminación por la aplicación exagerada de hasta 15 a 17 veces por cosecha/racimo de estos agrotóxicos de categorías toxicológicos II y III, insecticidas de síntesis química del grupo de los carbamatos como el **SEVIN**), FUNCOP (2000).

En una presencia permanente del insecto es necesario efectuar aplicaciones frecuentes (una por semana) desde el momento de la polinización (6 horas después de la apertura de la inflorescencia) hasta cubrir todo el periodo de desarrollo del racimo (90-120 días). Esta práctica como ya se ha mencionado, ocasiona problemas de intoxicación al agricultor y daños al medio ambiente (envenenamiento de aguas, suelos y fauna silvestre) y presencia de residuos tóxicos en el fruto. Corpoica, (2000).

## CONTROL BIOLÓGICO

Este control se realiza de modo inducido o natural<sup>24</sup>, es el agroecosistema del chontaduro se conoce y se han aplicado de manera inducida la propagación o multiplicación en el campo de ciertas especies que parasitan o depredan a otras especies de organismos plagas controlando así las poblaciones, en este sentido para el control del barrenador y las demás plagas, la aplicación al suelo, con

---

<sup>24</sup> Entre los ejemplos de control biológico naturales se tiene a la Microavispa (*Trichogramma sp*) parasitoide de huevos de más de 250 especies de mariposas, Crisopa (*Crysoperla externa*) depredador de diferentes clases de insectos plagas como ninfas de mosca blanca, trips, escamas blandas, ninfas de salta hojas, huevos y larvas pequeñas de mariposas y muchos otros insectos de cuerpo blando, que son organismos muy benéficos en un ecosistema pero que han desaparecido por el uso irracional de agroquímicos.

patógenos como el hongo *Beauveria bassiana*, contra pupas y adultos, les ha dado muy buenos resultados hasta obtener efectividad superior al 90% seis días después de trazado el suelo, se encuentra en productos comerciales como: **Bassianil, Bauveril, Bassafer**, otros como **Dipel, Turicide, Bombardier** (Bacteria *Bacillus thuringiensis*), controla gusanos tierreros, medidores, cogolleros, pasadores; **Vertilec, Vercani, Vertipride 21** (hongo *Verticillium Lecani*) controla moscas blancas, afidos, pulgones. **Biocid** (fermentado de plantas), insecticida natural, controla ácaros, chinches, afidos, trips, minadores, babosas. **Metabiol** (*metarhizium anisopilae*) hongo que controla larvas de mariposas, cucarrones, minadores, chizas, trips, mión de los pastos, loritos verdes y sogata.

**Lonlife** (extracto de cítrico), **Q2000** (yodo libre) son **fungicidas** que controlan hongos patógenos causantes de enfermedades como Ascochyta, Fusarium, Bothrytis, Alternaria, Rhizoctonia, Sigatoka, Sphaeroteca, Colletotrichum, Cercospora, Septoria, Phythium, Phytophthora, ideal para enfermedades en vivero (almacigo). Otros **bactericidas** que controlan bacterias y son muy usados son: Erwinia, Pseudomonas y Xanthomonas, Agrobacterium, Corynebacterium y **Viricidas** de amplio espectro y rápida degradación.

Todos estos son productos de los que los agricultores ya tienen referencia porque al parecer han sido bombardeados por las casas agrícolas con esta nueva herramienta para el control de plagas, pero frente a este método de control no hay ningún tipo de conocimiento de su dinámica en los agroecosistemas. Y estos productos siguen siendo recomendados y se encuentran en el comercio sin ninguna dificultad más que su costo. Por otro lado unos pocos agricultores manejan y recomiendan el extracto de tabaco, que sirve como repelente para la gran mayoría de insectos, especialmente para el barrenador del fruto, aplicado preferiblemente en el plato de la palma que es donde se hospeda este insecto. Igualmente aplicar el insecticida natural conocido y evaluado en la región por FUNCOP (2000).

### C. COSECHA

**Embolse de racimos:** Este método consiste en cubrir las inflorescencias de chontaduro con una bolsa de polietileno en las primeras 6 horas de ocurrida la apertura de la espata floral (**Foto 19**), ya que se considera que en este periodo se ha producido la polinización y es el momento de mayor actividad del barrenador adulto. La bolsa debe ser transparente calibre No. 2, con dimensiones de 80 cms de ancho por 1 metro de largo, se deja hasta el momento de la cosecha, si la bolsa ha permanecido en buen estado, esta se lava con una solución de creolina y se puede reutilizar para un nuevo embolse. Con esta práctica de control mecánico

se ha obtenido una protección del 100 % de los racimos, cuando ésta se hace a tiempo (a la apertura de la inflorescencia). En caso de deterioro de las bolsas se recogen y se entierran.



**Foto 19.** Embolsado de racimos Chontaduro



**Foto 20.** Cosecha de los racimos - Chontaduro



**Foto 21.** Marota - Chontaduro

### **Maroteo y Recolección**

Esta acción se realiza entre los 2.5 y 3 años después del trasplante, pero su producción rentable empieza al cuarto año, donde la planta produce racimos con buenas características para el mercado. La cosecha se debe realizar entre las 6 y 10 de la mañana y entre las 3 y 6 de la tarde, cuando la temperatura es baja (fresca) cosechar en horas calientes del día perjudica el estado de la fruta, esta respira y transpira más y su vida útil postcosecha va a ser corta (delicada para el transporte y almacenamiento) (**Foto 20**).

El método de recolección de la cosecha de chontaduro en la región de Cuatro Esquinas se realiza con una marota o subidor (**Foto 21**), el agricultor ha hecho una distribución de las palmas de tal manera que por cada 4 o 5 palmas cercanas se elige una de ellas para realizar el asenso con la marota y poder así fertilizar, controlar la presencia de plagas o enfermedades y cosechar, ya que la palma se maltrata con esta actividad; para la cosecha del fruto el operario asciende por la palma ayudado de este implemento, corta el racimo y amarrándolo de una manila baja el racimo sin causarle daño alguno, o lo tira y este es recibido por otros dos operarios con una lona para amortiguar el golpe del racimo en su caída, seguidamente los frutos cosechados son llevados al sitio de acopio en la finca.

El resultado que se obtiene en la aplicación de la matriz (**Figura 38.**) es de un lado una **alteración adversa y significativamente adversa** al correlacionar

especialmente las acciones de fertilización y protección del cultivo con los diferentes componentes del agroecosistema, y que frente a éste, es necesario fortalecer la investigación pues se desconoce aun la magnitud y tendencia del efecto que causa en los componentes agua y clima; y su posible repercusión sobre zonas aledañas y otros ecosistemas; y principalmente investigaciones sobre la exposición de la población y las diferentes comunidades bióticas a esta contaminación. En los registros del hospital San José, de la ciudad de Popayán se reconoce el constante ingreso de niño y adultos del corregimiento de Cuatro Esquinas, con graves enfermedades epidérmicas y respiratorias, los cual los médicos residentes atribuyen en gran medida a la sensibilidad de esta población frente al manejo de agronómico valorado.

La actividad afecta el equilibrio metaestable de los componentes bióticos del sistema, lo cual vemos reflejado especialmente en la valoración de la población microbiana del suelo donde se encontró una muy baja diversidad pero un gran potencial de resiliencia, sin olvidar que la dinámica de la biota obedece a la dirección que en el tiempo y el espacio llevan los componentes abióticos así que es el componente antrópico el único capaz de reorientar dicha tensión que tiene al agroecosistema en una productividad decadente.

La continua aplicación de los agroquímicos que se usan para proteger el agroecosistema está alterando significativamente su calidad y las plagas y enfermedades con el paso del tiempo se hacen cada vez más resistentes, y más complejas las posibilidades de controlarlas, una nueva y gran amenaza de ello son las nuevas biotecnologías que para el control biológico inducido se están recomendando en la zona y que silenciosamente pueden ser para los agroecosistemas andinos una grave opción si se implementan sin un claro conocimiento de la dinámica del sistema.

La matriz revela que es necesario indagar más profundamente para conocer si a nivel educativo esta actividad está ocasionando o no un efecto sobre la población, teniendo en cuenta que este manejo es resultado de un pobre conocimiento ambiental, y que el componente antrópico como podemos observar en el modelamiento fenomenológico (**Figura 39.**) se comporta como si fuese un componente ajeno al sistema, porque no hay un sentido de apropiación verdadero frente a los bienes ambientales de los cuales se abastece, y porque se ha centrado en la necesidad económica olvidando la importancia de proyectar sus actos a futuro, pensando en la salud ambiental y en las futuras generaciones.

En este sentido, se propone replantear desde una adecuada gestión lo que es innegable, que este agroecosistema es una débil opción económica y ambiental;

pero que siendo ésta labor, la única que conocen y saben cómo llevar a cabo, y además que es un gran potencial para la industrialización y la comercialización, la comunidad no puede quedarse pensando que no es ni rentable, ni sostenible, solo debe centrar sus esfuerzos en construir estrategias que le permitan manejar de una mejor manera el agroecosistema del cual hace parte. **(Foto 22)**



**Foto 22.** Degradación del Suelos en Cuatro Esquinas – Chontaduro

**Figura 38.** Matriz FEARO “Manejo agronómico del cultivo del Chontaduro en Cuatro Esquinas – El Tambo (Cauca)”.

Actividad Antrópica: Manejo tradicional del cultivo del Chontaduro		Componentes Ambientales		Conveniones		Preparación		Fertilización y protección del cultivo				Cosecha			
						limpieza y adecuación Terr	Camino acceso y transporte	Corrección y enmienda	Fertilización	Control Químico	Control Físico	Control Biológico	Embolsoado	Maroteo y Recolección	
Abiótico	Suelo	Morfología													
		Geología													
		Fertilidad													
	Agua	Calidad													
		Caudal													
	Clima	Precipitación													
		Viento													
		Temperatura													
	Vegetación	Función			+										
		Estructura			+										
		Composición			+										
	Fauna	Función													
		Estructura													
		Composición													
	Relaciones ecológicas	Diversidad													
		Hábitat y Nichos													
		Paisaje													
		Cadena trófica													
Biótico	Hombre	Aspectos socioeconómicos	+	+	+										
		Salud													
		Empleo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		Educación													
		Cultura	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Fuente: Adaptado de Figueroa A. *et al*, 1998.

## 6.4 MODELAMIENTO FENOMENOLÓGICO

El modelo realizado representa al agroecosistema del chontaduro; el cual se enmarca en la clasificación de los agroecosistemas tradicionales, es un sistema de producción agrícola abierto, con entradas, retroalimentación, y salidas, donde se modelan especialmente las dos interacciones que rigen de manera general su dinámica y que señalan a su vez al subsistema edáfico como el eslabón más importante al buscar cumplir el objetivo que rige a todos los sistemas agrícolas el de “optimizar su cadena productiva”. En este sentido, se enfoca la mirada en el suelo ya que solo es posible estabilizar y fortalecer en el tiempo la cadena productiva de este y de todos los agroecosistemas si se orienta su manejo desde la necesidad de lograr la calidad agroambiental de este bien.

1. **La acción antrópica:** esta interacción que denominamos en el agroecosistema del chontaduro como **manejo agronómico**, son las acciones que lleva a cabo el agricultor para obtener beneficio del sistema que maneja, dicha interacción influye directamente tanto en la calidad del agroecosistema como en su productividad, la dinámica del agroecosistema revela que esta interacción se establece como un gran **tensor** para el agroecosistema, ya que los resultados de ella son de manera general la degradación de la calidad del suelo, la baja productividad del cultivo, el efecto nocivo en la salud y la limitada remuneración económica que genera el agroecosistema.
2. **La acción microbiana:** es la interacción que se establece entre plantas–microorganismos–suelo, esta interacción natural en un ecosistema se ve alterada por la acción antrópica orientando su dinámica según el impacto que genere el hombre en los diferentes componentes del sistema productivo. En este sentido y gracias a la investigación se puede concluir que frente a esta interacción se presentan tres condiciones ecológicas:
  - a. Pérdida de biodiversidad microbiana.
  - b. Alteración del equilibrio (Presencia de microorganismos oportunistas y patógenos).
  - c. Mecanismos reguladores (Presencia de micorrizas).
  - d. Aspectos Físicos y Químicos del suelo: continua y progresiva acidez, aumento de niveles tóxicos de Al, pérdida de Nutrientes, potencial erosión.

Este agroecosistema presenta como entradas naturales de energía y materia las siguientes fuentes por que de ellas recibe un aporte considerable para su mantenimiento:

**\*Energía solar**  
**\*Viento**

**\*Precipitación**  
**\*Roca madre**

Como entradas artificiales y que de la misma manera son importantes en el mantenimiento del agroecosistema, porque al ser artificial requiere de estos insumos para sostenerse: Agroquímicos (Los más de 29 plaguicidas entre herbicidas e insecticidas que aplican los agricultores para evitar las plagas que atacan este cultivo), y los fertilizantes minerales

Para hacer referencia a la retroalimentación que ocurre al interior de agroecosistema es necesario reconocer los componentes que nos permiten hacer su valoración:

**\*Suelo**  
**\*Microbiota edáfica**

**\*Vegetación**  
**\*Hombre**

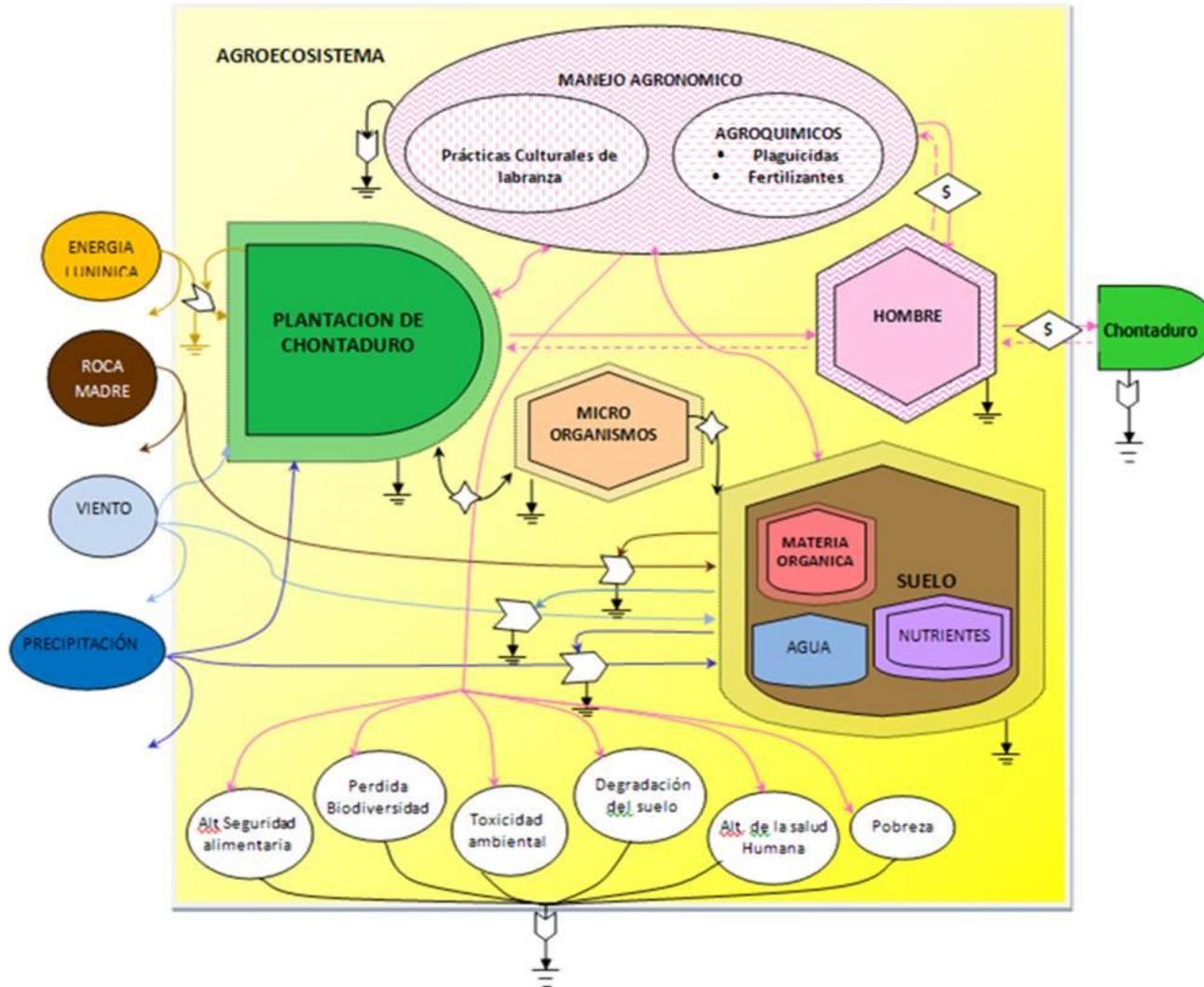
Es notorio por los flujos que se establecen entre estos componentes que se resalte con fuerza las dos interacciones mencionadas, por un lado los flujos de energía relaciona con el hombre y por el otro los que se desarrollan entre los componentes Suelo-Microbiota-Vegetación; separación que se debe a que el componente antrópico que hace parte del agroecosistema no actúa como miembro, activo y dinámico dentro del mismo, todo lo contrario le usa con la única finalidad de obtener la productividad del agroecosistema y tornarla en un beneficio económico, sin proyectar el futuro de la fuente de su sustento; dicha relación va acompañada en todas sus interacciones por flujos de dinero, el cual va en sentido contrario al flujo de energía, las acciones que realiza el agricultor para interactuar con los componentes del agroecosistema se denominan manejo agronómico, y según el estado actual del agroecosistema este manejo no responde ni en productividad, ni en calidad al esfuerzo antrópico por no ser el método adecuado para mantener un sistema productivo en el tiempo y en el espacio.

En el manejo agronómico se destacan los dos grandes tensores:

1. Las prácticas culturales de la labranza
2. La aplicación de insumos artificiales (agroquímicos y fertilizantes)

Estos tensores alteran el agroecosistema en cuanto se hacen para mantenerle como un monocultivo, reduciendo con ello la diversidad de su biota, su equilibrio y por ende generan efectos sinérgicos como: toxicidad ambiental, pérdida de biodiversidad, degradación del suelo, alteración de la salud humana, alteración de la seguridad alimentaria y pobreza; (**Figura 39.**)

**Figura 39.** Modelamiento fenomenológico del agroecosistema del chontaduro



El impacto negativo de esta forma de manejar el cultivo se refleja en el modelo con una reducción simbólica en los componentes de la biota (vegetación, microorganismos y hombre) y el suelo, la cual hace referencia a la alteración que se está presentando en estos componentes que a nivel macroscópico de manera considerable pero que es desapercibida por la ignorancia ambiental del componente antrópico, revelan la baja productividad la cual no es concebida como consecuencia de ello sino mas bien resultado de la poca inversión que se hace en insumos externos para fortalecer el sistema, la potencial erosión del suelo, la alteración en la salud de las familias, y las salidas del sistema en forma de contaminación, entre otros aspectos.

Las interacciones que se establecen entre el suelo, los microorganismos y la vegetación se representan en la doble vía que les alimenta como resultado de los aportes que se hacen unos a otros, en este sentido la microbiota cobra un valor muy importante para reconocer a escala microscópica el efecto del manejo que se da al suelo, su calidad y la respuesta que dan los componentes naturales a dicha tensión, por un lado la degradación del suelo por la continua extracción de nutrientes sin reposición y el afán por especializar el cultivo atentando contra la diversidad y su equilibrio lo cual ocasiona la presencia de microorganismos oportunistas y patógenos que responden a la fuente nutricional que presenta el suelo por su contaminación con agroquímicos y la debilidad del sistema radical del cultivo por la deficiencia nutricional y por otro lado frente a esta situación se destaca la asociación simbiótica denominada micorriza como una fortaleza ecológica que permite soportar el estrés que presenta el sistema contribuyendo tanto en la nutrición del cultivo como en el mejoramiento de la bioestructura del suelo por la presencia de sus micelios abrazando las partículas del suelo.

Es así como los resultados de estimar el efecto del manejo antrópico sobre el subsistema edáfico, analizando sus propiedades físicas, químicas y biológicas confirman la hipótesis planteada para la investigación donde se proponía que *“Desde el punto de vista sistémico el manejo del agroecosistema de chontaduro en la zona de Cuatro Esquinas (El Tambo-Cauca) ha perturbado la fertilidad del suelo; y por ende a menor escala el equilibrio en sus comunidades microbiológicas”*. Los resultados reflejan que el manejo agronómico que se da a este sistema productivo, por una parte alteran del componente biológico, especialmente la diversidad microbiana y a nivel físico-químico inducen irremediable al subsistema a la degradación, pero que a su vez es posible reconocer que por ser la palma del chontaduro una planta autóctona del trópico bajo americano, su cultivo presenta una extraordinaria capacidad de resiliencia y que con toda seguridad al mejorar las condiciones agronómicas del cultivo su pequeña, mediana o gran explotación, tanto para palmito como para frutos, mejorara su rendimiento.

Además de reconocer el efecto de la actividad antrópica sobre el subsistema edáfico el motivo para evaluar la validez de la teoría ecológica, con esta

investigación se subraya la gran necesidad de comprender y apreciar el concepto de la **Resiliencia**, ya que su acertada estimación contribuye al análisis de los recursos en degradación, la resiliencia, es decir, la estabilidad-elasticidad de las comunidades es un factor trascendente para quienes están comprometidos con el manejo de los recursos naturales y sus consecuencias. En este sentido, la relación de la fertilidad de los suelos tropicales en paisaje andino necesita desarrollar bases teórico-empíricas para entender los mecanismos ecológicos que le regulan y como ellos son el resultado de ejes de variación propios de la región (clima, altitud, edafología, topografía, intensidad de manejo, etc.); por tanto los investigadores de los países ubicados en el trópico de la tierra estamos obligados a buscar soluciones a nuestros problemas de producción agroalimentaria en concordancia con nuestras condiciones agroecológicas y edafoclimáticas.

Razón por la cual, esta investigación subraya la importancia de enfocar la mirada al primer eslabón de dicha cadena; la regeneración natural del suelo en el agroecosistema del chontaduro puede conseguirse siempre y cuando se logre implementar un manejo ecológico sostenible, para ello deben adoptarse medidas que mejoren el sistema (es decir que restablezcan su equilibrio natural) y que fortalezcan su capacidad productiva, ya que los sistemas agrícolas tradicionales orientados hacia un buen manejo agroecológico juegan un papel muy importante como reservorios y medios útiles en la preservación y conservación de sus componentes bióticos y abióticos.

A nivel social el aporte que hace el señor Teofilo<sup>25</sup> refleja el pobre y limitado sentir de la comunidad frente al sistema productivo del que se abastece, por ello la solución del problema que genera el actual modelo agrícola, requiere de un enfoque para el desarrollo productivo más amplio, sustentado en otra premisa filosófica, otro paradigma, otra relación entre los seres humanos y la naturaleza, otro método de generar y enfocar el conocimiento. El problema real radica en la deficiente educación medio ambiental a todos los niveles y urge un cambio del pensamiento tanto en la ciudad como en el campo, educando en la agroecología desde el medio escolar, buscando una integración entre la academia y el conocimiento tradicional que establezca un equilibrio entre el desarrollo de la actividad humana y el medio ambiente, para lograr una conciencia global de la sociedad que repercuta positivamente en la calidad de vida rural y urbana.

---

<sup>25</sup> El milagro del Chontaduro es algo valeroso, y cuando llega la cosecha la gente se alegra, comienzan los negocios, llegan los cacharrereros y todo queda vuelto una feria de mercadeo, la gente goza y algunos derrochan, cuando menos piensan, se acaba la cosecha, vuelve la crisis y luego la tristeza, sólo quedan dependiendo de pocas cosas, hasta que vuelva la cosecha... Quiero invitar a mis compañeros que trabajan con chontaduro, a que siembren otros cultivos en sus fincas, para que cuando no haya chontaduro, tengamos otros productos para vender o para comer y evitar las épocas de crisis que se nos presentan por la falta de dinero. (Palabras de don Teófilo Camacho, citado por Funcop. 2000).

## 7. CONCLUSIONES

1. Las características físicas y químicas de las muestras de suelo estudiadas, reflejan suelos fuerte y muy fuertemente ácidos, con altos contenidos de Al intercambiable, bastante pobres en fertilidad y en contenido de materia orgánica, con predominio de arenas, evidenciando la erosión y degradación del suelo.
2. Son suelos bastante pobres en biota microbiana tanto en diversidad como en número, lo cual se atribuye a que hay una pérdida potencial de la fertilidad necesaria para favorecer el desarrollo y actividad de los microorganismos.
3. En general se encontraron conteos y diversidad para hongos y levaduras nulo, en bacterias bajos, por el contrario para actinomicetos los conteos son altos y con una diversidad significativa, esto se relaciona con la fuerte acidez encontrada en el suelo, donde solo puede desarrollarse cierta cantidad de biota, siempre y cuando encuentren una fuente de energía.
4. La dominancia en la población de actinomicetos, responde a que estos organismos pertenecen a especies, tolerantes y con amplias capacidades metabólicas, ya que son organismos capaces de obtener energía de compuestos complejos como la lignina y la celulosa y además de sustancias aromáticas como las que se obtienen en la degradación de los plaguicidas.
5. Con respecto al conteo de hongos y levaduras, la lectura fue muy baja, lo que hace suponer una inhibición por la producción de antibióticos de los actinomicetos. El conteo de Hongos en dos muestras fue muy alto, lo cual puede corresponder a poblaciones patógenas; en las demás muestra no se encontraron valores significativos.
6. El alto porcentaje de colonización radicular y de esporas presentes en la rizosfera del chontaduro, sugiere una gran actividad simbiótica propia de la vegetación nativa, a pesar de la intervención antrópica en el agroecosistema. por lo cual se comprueba que en esta zona las micorrizas son un recurso valioso, que debe conservarse y que además es susceptible al mejoramiento de sus características para potencializar el beneficio ecológico y económico que ofrece a los ecosistemas de producción agrícola andinos.
7. Las micorrizas nativas de este agroecosistema presentan un gran potencial de eficiencia y por ello constituyen una riqueza básica para los agroecosistemas tropicales, además de favorecer la absorción de nutrientes, constituyen un factor de resistencia frente a fenómenos de alta humedad en el suelo o de stress hídrico, característicos de estos suelo donde se presentan fuertes regímenes de lluvias y épocas de sequía.

8. Las plantas con raíces gruesas y sin pelos radicales como es el caso del chontaduro, son altamente dependientes de las micorrizas para tomar los nutrientes del suelo especialmente el fosforo, por la deficiencia que este elemento presenta en los suelos andinos ya que es altamente retenido en complejos insolubles con el aluminio.
9. Con la notable presencia de actinomicetos y de hongos formadores de micorriza en la rizosfera y en las raíces del chontaduro, puede inferirse que estos microorganismos funcionan como un factor de resiliencia que ha permitido enfrentar las limitantes condiciones de degradación en que se desarrolla el cultivo, siendo un gran potencial para la bio-remediación de estos suelos.
10. Tanto los resultados obtenidos como la revisión bibliográfica permiten aseverar que a través del conocimiento de las interacciones bióticas y abióticas de la rizosfera es posible orientar el manejo ecológico del subsistema edáfico. Subrayando que la presencia y diversidad de la flora microbiana en el suelo es uno de los mejores Bio-indicadores de su calidad y que permite reconocer su dinámica de manera integral.
11. Los suelos estudiados presentan una degradación potencial de su calidad, expresada en el deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, debido a las prácticas de manejo utilizadas y a la continuada explotación sin reposición de nutrientes. De continuar cultivando con este tipo de prácticas se observará a simple vista lo que a escala microscópica es ya un hecho, el impacto negativo sobre el medio ambiente y la producción que no corresponden a la óptima ni en cantidad, ni en calidad y que a largo plazo se tornará en una degradación y erosión continuada y progresiva.
12. Es evidente la necesidad de fortalecer conocimientos sobre la dinámica de la biota en el suelo, resaltando en éste, la presencia de micorrizas, como una simbiosis natural que permite aumentar, restaurar o mantener la fertilidad del suelo en cualquier esquema, y la gran necesidad de combatir a futuro plagas del suelo ocasionadas y fortificadas por las malas prácticas de manejo que actualmente se desarrollan para llevar a cabo el cultivo del chontaduro.
13. Según la metodología aplicada para la valoración ambiental del impacto que genera el manejo agronómico del cultivo del chontaduro sobre el subsistema edáfico (lista de chequeo, matriz de FEARO y modelamiento fenomenológico), se reconoce que el tensor más notable es la aplicación continua de agrotóxicos la cual desencadena de manera sinérgica la alteración de las comunidades bióticas, del sustrato edafológico, de los sistemas acuáticos, del aire, de la salud humana y de la seguridad alimentaria. Además algunas de las prácticas tradicionales contribuyen con el aumento en la sensibilidad a la erosión y por ende al desplazamiento de la biota y la pérdida de la biodiversidad de esta región.

14. Los métodos aplicados para la valoración ambiental del agroecosistema de chontaduro son herramientas muy útiles para fortalecer procesos de planificación y la toma de decisiones porque incluyen la participación de la comunidad y el aporte que nace desde su propia experiencia permite que apropien alternativas que potencien los beneficios y mitiguen los impactos de los que ellos se han concientizado.

## 8. RECOMENDACIONES

Para enfrentar la problemática ambiental, social y económica descrita anteriormente, es necesario proponer la diversificación del agroecosistema desde el enfoque agroecológico, colocando al chontaduro como producto principal, con acceso a mercados alternativos, acompañado por otros productos agrícolas con una alta potencialidad nutricional y económica, como cacao, maracuyá, papaya, borojo, banano, leguminosas y producción animal. Proponer avances en la producción, la industrialización y comercialización de los productos que de él, pueden obtenerse. En primera medida se sugiere generar conciencia de que el medio, tanto biótico como abiótico, debe ser protegido, sin fijar la mirada solo en productos agroquímicos, sino más bien enfocar los esfuerzos en fortalecer una visión socioambiental integral.

Es necesario y urgente desarrollar procesos de capacitación, fomento y control con los agricultores(as) sobre medidas de manejo ecológico del suelo, que permitan recuperar la fertilidad y la productividad del cultivo, teniendo en cuenta que además de ser un cultivo promisorio en términos de seguridad alimentaría por su alto potencial nutricional y su maleabilidad para la industrialización, el cultivo del chontaduro es una de las opciones recomendadas para el reemplazo de cultivos ilícitos en esta región del país.

Entre las prácticas de manejo agroecológico que se recomiendan para estos sistemas de producción agrícola están por ejemplo la siembra de coberturas y barreras vivas, la rotación y asociación de cultivos de pancoger (maíz, yuca, frijol, plátano y frutales como el cacao, la piña, y otros), el control biológico, usando especies locales, el control mecánico (la deshierba a 15 cm del suelo con machete y no con azadón), el embolsado de los racimos con aplicación de repelentes botánicos y la captura con trampas y manual de las plagas.

Tener en cuenta el mejoramiento progresivo de la fertilidad natural de dichos suelos y de sus propiedades físicas químicas y biológicas, con la aplicación de abonos órganominerales (líquidos y sólidos, en dosis de 2 a 4 ton/ha) bien humificados y adecuados en su composición en micro y macronutrientes para las condiciones del suelo y el cultivo, enmienda que permite mejorar los niveles de materia orgánica, de algunos nutrientes y la relación C/N; acompañados también de manera espaciada por caldos microbianos (preparados con rizósferas de plantas herbáceas dominantes en las zonas no intervenidas de las fincas), para restablecer la microbiota edáfica capaz de reiniciar el ciclaje de nutrientes a partir de los fertilizantes aplicados y de mejorar la bioestructura del suelo. Además la aplicación de correctivos como el encalado con Cal Dolomítica, para subir

racionalmente el valor de pH y suplir la deficiencia de Calcio y Magnesio de tal manera que se mejore la relación Ca/Mg

Hoy en día la microbiología es un gran potencial para resolver problemas ambientales y biotecnológicos o biorremediación, como, el control plagas y enfermedades, pérdida de biodiversidad, de fertilidad y degradación del suelo. Sin embargo, aún falta mucho por hacer; es necesario conocer la distribución, diversidad, y dinámica de la microbiota edáfica, establecer colecciones de aquellos microorganismos que se consideren relevantes en una amplia gama de actividades biológicas y reconocer patrones de interacción que presentan a los diferentes componentes del agroecosistema con que interactúan de manera sinérgica.

Se sugiere realizar un estudio enfocado a reconocer e identificar la presencia de hongos patógenos en el suelo, las condiciones que le promueven y las posibles medidas de control para evitar que a futuro se exprese como una plaga inmanejable, que puede llegar a ser muy resistente dadas las condiciones en que se está desarrollando y de la cual no se tiene conocimiento y que pone en peligro la expansión y desarrollo del sistema radicular del cultivo y las demás comunidades vegetales asociadas a este.

Existen a nivel local y regional diversas instituciones como Ong's ambientalistas, Cooperativas, la Umata, el SENA, las Universidades, entre otras, que están desarrollando investigaciones agronómicas, de mejoramiento genético e industrialización del fruto y del palmito; sin embargo, urge unificar las acciones de dichas instituciones no solamente para fortalecer el conocimiento académico, sino para establecer una acción de cooperación interdisciplinaria que enfoque, potencialice y materialice la investigación en acciones concretas que contribuyan al productor con la construcción de planes de manejo donde se reconozcan flujos de energía, tensores y mecanismos reguladores de sus agroecosistemas.

Como dice Altieri (1987) «se necesitan modelos de agricultura sustentable que combinen elementos de ambos conocimientos, el tradicional y el modelo científico, resaltando la necesidad de usar variedades nativas e insumos comerciales, con técnicas apropiadas para la región donde se desarrollan».

Cualquier marco metodológico para evaluar la sustentabilidad del manejo de los recursos naturales, incluyendo los aspectos de la calidad del suelo, necesita aplicarse periódicamente a estudios de caso a fin de fortalecer su conocimiento y generar un monitoreo de su dinámica y cualquier esfuerzo que se haga en el sentido de mantener y mejorar la calidad y la salud del suelo producirá ventajas para los productores y la nación.

En este sentido, es fundamental desarrollar investigaciones en materia de biorremediación, ya que asociaciones naturales como las micorrizas, ocupan un importante lugar en el campo de los organismos considerados como biorremediadores, pues estos hongos contribuyen de forma determinante a mejorar los ambientes dañados, particularmente por la falta de fertilidad, y el caso hipotético que puede atribuirse tal vez a la alta presencia y diversidad de actinomicetos en los suelos analizados para los que se le atribuye la posibilidad de degradar compuestos aromáticos como los que hacen parte de los plaguicidas aplicados al cultivo del chontaduro. Y en general de los microorganismos como un factor importante para el monitoreo de la contaminación, tanto en el suelo como en los demás recursos naturales. Lo anterior, podemos tomarlo como un amplio panorama para entrar en el campo de la **Restauración Ambiental**, única vía para enfrentar la grave contaminación que presenta el suelo a causa de las diversas actividades antrópicas.

## BIBLIOGRAFÍA

ALEXANDER M. Most probable method for microbial Populations. En: Methods of soil analyses part. American Society of Agronomy, Wisconsin USA: 2da ed., 1982. p. 815-820.

ALMARIO L. F. Programa de desarrollo alternativo, Glifosato y sustitución de cultivos. Cámara de Representantes. Congreso de la República de Colombia, 1994. 125p.

ALTIERI M. "Diseño de Agroecosistemas sustentables" en Desarrollo rural humano y agroecológico, 2º Curso de autoformación a distancia. Santiago de Chile, 1996. p. 11-17.

ALTIERI M. "El agroecosistema: determinantes, recursos y procesos" en Desarrollo rural humano y agroecológico, 2º Curso de autoformación a distancia. Santiago de Chile, 1997. p. 67-93.

ALTIERI M. "El rol ecológico de la biodiversidad en agrosistemas" en Desarrollo rural humano y agroecológico, 2º Curso de autoformación a distancia. Santiago de Chile, 1998. p. 111-122.

ALTIERI M. "El Estado del Arte de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina" En Desarrollo rural humano y agroecológico, 2º Curso de autoformación a distancia. Santiago de Chile, 1999. p.133-157.

ALTIERI Miguel A. YURJEVIC Andrés. La Agroecología y el desarrollo rural, sostenible en América Latina. División de Control Biológico, Universidad de California, Berkeley, Centro de Educación y Tecnología, Santiago Chile, 2.000. 24p.

ALTIERI Miguel y NICHOLLS Clara I. Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe, México D.F., 2001. 257p.

AMÉZQUITA, C. E., Procesos Físicos de Degradación de Suelos en Colombia. En Memorias del Seminario: Manejo Integral de Suelos para una Agricultura Sostenida. S.C.C.S., Vol 28 N° 2. Palmira, 1992. 25p

ASTUDILLO, Sandra y SALAZAR, Roció. Uso y manejo de los recursos vegetales en agroecosistemas de la zona de amortiguamiento del Páramo de Guanacas en los municipios de Totoro e Inza. Popayán: Universidad del Cauca, 1998. 113p

ASTIER C. Marta, MAASS M. Manuel y ETCHEVERS B Jorge. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. En: Agrociencia. Volumen 36, Número 5, septiembre-octubre 2002 9p.

AZCON AGUILAR, C., CANTOS, M., TRONCOSO, A., BAREA, J.M. Beneficial effect of arbuscular mycorrhizas on acclimatization of micropropagated cassava plantlets. En: Scientia Horticulturae N°72, 1997.p 63 – 71

VON BERTALANFFY, Ludwig. Teoría general de los sistemas. Petrópolis, Vozes. 1976. 37p.

BILENCA, David. Los Agroecosistemas y la conservación de la biodiversidad: El caso del pastizal Pampeano. Buenos Aires Argentina, 2000. 43p.

BOLAÑOS Martha M. Recuperación de suelos degradados y su importancia para obtener una producción competitiva y sostenible. Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias CORPOICA, Valle: CI Palmira, 2002. 22p.

BRAVO Isabel; GIRALDO Efrén y COLLAZOS Oswaldo. Proyecto “Manejo integrado del sistema de producción del cultivo de chontaduro, (*Bactris gasipaes-Kunth*)” Universidad del Cauca, 2004

BROCK, T. y MADIGAN, M. Microbiología. México: Prentice Hall Hispanoamericana. 1991

BUNGE M. Biota el suelo andino. Revista: Diversidad biológica y dialogo de saberes. N° 23 Maestría en Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrícolas. Cali: Universidad Javeriana. 1994. 243p.

BURBANO Herman. El suelo una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño 1989. 447p.

BURBANO, Hernan. La piel de la tierra: Cinco reflexiones para valorar el recurso suelo. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. 2004. 176p.

BURNS, G. And DAVIS, A. The microbiology of soil structure. Biol. Agric & Hortic. V. 3. 1986. p. 95-113.

CABRERA, L. T. Aporte al conocimiento de la microbiota fúngica del suelo de la amazonia colombiana con énfasis en tres grupos funcionales. Tesis (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá. 2000. 353p.

CANTER Larry W. Manual de evaluación del impacto ambiental. México:Mc-Graw-Hill. 1999. 128p.

CARPENTER S., WALKER B., ANDERIES M. and ABEL N. From metaphor to measurement: resilience of what to what? Ecosystems. Londres V: 4, 2001 p765-781.

CARRILLO L. L. Exposición a plaguicidas organofosforados en agroecosistemas. Perspectivas en salud pública. México, 1993. 73p.

CHAMORRO P. La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y el estudio de impacto ambiental (EsIA). Valencia. España, 2002 13.p.

COLLAZOS Oswaldo, BRAVO Isabel; GIRALDO Efrén. Manual técnico para el manejo sostenible del cultivo de chontaduro (*Bactris gasipaes* K.). Ministerio de industria y comercio. Departamento del Cauca. Colombia. 2004. 85p.

CORPOICA, Generación de tecnologías para el cultivo de la palma de chontaduro en la zona del pacífico. Informe técnico, Regional Tumaco 2000. 78p.

DUARTE B., BRAVO I. y GIRALDO E. "Utilización de microorganismos solubilizadores del fósforo en asocio a prácticas de manejo ecológico del suelo como alternativa para mejorar la disposición de compuestos fosfóricos en fincas de agricultor@s de 3 agroecosistemas de ladera del departamento del Cauca" Fundación para la Comunicación Popular - FUNCOP, Universidad del Cauca. Cauca. 2003. 254p.

Enciclopedia de Ciencias Naturales. Madrid 2 Ed. Vol. 9. 1967. 111 p

ESPINOZA Guillermo. Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Santiago de Chile: Centro de estudios para el desarrollo (CED), 2001. 187p.

ESCOBAR Miryam., Prácticas de laboratorio: Fundamentos de Microbiología, Santa Fe de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. 1998. 188p

ESTRADA, M. Uso Moderado de Plaguicidas en México. Memorias, Ciclo de conferencias "Hacia una renovación ambiental en México". Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 1998.

FASSBENDER, W. & BORNEMISZA, E. Química de los suelos: Con énfasis en América latina. Costa Rica: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. 1987. 358p.

FERNÁNDEZ Victoria, VICENTE M. Instrumentos de la gestión ambiental en la agricultura. Madrid. Ed. Mundi-Prensa. 1.997: 146p.

FIGUEROA Apolinar CONTRERAS Rafael y SÁNCHEZ Juan. Evaluación De Impacto Ambiental EIA: Un instrumento para el desarrollo. Centro de Estudios Regionales para el Desarrollo. CEADES. Santiago de Cali: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. 1998. 226p.

FUNDACIÓN PARA LA COMUNICACIÓN POPULAR – FUNCOP. Respuesta al manejo orgánico y biológico en el cultivo de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K Bailey) en el corregimiento de Cuatro Esquinas – El Tambo, departamento del Cauca. Cauca: FUNCOP 2000. 254p.

GÓMEZ O. Domingo. "Evaluación del Impacto Ambiental". Madrid. Ed. Mundi-Prensa y Editorial Agrícola Española. 1999. 216p.

GERDEMANN J.M. and NICOLSON T.H. Spore of mycorrhizal endogone extracted by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* N° 46. 1963. p 235-244

HECHT S. "Evolución del pensamiento agroecológico" en Desarrollo rural humano y agroecológico, 2º Curso de autoformación a distancia. Santiago de Chile. 1997 p.49-66.

HERNÁNDEZ Luis. Agricultura ecológica, una alternativa para Colombia. En: Boletín N° 15: Cali, Universidad de San Buenaventura. 2003. 37 p.

HOLLING, C.S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1-23. 1973.

HURTADO M. A. BALCAZAR A. CANO C. Estudio de micorrizas del tipo vesículo arbuscular en sistemas agroforestales de la costa pacífica Nariñense. Informe de avance (Mecanografiado). CVC. Cali. 1997. 12p.

JIMÉNEZ, Rafael. LAMO Jaime. Agricultura Sostenible. Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa. 1998. 243p

KILBERTUS Gérard, GARCÍA V. María. El Suelo: Un medio biológico a proteger. Acta científica y tecnológica. En: Asociación Española de Científicos N° 3. Madrid, 2001. p 24

KILLHAM Ken. Soil ecology. Cambridge University Press. 1995. 221p.

KREBS, Charles. Ecología: Estudio de la distribución y la abundancia. 2 Ed. Universidad de Columbia Británica, México, 1985. 753p.

LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS Y AGUA – LABSU, Colegio Gamboa. "Ficha técnica del Palmito" En: Compendio de recomendaciones tecnológicas para los principales Cultivos de la Amazonia Ecuatoriana Ecuador. 1997. 64p.

LABRADOR Juana. Materia orgánica en agroecosistemas. Barcelona: Mundi-Prensa. 1996. 128p.

LUGO A. los sistemas ecológicos y la humanidad. Washington D.C: Eva V. Chesneau. USA. 1982, p. 4 – 35

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Norma Técnica Colombiana "NTC 5400": Norma para la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas para la producción de hierbas aromáticas culinarias, hortalizas y frutas frescas. ICONTEC. República de Colombia. 2005

MONASTERIO Maximina, MOLINILLO Marcelo, GUTIERREZ Julián, ANDRESSEN Rigoberto, ESTRADA Carlos, ARAGUREN Anairamiz, YEPES Mirian, BRICEÑO Miryam. Sostenibilidad Ecológica y Social de la Producción Agrícola en la Cordillera de Mérida: El Flujo de los Servicios Ambientales de los Páramos Altoandinos para la Agricultura Pápera. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias. Mérida, 2002. 27p

MORA-URPI, J. El Pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) Origen, Biología Floral, y manejo agronómico En: FAO/CATIE. Palmeras poco utilizadas de América tropical. San José, Costa Rica, 1993. p.118-160.

MORA-URPI, J. Consideraciones sobre la Biología, agronomía y economía del Pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) En: cultivo de Pejibaye para palmito. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 1995. p 18.

MORA-URPI, J. Y GAINZA, E. J. Palmito de Pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth.) su cultivo e industrialización. Costa Rica Universidad de Costa Rica. 1999, p 260.

MORA-URPI J., SZOTI L.T.; MURILLO M. y PATIÑO V. M. El rol de las micorrizas en Pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.) En: Memorias IV Congreso internacional sobre biología, agronomía e industrialización del Pijuayo. Iquitos Perú. 1991. 43.p

MOSANDES Regulación de la fertilidad en Agroecosistemas de los Andes Tropicales: Efecto de la diversidad ecológica, biológica y cultural, CYTED, España, 2002. 23p.

ODUM Eugene. Ecología 3 ed, México: McGraw-Hill. Interamericana, 1972. 639p.

ODUM Eugene. Ecología: Peligra la vida, 2 ed. México: McGraw-Hill. Interamericana, 1981. 268p.

PAGIOLA S. Soil conservation and the sustainability of agricultural production. Dissertation submitted to the Food Research. Sanford University, 1993. 86p.

PARISI, V. Biología y ecología del suelo. Barcelona. Editorial Blume, 1997. 114p.

PARKER, R.E. Estadística para biólogos. Cuadernos de Biología. 2ed.Barcelona. Omega, 1981. 124p.

PHILLIPS, J.M. y HAYMAN D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi, for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. N° 55: 1970. p 158-161.

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO ALTERNATIVO –PLANTE. Logros y perspectivas del desarrollo alternativo. Presidencia de la República. Colombia 2002. 20p.

PRIMAVESI A. Manejo Ecológico del Suelo. Agricultura en Regiones Tropicales. 5ed, Argentina, El Ateneo, 1996. 499p.

RAMÍREZ Jorge., FAJARDO Darío, CASAS Fernando y TORRES Ricardo. Agro y medio ambiente. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 1998. 150p

RAMOS R. Alberto. HERNÁNDEZ X. Efraín. Reflexiones sobre el concepto de agroecosistema. Colombia: Universidad Nacional. 2002 186p.

RAMÍREZ S. Joaquín. Perspectiva en el uso del suelo y agua en la agricultura del contexto internacional al regional. Cuaderno de trabajo N° 12: agricultura y recursos naturales; Enero – Febrero México. 1995. 37p

ROMERO Angélica y GARCÍA Edmundo. Estabilidad y elasticidad de las poblaciones y comunidades biológicas: Inertia and resilience of biological populations and communities. Colegio de postgraduados. México. En Agrociencia N°33 1999. p 227-234.

SALAMANCA C.; SILVA M.; NAVAS G. y VALENCIA R. Dinámica poblacional de los microorganismos rizosféricos en diferentes sistemas de producción en la Orinoquia colombiana. En: Memorias Encuentro nacional de labranza y conservación. Romero G. et al Editores. Villavicencio. 1998. pp 421 – 443

SALAMANCA S, Carmen. Las micorrizas como estrategia de mejoramiento nutricional de pasturas y especies frutales en el Guaviare. Folleto: biotecnología en el campo. CORPOICA – Villavicencio. 2002.15p

SALVUCCI Emiliano Interacciones Microbianas, implicancias tecnológicas y Evolutivas. Universidad Nacional de Rio Cuarto. 2004.

SACHEZ DE PRAGER Marina. Endomicorrizas en agroecosistemas Colombianos. Valle del Cauca, Universidad Nacional- Sede Palmira. 1999. 227p.

SANDOVAL E. Indicadores de calidad en suelos con diversos manejos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 1997. 89p.

SCHAUBERGER Víctor. La agricultura y la fertilidad del suelo: Asociación de estudios Geobiológicos – Grupo de Estudios Medioambientales Madrid. 2004 24p.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE –SENA “Desarrollo de tecnologías de cosecha, manejo poscosecha y conservación del chontaduro para el mercado en fresco y procesado con pequeños productores de los municipios de El Tambo, Rosas y Timbio departamento del Cauca”, Cauca, 2003. 98p.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 2ª ed. Bogotá, 2000. 323p.

STEEL Robert G. y TORRIE James H., Bioestadística: Principios y procedimientos. 2ª Ed. Colombia: McGraw – Hill. 1985. 620p

THOMAS D. Brock and Michael T. Madigan. Biology of Microorganisms: Laboratory Manual. 6ª ed. New Jersey, 1991. 230p.

TOSCANO Diana. Programa Nacional de Agricultura Limpia: Plan para la implementación de BPA. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. República de Colombia, 2005. 25p

VALENCIA Hernando. Manual de prácticas de microbiología del suelo. MIMEO, Departamento de Microbiología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2001. 47p.

VENEGAS P. Clara. Investigación en suelos de la amazonia colombiana y su microflora. En: Memorias I Simposio internacional de ecología microbiana del suelo. Instituto Amazónico de Investigaciones – SINCHI, Colombia. 2002. 86p.

WORLD BANK, Technical of agricultural Bulletin, United States 1992. p. 54-63.

## **BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET**

Bases y estrategias de Agroecología. En: [http://www.CLADES.org/r8\\_arti3.htm](http://www.CLADES.org/r8_arti3.htm)

Cansancio del suelo <http://www.mediterraneadeagroquimicos.es/Informa/suelo3.htm>

CARRILLO Leonor. Microbiología Agrícola: Actividad microbiológica. Capítulo 3. En: <http://www.Terranova/suelo/agricultura/microbiologia.com.htm>, 2003 29.p.

Corporación colombiana de investigaciones agropecuarias: labranza En: <http://www.corpoica.org.co/sitiocorpoica/planes/labranza/texto/labranza.pdf> 2002. 25p.

CORREDOR Gloria. Micorrizas Arbusculares: Aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas. En: <http://www.micorrizas.gov.es>, 2002

FAO. Nuevas cuestiones que afectan a los mercados de productos básicos: Comité de problemas de productos básicos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. 63º período de sesiones, 2001 3p. En: <http://www.fao.org/organicag.htm>

MAINO Mario. VII Encuentro Internacional: La erosión como un problema particular de daño medio ambiental en los países subdesarrollados degradación ambiental y producción agrícola, 2001. En: <http://www.rimisp.cl/publicaciones/electronicas/encuentro/encuentro.htm>

MONTILLA J. J. Posibilidades de la utilización del fruto de Pijiguo (Arecaceae: *Bactris gasipaes* H.B.K) en la alimentación de monogástricos. 2000. En: <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/ivencuentro/montilla.htm>

PARRA V. Jorge, A. VELASCO R. Sonia y MOYA G. Olga. Realidad virtual para aprender a aprender. Una reflexión alrededor del desarrollo del software constructivista basado en el pensamiento sistémico 2000. En: <http://www.C5.cl/ieinvestiga/actas/ribie2000/demos/43>

ROJAS R, María C. Expedición científica y cultural: El chontaduro de la paz; revista virtual de la Universidad Nacional de Colombia. 2000 En: <http://www.unad.edu.co/revistaunad/revista05/creditos05.htm>.

SEVILLA Eduardo. Agroecología y desarrollo rural sustentable: Una propuesta desde Latino América. En: <http://www.jornadadeagroecologia.com.br/textos.pdf>

## GLOSARIO

**Agroecología:** disciplina científica que maneja la concepción de una agricultura más ligada al medio ambiente y más sensible socialmente cuyo propósito es iluminar la forma, la dinámica, y las funciones de esta relación responder a las necesidades sociales de las familias y comunidades rurales desde la perspectiva holística, es decir, analizando las interacciones que se establecen entre los aspectos sociales, económicos, políticos, culturales y ambientales, interesándose no solo en la producción y explotación de un componente particular, sino la sostenibilidad ecológica del sistema total. (Altieri y Nicholls, 2001).

**Agroecosistema:** es un concepto principalmente de funcionamiento y estructura que tienen en cuenta la modificación que hace el hombre de un paisaje natural para obtener los elementos básicos que utiliza en provecho propio con fines económicos y sociales, este término no designa un espacio geográfico definido, ya que el agroecosistema como tal, depende del nivel al que se quiera comprender, solo puede definirse según la o las especies cultivadas. (Bilenca, 2000).

**B.P.A:** conjunto de normas que tiene como objetivo proteger y conservar los recursos ambientales y normalizar los efectos que alteran su calidad, fortalecer programas de desarrollo limpio, reducir la contaminación, mejorar las condiciones y la calidad con que se cultivan, producen y llevan al mercado los alimentos y contribuir con la seguridad alimentaria, la salud humana y la ambiental. En nuestro país se ha establecido la Norma Técnica Colombiana “NTC 5400” para la implementación de este tipo de principios y orientar el conocimiento a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción agrícola en forma benévola, su viabilidad económica y la estabilidad social del país (Toscano, 2005).

**Biotopo:** es una extensión más o menos limitada del territorio que contiene suficientes recursos para asegurar el mantenimiento de la vida.

**Biocenosis:** es una agrupación de seres vivos reunidos por la atracción que sobre ellos ejercen los factores ambientales y caracterizada por: una composición específica determinada, por la existencia de fenómenos de interdependencia y por ocupar un espacio físico (biotopo).

**Calidad agroambiental:** termino que hace referencia a las cualidades que pueden ofrecer determinados productos agrícolas y pecuarios, en respuesta a las normas de seguridad alimentaría que exige la humanidad y se plantean desde la necesidad de orientarnos mancomunadamente hacia la recuperación, protección y conservación del medio ambiente por el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Condición requerida para garantizar que los diferentes elementos abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) y bióticos (organismos vivos) que

integran el medio ambiente, provean sustento y hogar requeridos por los seres vivos (Altieri y Nicholls, 2001).

**Ciclo biogeoquímico:** los movimientos de sustancias inorgánicas se conocen como ciclos biogeoquímicos, porque implican componentes geológicos así como biológicos del ecosistema. Los componentes del entorno geológico son: 1) la atmósfera, constituida fundamentalmente por gases, que incluyen el vapor de agua; 2) la litosfera, la corteza sólida de la Tierra y 3) la hidrosfera, que comprende los océanos, lagos y ríos, que cubren  $\frac{3}{4}$  partes de la superficie terrestre. (Brock y Madigan, 1991)

**Contaminación:** un cambio indeseable de las condiciones físicas, químicas o biológicas del aire, agua tierra, que será o puede ser perjudicial para el hombre y otras formas de vida. (Odum, 1972)

**Ecología:** el biólogo alemán Ernst Haeckel el primero que lo definió en el siguiente párrafo: Entendemos por ecología el conjunto de conocimientos referentes a la economía de la naturaleza, la investigación de todas las relaciones del animal tanto con su medio inorgánico como orgánico, incluyendo sobre todo su relación amistosa y hostil con aquellos animales y plantas con los que se relaciona directa o indirectamente. En una palabra, la ecología es el estudio de todas las complejas interrelaciones a las que Darwin se refería como las condiciones de la lucha por la existencia. (Salvucci, 2004)

**Emisiones atmosféricas:** una emisión atmosférica es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil, las cuales a partir de determinadas concentraciones, pueden producir efectos nocivos tanto en los seres vivos, como sobre materiales y ocasiona fenómenos tales como la lluvia ácida, el efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono, entre otros. (Carrillo, 1993).

**Fertilidad del suelo:** expresión con la que se designa la aptitud de un suelo para asegurar a la planta unas buenas condiciones de desarrollo y el suministro adecuado de agua y elementos nutritivos, conducente todo ello a la obtención de buenas cosechas. La fertilidad del suelo es la resultante de numerosos componentes físicos, químicos y biológicos, que por una parte depende del medio (suelo, clima) y, por otra, de la actividad humana (laboreo, riego, abonado, etc.). (Shauburger, 2004)

**Holismo:** Palabra griega que se deriva del término *Holos* que significa todo, *-ismo* forma sustantivos que suelen significar doctrinas, sistemas, escuelas o movimientos), donde las partes no pueden comprenderse separadamente de sus todos y los todos son diferentes de la suma de sus partes. Las partes pueden desarrollar nuevas características o pueden surgir partes totalmente nuevas. (Sandoval, 1997).

**Indicadores:** el uso de indicadores ambientales, se ha transformado en una herramienta eficaz para el diagnóstico ambiental en muchos lugares del mundo, ya que permite por un lado sintetizar la información en unos pocos parámetros básicos, como también para el evaluador poder disponer de la información en una secuencia ordenada. A su vez el uso de indicadores permite la construcción de índices por agregación de estos mismos, permitiendo que estos se transformen en una valiosa herramienta para la toma de decisiones. (Espinoza G. 2001)

**Impacto ambiental:** es una alteración en las condiciones físicas, químicas, biológicas y sociales del medio ambiente, asociado a una actividad humana, este puede ser positivo o negativo. (Chamorro P. 2002)

**Metaestabilidad o equilibrio ecológico:** se entiende por equilibrio ecológico al análisis que se hace del ecosistema en cuanto a las entradas y salidas, flujos iguales de agua, materia y energía a un ecosistema (Sandoval, 1997).

**Modelamiento:** el modelamiento o simulación, es un proceso basado en la construcción de conocimientos donde se proporcionan las herramientas y estrategias alternas para el desarrollo de capacidades explicatorias, investigativas, de toma de decisiones o de aprendizaje entre otras, propiciando de esta forma un ambiente adecuado para el entendimiento de un fenómeno natural o social. Los modelos son una simplificación necesaria de la realidad. (Odum, 1972)

**Modelo:** es un esquema lógico elaborado para facilitar la comprensión y el estudio de un sistema o una realidad compleja, designa las imágenes, creaciones o construcciones innatas que buscan representar un fenómeno y que pueden llegar a ser comunes a todos los individuos, las cuales se transmiten de generación en generación siendo aprobadas, completadas o replanteadas dependiendo del grado del conocimiento que se expone del mismo, siendo modos del pensamiento que tienden a plasmar los fenómenos de la naturaleza que establecen un vínculo entre el mundo de la materia (el entorno) y las comprensiones lógicas que en nuestro entendimiento se desarrollan. (Odum, 1981).

**Plaguicida:** un plaguicida se define como una sustancia o mezcla en cualquier estado físico cuya finalidad sea la de controlar, combatir y/o prevenir plagas o enfermedades y en general tienen el objetivo de proteger al hombre de organismos que afectan su ambiente, animales y/o alimentos (Estrada, M. 1998).

**Peniplano:** De acuerdo con la definición de Lugo (1982), el peniplano es una estructura del paisaje con débil desarrollo de lomas, en algunas partes casi planas y con algunas ligeramente inclinadas.

**Salud del suelo:** la salud, que se refiere a la capacidad de un suelo para producir alimentos sanos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos (Altieri, 1997; Alexander, 1982; Brock 1991 y Primavesi 1996).

**Seguridad alimentaria:** se define básicamente como el acceso de todas las personas en todo momento a una cantidad suficiente de alimentos para una vida activa y sana (FAO, 2001).

**Sistema:** puede considerarse como un conjunto organizado de elementos que interactúan entre sí o son interdependientes, formando un todo complejo identificable y distinto, donde cada elemento que lo compone puede a su vez ser considerado como un subsistema que mantiene siempre la relación entre sí y su entorno, ya que dichos elementos se entienden no solo desde su componente y estructura meramente físicas sino más bien desde las funciones que realizan y sus implicaciones para con el entorno. (Parra *et al*, 2000)

**Xantofilas:** son moléculas químicas que reflejan y transmiten pigmentos entre la gama de los rojos y amarillos presentes en la composición química del fruto, que por ser de origen natural su extracción presenta gran utilidad en la industria, ya que dicha sustancia puede ser usada como un colorante para teñir de manera segura alimentos y diversos materiales (Enciclopedia de Ciencias Naturales Vol. 9)

**Xenobiótico:** sustancias dañinas al ambiente que no existen de manera natural, son principalmente introducidas por actividades humanas y su uso se ha incrementado en las últimas décadas de forma considerable. En el último siglo se han desarrollado muchos compuestos orgánicos y sintéticos que han conducido a una gran producción de compuestos químicos que finalmente van al ambiente, ya sea intencionadamente o por accidente. Un ejemplo de este tipo de sustancias son los plaguicidas los cuales son ampliamente utilizados. Según Brock y Madigan (1991), se han comercializado más de un millar de plaguicidas con fines de control químico de plagas.

## CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
1. JUSTIFICACIÓN.....	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
3. OBJETIVOS.....	12
4. MARCO TEORICO.....	13
4.1. ANTECEDENTES.....	13
4.2 MARCO REFERENCIAL.....	15
4.2.1 La Agroecología y su núcleo de estudio el “Agroecosistema”.....	16
4.2.2 El suelo en los sistemas de producción agrícola.....	21
4.2.3 La microbiota del suelo.....	30
4.2.4 El Agroecosistema del chontaduro: Cultivo exótico promisorio.....	42
4.2.5 Bioestadística.....	47
5. METODOLOGÍA.....	49
5.1. ZONA DE ESTUDIO.....	49
5.2 VALORACIÓN DEL SUELO EN EL AGROECOSISTEMA.....	53
5.2.1 Trabajo de campo.....	53
5.2.2 Trabajo de laboratorio.....	54
5.3. MÉTODOS PARA LA VALORACIÓN AMBIENTAL.....	62
5.3.1 Listas de chequeo o verificación.....	62
5.3.2 Matriz de FEARO.....	63
5.4 MODELAMIENTO FENOMENOLÓGICO.....	65
5.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	67
5.5.1 Diversidad Microbiana.....	69
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
6.1 ZONA DE ESTUDIO.....	70
6.2 ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO.....	71

6.2.1. Caracterización física.....	71
6.2.2 Caracterización química.....	74
6.2.3 Caracterización microbiológica .....	80
6.3 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....	90
6.3.1 Lista de chequeo o verificación.....	90
6.3.2 Matriz de FEARO.....	90
6.4 MODELAMIENTO FENOMENOLÓGICO .....	100
7. CONCLUSIONES .....	105
8. RECOMENDACIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	111
GLOSARIO .....	119
ANEXOS	

## LISTADO DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 1.</b> Horizontes y perfil del suelo .....	23
<b>Figura 2.</b> Relación entre procesos de degradación y buenas prácticas de manejo ...	26
<b>Figura 3.</b> Representación esquemática.....	34
<b>Figura 4.</b> Tipos de Micorrizas .....	38
<b>Figura 5.</b> Diagrama de una ectomicorriza formadora de "manto" .....	39
<b>Figura 6.</b> Diagrama de una Micorriza Vesículo Arbuscular –MVA.....	40
<b>Figura 7.</b> Proceso de infección en la Micorriza Vesículo Arbuscular –MVA .....	40
<b>Figura 8.</b> Modelo para el análisis del suelo asociado al agroecosistema del Chontaduro. ....	49
<b>Figura 9.</b> División Político-Administrativa del Departamento del Cauca.....	50
<b>Figura 10.</b> Municipio de El Tambo.....	51
<b>Figura 11.</b> Muestreo de suelo.....	54
<b>Figura 12.</b> Ficha de muestreo .....	54
<b>Figura 13.</b> Método de siembra por dilución (Thomas D., Michael T. 1991).....	58
<b>Figura 14.</b> Método para determinar la de presencia de HMA en raíz.....	59
<b>Figura 15.</b> Método de conteo para HMA en raíz .....	60
<b>Figura 16.</b> Método de aislamiento de esporas en suelo.....	61
<b>Figura 17.</b> Conteo de Esporas en suelo.....	61
<b>Figura 18.</b> Matriz FEARO para la identificación de impactos .....	64
<b>Figura 19.</b> Simbología para la elaboración de modelos fenomenológicos .....	66
<b>Figura 20.</b> Diagrama de un sistema. ....	67
<b>Figura 21.</b> Diseño del trabajo .....	68
<b>Figura 22.</b> Determinación del porcentaje de humedad en las 10 veredas de Cuatro Esquinas. ....	72
<b>Figura 23.</b> Determinación de la saturación de agua en las 10 veredas de Cuatro Esquinas. ....	73
<b>Figura 24.</b> Determinación de la densidad real 10 veredas de Cuatro Esquinas....	73

<b>Figura 25.</b> Determinación del pH.....	74
<b>Figura 26.</b> Determinación del Aluminio intercambiable en las 10 veredas de Cuatro Esquinas. ....	76
<b>Figura 27.</b> Determinación del Fosforo en las 10 veredas de Cuatro Esquinas. ....	76
<b>Figura 28.</b> Determinación de la materia orgánica en las 10 veredas de Cuatro Esquinas.....	77
<b>Figura 29.</b> Determinación de la relación C/N en las 10 veredas de Cuatro Esquinas. ....	78
<b>Figura 30.</b> Determinación de la relación C/N en las 10 veredas de Cuatro Esquinas. ....	78
<b>Figura 31.</b> Determinación de la relación Calcio-Magnesio en las 10 veredas de Cuatro Esquinas. ....	79
<b>Figura 32.</b> Presencia de actinomicetos en los suelos analizados .....	81
<b>Figura 33.</b> Presencia de Bacterias en los suelos analizados .....	81
<b>Figura 34.</b> Presencia de Levaduras en los suelos analizados .....	81
<b>Figura 35.</b> Presencia de Hongos en los suelos analizados.....	82
<b>Figura 36.</b> Porcentaje de Infección de micorriza en Rizosfera de Chontaduro .....	84
<b>Figura 37.</b> Conteos de esporas en suelos del cultivo de Chontaduro .....	84
<b>Figura 38.</b> Matriz FEARO “Manejo agronómico del cultivo del Chontaduro en Cuatro Esquinas – El Tambo (Cauca)”. .....	99
<b>Figura 39.</b> Modelamiento fenomenológico del agroecosistema del chontaduro..	102

## LISTADO DE TABLAS

	Pag.
<b>Tabla 1.</b> Principales problemas de degradación biológica en suelos de Colombia	24
<b>Tabla 2.</b> Principales problemas de degradación química en suelos de Colombia	25
<b>Tabla 3.</b> Principales problemas de degradación física en suelos de Colombia	26
<b>Tabla 4.</b> Propiedades físicas y químicas del suelo	28
<b>Tabla 5.</b> Composición bioquímica del chontaduro	44
<b>Tabla 6.</b> Requerimientos ecológicos del cultivo de chontaduro	44
<b>Tabla 7.</b> Determinaciones físicas y químicas para un análisis del suelo	55
<b>Tabla 8.</b> Metodología para determinar población microbiana del suelo	55
<b>Tabla 9.</b> Medio selectivo para Actinomycetes del suelo	57
<b>Tabla 10.</b> Descripción de las veredas y fincas analizadas	70
<b>Tabla 11.</b> Determinación de la textura en el suelo de Cuatro Esquinas	72
<b>Tabla 12.</b> Valor promedio (X) y desviación estándar (S) para los parámetros físicos de las muestras de suelo analizadas	74
<b>Tabla 13.</b> Valor promedio (X) y desviación estándar (S) para los parámetros químicos de las muestras de suelo analizadas	75
<b>Tabla 13.</b> Valor promedio (X) y desviación estándar (S) para parámetros los biológicos de las muestras de suelo analizadas	86

## LISTA DE FOTOS

	Pag.
<b>Foto 1.</b> Bacteria de vida libre en el suelo <i>Rhodospirillum</i>	27
<b>Foto2.</b> Micelio de hongo -Esporangio	27
<b>Foto 3.</b> Algas Clorofíceas	27
<b>Foto 4.</b> <i>Paramecium</i> sp	28
<b>Foto 5.</b> Secreción de antibióticos en un cultivo de Actinomicetes	28
<b>Foto 6.</b> Productos del Chontaduro	39
<b>Foto 7.</b> Palma de Chontaduro - Vereda de Palo verde	41
<b>Foto 8.</b> Adulto y larva del barrenador del fruto del chontaduro	42
<b>Foto 9.</b> Panorámica de Cuatro Esquinas	48
<b>Foto 10.</b> Olimpo Castro – V. Aguadita	76
<b>Foto 11.</b> Julio César Moncada V. Golondrinas	78
<b>Foto 12.</b> MVA Espora unida al sistema radical– Chontaduro	79
<b>Foto 13.</b> MVA Hifas y vesículas – Chontaduro	79
<b>Foto 14.</b> MVA Hifas y vesícula – Chontaduro	79
<b>Foto 15.</b> MVA Esporas del suelo – Chontaduro	81
<b>Foto 16.</b> MVA Esporas del suelo – Chontaduro	81
<b>Foto 17.</b> MVA Espora del suelo – Chontaduro	81
<b>Foto 18.</b> MVA Espora del suelo – Chontaduro	81
<b>Foto 19.</b> Embolse de los racimos – Chontaduro	92
<b>Foto 20.</b> Marota – Chontaduro	92
<b>Foto 21.</b> Cosecha de racimos – Chontaduro	92
<b>Foto 22.</b> Degradación del Suelos en Cuatro Esquinas – Chontaduro	94

## **ANEXOS**

**ANEXOS:**

- I. LISTA DE CHEQUEO
- II. VALORACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA

## ANEXO I. LISTA DE CHEQUEO

**Tabla1.** Lista de chequeo para la actividad “Manejo agronómico del cultivo del chontaduro”

<b>Cuestionario para valoración ambiental</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
<b>Fuentes De Información:</b> Consulta de la comunidad, del POT, de Ong's Ambientalistas , la CRC y la Humata		
<b>A) CONFLICTOS POTENCIALES CON LA COMUNIDAD:</b>		
• ¿La actividad podría vincularse a conflictos con la comunidad por deterioro ambiental?	X	–
• ¿La actividad podría vincularse a conflictos con población en particular estado de protección?	–	–
• ¿La actividad podría vincularse a conflictos con autoridades y líderes locales?	–	–
• ¿La actividad podría vincularse a conflictos internacionales o con países vecinos?		X
• Otros		
<b>B) INDUCCIÓN DE DESASTRES Y EMERGENCIAS:</b>		
• ¿La actividad podría vincularse con riesgos de desastres por factores naturales inesperados (terremotos, maremotos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones, sequías, incendios forestales, derrumbes, aluviones, aludes, socavamientos, etc.)?		X
• ¿La actividad podría vincularse con riesgos asociados a factores humanos (explosiones, derrames de petróleo y productos químicos)?	X	
• Otros		
<b>C) IMPACTOS SOBRE EL AMBIENTE SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL:</b>		
• ¿La actividad podría vincularse con la ocupación de nuevas tierras en zonas de importancia ecológica?		X
• ¿La actividad podría vincularse con obstrucción del acceso a recursos que sirven de base para otra actividad de subsistencia para las comunidades?	X	
¿La actividad podría vincularse con alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de los diferentes grupos humanos?		X
• ¿La actividad podría vincularse con creación de peligros para las personas?	X	
• Otros		
<b>D) IMPACTOS SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN:</b>		
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de cuerpos o cursos receptores que se usan como fuente de abastecimiento de agua potable?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con modificación de usos de agua que se encuentren destinados a distintos fines?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de cuerpos o cursos receptores de agua de los cuales se extraen organismos acuáticos para el consumo humano?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con utilización de materias inflamables, tóxicas, corrosivas, radiactivas, en las diferentes etapas del mismo?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con emisión de efluentes líquidos, gaseosos o combinaciones de ellos?	X	

• ¿La actividad podría vincularse con generación, almacenamiento, transporte, reciclaje o disposición de residuos peligrosos ya sean líquidos, sólidos o gaseosos?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con producción de residuos sólidos, domésticos o industriales, que por sus características constituyan un peligro sanitario?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con riesgo de proliferación de patógenos y vectores sanitarios?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con generación de alteraciones del entorno que causen molestias a las personas tales como malos olores, irritaciones, etc.?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con la alteración de alimentos que ocasionen enfermedades o molestias a las personas?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con riesgos de accidentes y enfermedades en las personas, incluyendo afectación a seguridad industrial, alimentaria, la higiene y la salud ocupacional?	X	
• Otros		
<b>E) IMPACTOS SOBRE LOS RECURSOS NATURALES:</b>		
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de cuerpos o cursos de agua de valor ecológico/ambiental?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con alteración de la calidad del agua superficial (continental o marítima) y subterránea?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con inducción de procesos erosivos en el suelo o de zonas frágiles que favorezcan la destrucción de laderas?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de suelos en categorías de protección?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con degradación del suelo por erosión, compactación, acumulación de sales y/o vertido de contaminantes?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de la capacidad de carga?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con alteración de pantanos o zonas de humedales?		X
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de especies vulnerables, raras, insuficientemente conocidas o en peligro de extinción?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de especies de biota endémica?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con introducción de especies exóticas, particularmente cuando reemplazan especies endémicas o relictas?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con afectación/explotación de especies en algún estado de conservación?		X
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de biota nativa de especial valor ambiental?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con la extracción, explotación, alteración o manejo de especies de flora y fauna que se encuentren en alguna categoría de conservación?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con la introducción de alguna especie de flora o de fauna, u organismos modificados genéticamente o mediante otras técnicas similares?		X
• ¿La actividad podría vincularse con alteración de la diversidad biológica?	X	
• Otros		
<b>F.)IMPACTOS SOBRE ÁREAS PROTEGIDAS Y DE VALOR AMBIENTAL:</b>		
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de ambientes que constituyen áreas de reproducción de especies de importancia por su	-	-

estado de conservación, su endemismo o su interés cultural, turístico, etc.?		
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de ecosistemas únicos o frágiles?		X
• ¿La actividad podría vincularse con pérdida de hábitats de especies animales o vegetales que poseen distribución restringida o problemas de conservación?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de lugares que contengan especies en alguna categoría de conservación?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con áreas protegidas o zonas de amortiguamiento?		X
• ¿La actividad podría vincularse con modificaciones notorias o perjuicios en ecosistemas frágiles?		X
• ¿La actividad podría vincularse con alteración de hábitats de relevancia para la fauna como sitios de nidificación, reproducción o alimentación?		X
• ¿La actividad podría vincularse con alteración o interrupción de las rutas de migración o movimiento regular de especies?		X
• ¿La actividad podría vincularse con alteración o modificación de las capacidades naturales de regulación hídrica en las cuencas? (cotas de inundación, embancamiento de depósitos, etc.)		X
• ¿La actividad podría vincularse con alteración de la composición del agua de manera tal que se elimine o modifique la flora o fauna acuática?	-	-
• ¿La actividad podría vincularse con afectación de especies relictas o endémicas?	-	-
• Otros		
<b>G) IMPACTOS SOBRE EL PAISAJE:</b>		
• ¿La actividad podría vincularse con afectaciones causadas por la mayor densidad demográfica, la demanda excesiva de recursos naturales y las presiones sobre zonas ecológicamente vulnerables?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con deterioro del medio natural y humano, con pérdida de la conservación y/o recuperación del medio ambiente?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con modificaciones del paisaje y la existencia de belleza escénica?	X	
• ¿La actividad podría vincularse con afectación, intervención o explotación de territorios con valor o riqueza paisajística?		X
• ¿La actividad podría vincularse con la afectación de recursos paisajísticos que sirven de base a la población?		X
¿La actividad podría vincularse con áreas declaradas zonas o centros de interés turístico patrimonial?		X
• Otros		

El símbolo (-); significa que hace falta un mayor conocimiento para aceptar bien una afirmación o una negación sobre el tema.

## ANEXO II. VALORACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL SUELO EN EL AGROECOSISTEMA DE CHONTADURO

**Tabla 2.** Determinación de las propiedades físicas del suelo asociado al cultivo de chontaduro en Cuatro Esquinas, El Tambo - Cauca.

No.	%HUMEDAD	D. REAL (g/mL)	%SAT AGUA	TEXTURA			TEXTURA DEL SUELO
				%ARENA	%ARCILLA	%LIMO	
21.	25,40	2,36	62,14	*N.D	*N.D	*N.D	*N.D
22.	21,61	2,42	70,42	*N.D	*N.D	*N.D	*N.D
23.	6,58	2,26	66,68	*N.D	*N.D	*N.D	*N.D
24.	8,00	2,33	46,41	51,10	26,78	22,12	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
25.	19,45	2,29	64,40	70,49	15,45	14,06	FRANCO ARENOSO
26.	15,92	2,36	54,13	42,84	41,75	15,41	ARCILLOSO
27.	15,26	2,45	46,62	51,18	35,28	13,54	ARCILLOSO ARENOSO
28.	14,14	2,47	51,23	56,45	28,78	14,77	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
29.	7,15	2,40	55,14	57,75	25,41	16,84	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
30.	6,19	2,35	62,14	55,27	28,43	16,30	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
31.	7,20	2,03	53,26	70,90	14,53	14,57	FRANCO ARENOSO
32.	7,40	2,31	58,51	62,98	23,70	13,32	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
33.	6,20	2,18	59,49	50,81	27,80	21,39	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
34.	4,60	2,63	52,53	58,87	21,23	19,90	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
35.	6,28	2,51	51,62	63,19	25,27	11,54	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
36.	7,01	2,50	54,06	43,53	37,44	19,03	FRANCO ARCILLOSO
37.	12,98	2,48	55,47	65,73	19,67	14,60	FRANCO ARENOSO
38.	6,15	2,47	52,87	53,15	28,13	18,72	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
39.	18,18	2,38	53,66	62,97	25,71	11,32	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
40.	13,80	2,47	54,38	62,78	22,02	15,20	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO

\* No Determinado

Fuente: Grupo de Investigación en Agroquímica – Universidad del Cauca

**Tabla 3** Análisis Químicos de las muestras de suelo, correspondientes a Cuatro Esquinas - Tambo.

No	PH	%Corg	%M.O	%N	C/N	P(ppm)	C.I.C meq/100	Ca meq/100	Mg meq/100	K meq/100	Ca/Mg	AC.INTER meq/100	AI.INTER meq/100
1.	5,22	2,36	4,07	0,26	9,08	2,15	19,45	3,26	1,56	0,54	2,09	0,69	0,59
2.	5,09	1,68	2,90	0,23	7,30	2,10	16,06	1,46	0,88	0,62	1,66	1,76	1,13
3.	4,90	1,21	2,09	0,19	6,37	0,94	21,82	2,29	1,54	0,58	1,49	7,13	6,02
4.	5,05	0,68	1,18	0,16	4,25	0,93	32,70	4,22	4,05	0,38	1,04	1,99	1,27
5.	4,99	3,04	5,24	0,32	9,50	N.D	33,22	0,56	0,27	0,13	2,07	1,81	1,18
6.	4,55	0,88	1,52	0,13	6,77	N.D	22,44	0,24	0,27	0,12	0,89	2,95	1,59
7.	4,78	1,69	2,91	0,16	10,56	1,69	17,21	1,30	0,71	0,40	1,83	1,36	1,17
8.	5,02	1,10	1,90	0,13	8,46	1,09	15,72	4,07	2,30	0,40	1,77	0,71	0,48
9.	4,80	0,87	1,50	0,11	7,91	N.D	22,74	1,64	1,03	0,27	1,59	4,40	4,09
10.	4,74	3,02	5,21	0,31	9,74	N.D	32,57	2,92	1,97	0,58	1,48	4,17	3,65
11.	4,86	2,56	4,41	0,14	18,29	1,24	28,21	2,09	0,49	0,31	4,27	2,05	1,63
12.	5,27	1,39	2,40	0,11	12,64	2,78	27,47	6,15	4,53	0,34	1,36	0,28	0,15
13.	5,02	1,18	2,03	0,07	16,86	9,97	24,20	5,57	3,81	0,34	1,46	0,62	0,34
14.	4,82	3,25	5,60	0,17	19,12	1,40	21,19	1,89	0,32	0,24	5,91	1,89	1,48
15.	4,87	2,04	3,52	0,19	10,74	4,38	17,23	2,91	1,92	0,51	1,52	14,57	13,61
16.	5,05	1,51	2,60	0,10	15,10	2,56	19,27	2,65	0,99	0,54	2,68	4,31	3,85
17.	5,14	2,70	4,65	0,10	27,00	2,70	21,41	1,69	1,16	0,49	1,46	1,62	1,50
18.	5,00	0,41	0,71	0,12	3,42	2,75	20,28	8,17	3,67	0,41	2,23	0,23	0,05
19.	5,05	1,57	2,71	0,09	17,44	2,55	8,69	1,70	1,36	0,40	1,25	6,77	6,60
20.	4,75	1,56	2,69	0,10	15,60	3,50	28,79	3,36	2,81	0,26	1,20	15,95	14,53

Fuente: Grupo de Investigación en Agroquímica – Universidad del Cauca

**Tabla 4.** Análisis microbiológico de las muestras de suelo, analizadas - Cuatro Esquinas - Tambo.

Nº	Actinomicetos PDA	Levaduras	Hongos	Bacterias	Actinomicetos AN	Conteo Esporas g suelo	Punto Inf	Punto no Infección	% Infección	% Total
1.	0,00	0,00	0,00	5,70	5,78	1709	48	7	87,27	91.13
2.	5,48	0,00	0,00	8,43	7,78	690	57	3	95	
3.	5,00	5,60	5,00	5,95	5,78	1563	42	6	72.41	
4.	6,08	0,00	5,00	5,00	5,30	1840	53	3	94.64	81.9
5.	5,41	4,90	4,60	5,15	5,34	955	27	8	77,14	
6.	5,58	0,00	4,00	5,20	5,30	1810	26	4	86,66	
7.	5,30	0,00	5,00	5,78	5,48	2912	55	5	95	94.95
8.	5,30	6,00	0,00	5,00	0,00	762	56	3	94,91	
9.	0,00	0,00	0,00	0,00	5,30	2520	52	3	94,54	95.45
10.	6,08	0,00	0,00	5,00	6,18	455	53	2	96,36	
11.	0,00	4,00	4,85	5,95	5,48	792	48	10	82,75	87.73
12.	5,60	5,00	4,60	7,00	6,70	1916	81	4	92,72	
13.	6,48	0,00	0,00	5,94	4,30	1503	44	6	88	91.5
14.	5,48	0,00	0,00	5,85	5,70	1806	57	3	95	
15.	5,18	5,28	4,00	4,60	5,63	493	51	9	85	78.86
16.	6,00	0,00	4,70	5,04	4,95	1292	40	15	72,72	
17.	6,32	5,00	0,00	5,18	5,36	663	29	1	96,96	95.98
18.	5,78	4,30	4,48	5,20	4,00	4329	57	3	95	
19.	6,26	0,00	0,00	5,65	4,70	1412	30	5	85,71	77.85
20.	6,06	5,60	0,00	5,72	5,04	1110	31	9	70	

## ANEXO II. VALORACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL SUELO EN EL AGROECOSISTEMA DE CHONTADURO

**Tabla 13.** Análisis microbiológico de las muestras de suelo, analizadas - Cuatro Esquinas - Tambo.

	<b>Agricultor</b>	<b>Vereda/Finca</b>	<b>CONTEO Esporas g suelo</b>	<b>PTO INF</b>	<b>PTO INF</b>	<b>NO</b>	<b>% INFECCION</b>	<b>% TOTAL</b>
21.	Aliro Lucio	Palo Verde	1709	48	7		87,27	91.13
22.	Benito Lucio	Palo Verde	690	57	3		95	
23.	Carlos Giron	La Aguadita	1563	42	6		72.41	83.52
24.	Olimpo Castro	La Aguadita- El Danubio	1840	53	3		94.64	
25.	Julio Cesar Moncada	Golondrinas - La Esperanza	955	27	8		77,14	81.9
26.	Luz Marina Mambuscay	Golondrinas- Bella Vista	1810	26	4		86,66	
27.	Leon Gueche	El Porvenir- La Palmera	2912	55	5		95	94.95
28.	Ernestina Solarte	El Porvenir- La Palmera 2	762	56	3		94,91	
29.	Elvia Alegria	El Progreso- La Esperanza	2520	52	3		94,54	95.45
30.	Lidia Maria Chavez	El Progreso- El Ceibo	455	53	2		96,36	
31.	Fredy Hoyo	Senda Magines- El Descanso	792	48	10		82,75	87.73
32.	Diovigildo Montenegro	Senda Magines- La Primavera	1916	81	4		92,72	
33.	Jair Dulcey	San Roque Oriente- El Naranja	1503	44	6		88	91.5
34.	Fidencio Valencia	San Roque Oriente- El Palmar	1806	57	3		95	
35.	Nubia Navarro	La Libertad- El Guadual	493	51	9		85	78.86
36.	Pastor Fajardo	La Libertad- El Alto	1292	40	15		72,72	
37.	Margarita Mora	Cuatro Esquinas- La Herencia	663	29	1		96,96	95.98
38.	Agustin Gutierrez	Cuatro Esquinas - El Naranjito	4329	57	3		95	
39.	Saturnino Giron	Morcon- La Bonanza	1412	30	5		85,71	77.85
40.	Leonilde Alegria	Morcon -La Peña	1110	31	9		70	

