



Análisis del aporte de las arvenses a la dinámica nutricional del suelo en tres sistemas productivos de café en el municipio del Libano (Tolima)

**Juan Carlos Córdoba Varón
Ana María Paula Patiño Bocanegra**

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2017

Análisis del aporte de las arvenses a la dinámica nutricional del suelo en tres sistemas productivos de café en el municipio del Libano (Tolima)

**Juan Carlos Córdoba Varón
Ana María Paula Patiño Bocanegra**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

PhD. Jorge William Arboleda Valencia

Codirector:

PhD., Mauricio García Arboleda

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2017

“Los analfabetas del siglo XXI no serán aquellos que no sepan leer y escribir, sino aquellos que no sepan aprender, desaprender y reaprender”.

Alvin Toffler.

Agradecimientos

Los autores expresan sus más profundos agradecimientos a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo en especial al PhD Jorge William Arboleda Valencia por su apoyo y colaboración en los momentos de consulta y soporte en este trabajo de investigación.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por el PhD., Mauricio García Arboleda por su orientación, asistencia y compromiso en la formulación, el trabajo de campo y la implementación de la metodología de esta Tesis, con lo que estamos en deuda por el ánimo infundido y la confianza depositada en nosotros.

Agradecemos al profesor Roger H Valle Molinares, por el manejo de la información con la elaboración del Análisis de Componentes Principales (ACP).

A Dios y el universo por haber conspirado para completar este proceso de investigación y con ello aportar a una visión holística del sistema productivo del café.

Un especial agradecimiento merece el ánimo, la comprensión y paciencia recibidos de nuestras familias y amigos.

A todos ellos, muchas gracias.

Resumen

Se evaluaron arvenses respecto su número de individuos encontrados, su aporte de biomasa y su contenido nutricional, incluida su tipificación taxonómica en tres sistemas de producción de café (Convencional, Mixto y Orgánico) en la vereda la Marcada, municipio del Líbano, departamento del Tolima (Colombia), en la cosecha del año 2014. Las arvenses fueron colectadas en tres cuadrantes, de 1 m² cada uno, contenidos en cinco transectos de 100 m² cada uno, para un total de 15 muestras por cada sistema de producción. Se les identificó taxonómicamente, luego una vez pesadas en fresco, se secaron a estufa a 65°C. Se les calculó el índice de Shannon y Simpson. El aporte de Arvenses, mostró una mayor diversidad en la finca orgánica frente a los otros dos tipos de finca, presentando índices cercanos a los de un ecosistema natural, estando este patrón de comportamiento relacionado con el componente antrópico, donde en el sistema orgánico prevaleció la *Llantén (Plantago rugelli Decne)*, para el convencional la *Pan con queso (Galinsoga parviflora Cav)* y para el mixto la *Coneja (Oplismenus burmanii Retz)*. En análisis químico integrado a la evaluación de su biomasa, se tipifica a ciertas especies, como reservorios de elementos químicos, influyendo en su economía, al evitar su lixiviación o volatilización y al cederlas nuevamente al agroecosistema, de manera análoga a la función agroecosistémica de las arcillas con su capacidad de intercambio catiónico.

Palabras clave: arvenses, nutrientes, suelo, biomasa, Agroecosistema.

Abstract

Weeds were evaluated with respect to the number of individuals found, their contribution of biomass and their nutritional content, including their taxonomic typing in three systems of coffee production (Conventional, Mixed and Organic) in the village of Marcada, municipality of Líbano, department of Tolima (Colombia), in the harvest of the year 2014. The weeds were collected in three quadrants, of 1 m² each, contained in five transects of 100 m² each, for a total of 15 samples for each production system. They were identified taxonomically, then once they were weighed fresh, they were dried at 65 ° C. The index of Shannon and Simpson was calculated. The contribution of Arvenses, showed a greater diversity in the organic farm compared to the other two types of farm, presenting indexes close to those of a natural ecosystem, this behavior pattern being related to the anthropic component, where in the organic system prevailed the Llantén (*Plantago rugelli* Decne), for the conventional Bread with cheese (*Galinsoga parviflora* Cav) and for the mixed Rabbit (*Oplismenus burmanii* Retz). In chemical analysis integrated to the evaluation of its biomass, certain species are typified as reservoirs of chemical elements, influencing their economy, avoiding leaching or volatilization and transferring them back to the agroecosystem, in a manner analogous to the agroecosystemic function of the clays with their cation exchange capacity

Keywords: weeds, nutrients, soil, biomass, Agroecosystem

.

Contenido

	Pág.
1. Revisión de literatura.....	3
1.1 Investigación en arvenses	3
1.2 Café y arvenses	8
1.3 Sistemas de producción en café.....	11
1.4 Arvenses como marcadores biológicos en café.....	14
2. Metodología	17
2.1 Localización transectos	17
2.1.1 Caracterización de fincas tipo	18
2.1.2 Establecimiento de parcelas de muestreo (transectos)	19
2.2 Parámetros y métodos	21
2.2.1 Biomasa asociada al sistema <i>in situ</i>	21
2.2.2 Análisis estadístico	23
3. Resultados y discusión.....	25
3.1 Tipificación de especies, géneros y familias	25
3.2 Biomasa e índice de diversidad en arvenses halladas	33
3.3 Composición mineralógica de arvenses halladas	37
3.4 Análisis de Componentes Principales.....	38
3.5 Análisis de la correlación en Componentes Principales.....	45
3.6 Discusión	47
4. Conclusiones y recomendaciones	53
4.1 Conclusiones.....	53
4.2 Recomendaciones.....	55
5. Bibliografía	65

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Sistemas de producción de café en Mexico de acuerdo a estudio comparativo realizado por el CIAT – IITA en 2013.	13
Figura 2-1: Selección tipos de finca para ubicación transectos, validadas por los autores para García (2016).	19
Figura 2-2: Esquema de transecto para las fincas tipo, validadas por los autores para García (2016).	19
Figura 2-3: División de cinco transectos, con cinta amarilla Tipo 1 y 2, validadas por los autores para García (2016).	20
Figura 2-4: Modelo finca tipo 3, ubicación transectos, validadas por los autores para García (2016).	20
Figura 3-1: Preponderancia de arvenses halladas en Finca tipo I Convencional en 2014.	27
Figura 3-2: Preponderancia de arvenses halladas en Finca tipo II Orgánica en 2014.	29
Figura 3-3: Preponderancia de arvenses halladas en Finca tipo III Mixta en 2014 ...	31
Figura 3-4: Muestreo y pesaje de la especie Pan con queso (<i>Galinsoga parviflora</i>) especie predominante en la finca tipo I (convencional)	33
Figura 3-5: Muestreo y pesaje de la especie Llantén (<i>Plantago rugellii</i>) especie predominante en la finca tipo II (Orgánica).....	34
Figura 3-6: Muestreo y pesaje de la especie Coneja (<i>Oplismenus burmanii</i>) especie predominante en la finca tipo III (Mixta)	35
Figura 3-7: Número de individuos frente a diversidad de especies, según finca tipo.	39
Figura 3-8: Número de individuos frente a unidades de muestreo, según finca tipo.	40
Figura 3-9: Unidades de muestreo frente a diversidad de especies, según finca tipo.....	40
Figura 3-10: Determinación de componentes (Similitud Factores) en ACP en evaluación biomasa de arvenses y contenidos mineralógicos en tres sistemas de producción de café.....	41
Figura 3-11: Agrupación por fincas tipo de los componentes Diversidad y Numero de individuos en ACP en evaluación biomasa de arvenses y contenidos mineralógicos en tres sistemas de producción de café	42
Figura 3-12: Varianza de la agrupación por fincas tipo de los componentes Diversidad y Numero de individuos en ACP en evaluación biomasa de arvenses y contenidos mineralógicos en tres sistemas de producción de café	43

Figura 3-13: Preeminencia biológica de especies de arvenses por fincas tipo de los componentes Diversidad, Contenido mineralógico y Numero de individuos en ACP en evaluación biomasa de arvenses y contenidos mineralógicos en tres sistemas de producción de café	44
Figura 3-14: Resumen Matriz de correlación en ACP (ver original en el anexo C), de las 13 variables agrupadas con los datos medidos en especies de arvenses halladas por fincas tipo en tres sistemas de producción de café.....	46

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Familia y especie arvense y número de individuos hallados en 2014 en Finca con producción Convencional, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).....	26
Tabla 3-2: Familia y especie arvense y número de individuos hallados en 2014 en Finca con producción Orgánica, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).....	28
Tabla 3-3: Familia y especie arvense y número de individuos hallados en 2014 en Finca con producción Mixta, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).....	30
Tabla 3-4: Índices Shannon y Simpson, Finca Tipo I (Convencional) en 2014, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).	33
Tabla 3-5: Índices Shannon y Simpson, Finca Tipo II (Orgánica) en 2014, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).	34
Tabla 3-6: Índices Shannon y Simpson, Finca Tipo III (Mixta) en 2014, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).	35
Tabla 3-7: Contenido de nutrientes minerales en arvenses halladas en las tres fincas en 2014, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).	37

Introducción

El manejo y los diseños agroecológicos influyen notoriamente en la estructura del agroecosistema, en términos de la diversidad con arvenses asociadas, respecto de los análisis convencionales, en la zona cafetera del Tolima municipio del Líbano y en general en el país, los cuales se realizan desde una perspectiva de la rentabilidad financiera y para lo cual se utilizan indicadores basados exclusivamente en el componente productividad y en aspectos financieros; estos, no tienen en cuenta las particularidades que se presentan a nivel de diferentes arreglos y modelos productivos, expresados en diferentes escenarios de la agro biodiversidad; por tanto, se hizo necesario generar métodos e indicadores, que complementen la valoración integral de los sistemas, los cuales permitan evaluar su sustentabilidad, a su vez que proporcionen criterios para tomar decisiones sobre su manejo.

Esta tesis de grado, como apéndice científico de la tesis doctoral de García (2016), pretendió aplicar una metodología que incluye la tipificación de las arvenses en especies, género y familia y el contenido nutricional de estas para evaluar tres sistemas de producción de café (Convencional, Mixto y Orgánico), con diferentes manejos agronómicos y diferentes escenarios de agro biodiversidad, comparar la eficiencia de dicha evaluación, frente al análisis convencional de sistemas de producción. Para ello se incluyó en campo, lo recomendado por García (2016) citando a Altieri y Nicholls (2002), respecto a un método más eficiente para medir la sustentabilidad de un cafetal (García, 2016), (Altieri & Nicholls, 2002).

A diferencia con el trabajo doctoral, esta investigación no usó la información de las arvenses existentes e identificadas como un insumo de la biomasa en el cálculo de la exergía, sino que se usó dicha información junto a los contenidos mineralógicos hallados, para evaluar su correlación y poder predecir a partir de ella, como los elementos y minerales en su conjunto actúan con la biomasa de arvenses, para generar el total de individuos existentes en los sistemas estudiados en general.

Se halló que el sistema de producción orgánico muestra una mayor biodiversidad en la distribución de las arvenses (según el índice de Shannon y Simpson calculado), en comparación con los otros tipos de fincas analizados (Convencional y Mixto); por consiguiente, las cantidades de biomasa generadas por las diferentes poblaciones de arvenses están relacionadas con el volumen vegetativo y la diversidad de especies que crecen en el estrato bajo de cada uno de los agroecosistemas.

Siendo el objetivo general de esta tesis de grado, la evaluación del aporte de las arvenses a la dinámica nutricional del suelo, se usó el análisis de componentes principales (ACP) considerando que el número de individuos de una arvense dada o hallada, está en relación con su biomasa (peso seco aéreo y peso seco raíz) y con su composición mineralógica, para combinar la información cuantitativa sobre biomasa hallada, con la tipificación taxonómica y junto a los contenidos nutricionales evaluados, para determinar hasta qué punto existe correlación de estas variables con la nutrición del suelo en la zona productora del municipio del Libano (Tolima).

1.Revisión de literatura

1.1 Investigación en arvenses

Según García (2016)¹, la composición química de las arvenses encontradas en tres sistemas de producción de café en Colombia (Convencional, Mixto y Orgánico), conlleva observar cómo ciertas especies y familias halladas, actúan como retenedoras de contenidos mineralógicos; sostiene igualmente que:

La calidad del aporte de biomasa de las arvenses está influenciado por el tipo de manejo del sistema productivo, en donde a mayor índice de Shannon, mejor residuo diversidad del material aportado en la deshierba; finalmente, el aporte de biomasa de la raíz, es una variable importante en la cuantificación de la biomasa aportada por las arvenses (Garcia, 2016, pág. 124)

En investigación sobre la importancia de las arvenses en los suelos, Labun, Salamon y Grulova (2012), estudiaron la dependencia que la biomasa sub superficial, superficial y la total tienen con el pH del suelo, en un estudio sobre la arvense *Equisetum arvense L.* (Cola de caballo), que crece naturalmente en dos localidades de Eslovaquia oriental, sobre suelos arenosos y arcillosos con alta humedad; esta arvense común en las zonas templadas de la Tierra, sobre suelos pobres inundados, pero prácticamente inexistente en el trópico, es importante por su nula necesidad de condiciones nutricionales donde se

¹ Nota de los autores: del cual se abordó la metodología de su tesis doctoral, en razón que esta tesis de maestría es un apéndice científico de la de García (2016).

desarrolla, contenido de oro (0,5% en cenizas) y su existencia desde el precámbrico. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 398)

Los autores citados, encontraron que el peso de biomasa colectado es directamente dependiente del pH del suelo, mostrando que, con el incremento del pH, también se incrementa el contenido de biomasa; de forma contraria al del carbono orgánico (materia orgánica y humus) del suelo, mientras este aumenta, los contenidos de biomasa total, superficial y sub superficial, no lo hicieron. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 401).

Para Labun, Salamon y Grulova (2012), citando a Fowler y Antonovics (1981), el hábitat de biotipos de plantas dentro de un ambiente heterogéneo tiene una influencia positiva sobre su crecimiento, reproducción y mortalidad, añadiendo que la heterogeneidad espacial, aun a una escala relativamente pequeña, puede producir grandes cambios demográficos dentro del desarrollo de las poblaciones naturales. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 402).

Los autores citando a Helal y Sauerbeck (2007), que observaron el uso del carbono orgánico del suelo para la creación de biomasa de maíz, sostienen que este elemento tiene influencia para la creación de biomasa sub superficial y superficial, conjuntamente. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 402). En su estudio de tres años, 2009 a 2011, sobre la arvense “cola de caballo”, los autores encontraron que factores bióticos y abióticos, también tienen importante influencia sobre la formación de biomasa; entre los factores básicos que influyen la biomasa total, superficial y sub superficial, están el clima, el tiempo meteorológico, y las sustancias minerales del suelo. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 403).

Igualmente encontraron que el incremento del contenido de humus y de magnesio, no incrementaban la biomasa estudiada; al contrario, el contenido de potasio del suelo si

incrementó la formación de biomasa en sus tres mediciones. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 404).

En otra línea investigativa, González (2008) considera que es importante que exista un manejo adecuado de las arvenses en los agroecosistemas, ya que pueden ser un recurso económico alternativo para la comunidad campesina, además del cultivo anual, pero también pueden causar pérdidas. (Gonzalez, 2008).

La misma autora plantea la hipótesis, la cual un agroecosistema tradicional, conservar la diversidad vegetal es una estrategia de manejo, en el que la biomasa útil de las plantas que crecen espontáneamente puede representar una parte relevante de la producción vegetal en términos económicos para las familias campesinas. (Gonzalez, 2008, pág. 13).

González (2008), citando a Vibrans (2006), argumenta que las arvenses son aquellas plantas que constituyen la vegetación que crece de forma espontánea entre los cultivos anuales, viviendo en competencia con la vegetación sostenida por el ser humano. (Gonzalez, 2008, pág. 14).

Citando a Harlan (1976), la autora reconoce que los agroecosistemas tradicionales son genéticamente diversos, contienen poblaciones de razas geográficas variables y adaptadas de los cultivos, así como de sus parientes silvestres. Las especies arvenses forman parte de la diversidad de especies del cultivo. (Gonzalez, 2008, pág. 15).

Describe igualmente los tipos de diversidad biológica, planteados por Halffter y Ecurra (1992), así: 1) Diversidad alfa (dentro de un tipo de vegetación o hábitat o área pequeña): es el número de especies presentes en un mismo hábitat considerando su abundancia relativa; 2) Diversidad beta (dentro de un tipo de vegetación de un lugar a otro): Es la

heterogeneidad espacial; y 3) Diversidad gama: está dada por la diversidad de ecosistemas en una región o paisaje determinado. (Gonzalez, 2008, pág. 16).

González (2008), toma los índices de diversidad, en cuanto que, estos, han sido ampliamente usados en el análisis de comunidades vegetales y reflejan la estructura de la comunidad, por cambios en la riqueza de especies, equidad y, en algunas ocasiones, densidad, según Dorgeloh (1999), citado por la autora, además que describe al *Índice de Shannon* como uno de los más utilizados, ya que combina la consideración de la riqueza y equidad de especies (Gonzalez, 2008, pág. 16):

$$H' = \sum_{i=1}^s (Pi)(\log_2 Pi)$$

Dónde:

Pi = es la proporción de todos los individuos en la muestra

$\ln Pi$ = es el logaritmo natural de pi.

Para González (2008), la importancia de las arvenses está dada por su papel en la productividad de un agroecosistema, por la que dicho estudio de la productividad de agroecosistemas tradicionales, requiere considerar la totalidad de la biomasa útil que proviene de una superficie agrícola, para evaluar en forma integral la aportación que está haciendo cada uno de sus componentes y no solo el cultivo principal; afirma además, citando a Odum (1982), que desde el punto de vista biológico, la productividad primaria se define como la tasa a la cual la energía radiante es almacenada por la actividad fotosintética en forma de materia orgánica y que se suele distinguir entre productividad primaria bruta y productividad primaria neta: siendo la primera, la que se refiere al total de la actividad fotosintética (incluyendo aquella parte de energía radiante captada pero usada

en el proceso de respiración), y la segunda, como la productividad primaria neta, que es igual a la tasa de energía realmente incorporada a los tejidos de la planta. (Gonzalez, 2008, pág. 18).

Finalmente, González (2008), encontró (estudiando las arvenses dentro del cultivo de maíz, en México), que las prácticas agrícolas afectan la riqueza, diversidad y cobertura de las arvenses, y que en el manejo adecuado de estas (en el poblado Nanacamilpa, donde realizó su estudio, se acostumbra dos cortes de arvenses en el ciclo del cultivo, una al principio de la siembra y otra antes de la cosecha) puede seleccionar y limitar el desarrollo de especies útiles y potenciales; además encontró que existe relación entre la cobertura de especies y la biomasa producida por estas, y que, potencialmente, la biomasa producida de maíz es superada en un 41% por la biomasa de plantas silvestres útiles. (Gonzalez, 2008, pág. 75).

En el estudio realizado por Nicholls (2008), citando a Altieri (2004), considera que:

La diversidad de artrópodos se correlaciona con la diversidad vegetal en agroecosistemas. En general una mayor diversidad de plantas implica una mayor diversidad de herbívoros, y esto a su vez determina una mayor diversidad de depredadores y parásitos, lo que resulta en cadenas tróficas complejas. Una biodiversidad total mayor puede asegurar la optimización de procesos ecológicos claves y el funcionamiento de los agroecosistemas (Nicholls, 2008, pág. 180).

Un gran número de estudios, se han dedicado a encontrar la relación entre la diversidad de artrópodos y la composición de las plantas. Se ha concluido que las arvenses influyen en la diversidad de insectos dentro de un sistema cultivo – arvenses – insectos, según Altieri y Letourmeau (1984), Altieri (1994), (1995) citados por Zhang (2011). (Zhang, 2011, pág. 37).

1.2 Café y arvenses

En un estudio adelantado entre 2009 a 2010 en el estado de Mina Gerais (Brasil) evaluando cobertura intercalada de leguminosas en el suelo en cultivo de café, Freitas, da Cunha y Melo (2014), encontraron que maní forrajero y con soya perenne intercalada entre los surcos de café, proporcionaron una buena cobertura del suelo y redujeron la infestación de malezas; por su parte el maní forrajero, con manejo lateral y vertical, y la soya perenne con manejo lateral, lograron una más baja infestación de malezas; hubo una correlación negativa y significativa entre la cobertura del suelo proporcionada por las leguminosas y la infestación de malezas (Freitas, Cunha, & Melo, 2014, pág. 150).

De otra parte en 2004, en el sur de Sumatra, Indonesia, en el cultivo de café que se desarrolla en las laderas de las zonas montañosas, donde la erosión del suelo es un problema severo, se investigó que la introducción de arvenses como planta de cobertura es efectiva en la reducción de la erosión del suelo; a tal punto que se midió el efecto del manejo de arvenses, la deshierbe y la cobertura con *Paspalum conjugatum* Berg sobre las propiedades químicas del suelo, mostraron tras cuatro años que los contenidos de C total, N total, P disponible y Mg intercambiable en las capas de 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad, fueron significativamente mayores en el *Paspalum conjugatum* y en las parcelas de arvenses naturales, que en la parcela de deshierbe; bajo la plantación de café se redujeron por la cobertura con arvenses, de modo que la cobertura del suelo con arvenses en el café en laderas, fue efectiva en el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Sarno, y otros, 2004, pág. 56).

En una encuesta sobre la diversidad de arvenses en fincas de café con uso prolongado de glifosato en el condado de Kiambu, Kenia, se encontró que la mayoría de las especies de arvenses abundantes fueron de hoja ancha y de naturaleza anual; dado el ranking de

arvenses donde sus especies difieren en función de la frecuencia (F), la uniformidad del campo (FU) y la densidad media del campo (MFD); de otro lado, dentro del tipo de arvenses, el valor de RA más alto refleja sus respectivos valores más altos de frecuencia (F), uniformidad de campo (FU) y significativa densidad de campo (MFD); así las cosas, los resultados de la encuesta proporcionaron una comparación cuantitativa entre las especies comunes de arvenses en el café a gran escala en fincas del condado de Kiambu en Kenia; esta fincas han tenido una historia común de uso prolongado de glifosato para el control de malezas, lo que sorprendió dado que *Bidens pilosa* L haya desarrollado tolerancia/resistencia al glifosato; lo que de acuerdo a la base de la abundancia relativa, la especie de arvenses más prevalente (*Bidens pilosa* L) fue seleccionada para determinar la hipótesis la hierba es susceptible al glifosato en una dosis superior al común de lo aplicado en las fincas kenianas (Migwi, Ariga, & Michieka, 2017, pág. 86).

No obstante, lo encontrado por Ronchi, Terra y Silva (2007), quienes evaluaron los efectos de la competencia de las seis especies de malezas sobre el crecimiento, la concentración de nutrientes y contenido de nutrientes del sistema radicular de la planta de café bajo condiciones de invernadero, en el suroriente brasilero. Treinta días después del trasplante de las plántulas de café, Rochi et al (2007) encontraron que la duración de la competencia (o períodos de arvenses) a partir de trasplante de estas o de su emergencia hasta la cosecha de la planta, en la etapa de prefloración de las arvenses, fue (en días): 77 (*Bidens pilosa*), 180 (*Commelina diffusa*), 82 (*Leonurus sibiricus*), 68 (*Physaloides Nicandra*), 148 (*Brasiliensis Richardia*) y 133 (*Rhombifolia* sp); hallando que la materia seca de las plantas de café, se reduce linealmente con el aumento de *B. pilosa* y la densidad de *S. rhombifolia*, con efecto pronunciado de *B. pilosa*; por otro lado *Leonorus sibiricus*, *Physaloides N.* y *Brasiliensis richardia*, reducen la materia seca de la raíz de las plantas de café, por 75, 52 y 47%, respectivamente, en comparación con el tratamiento libre de arvenses,

independientemente de la densidad de estas; finalmente hallaron que bajo la competencia, sin importar las especies de arvenses, estas mostraron menor concentración de macronutrientes en las raíces (excepto para P); igualmente se acumularon 4,2 (N), 12,3 (P) 4,3 (K), 5,5 (Ca) 7,6 (Mg) y 4.4 (S) veces más nutrientes en las raíces, que la hallada en las plantas de café (Ronchi, Terra, & Silva, 2007, pág. 680).

En un trabajo de investigación adelantado por Mora (2011) en el CATIE, se encontró que las investigaciones en sistemas agroforestales, han enfatizado que estudios sobre interacciones bajo el suelo, son importantes para entender el desarrollo y la distribución de raíces finas de cultivos y arboles asociados; según esta autora, la variabilidad espacial de raíces finas de *Coffea arabica* L., depende sobre la disponibilidad de nutrientes y cómo dichas raíces finas están distribuidos espacialmente; a su vez, estas raíces finas suelen ser consideradas como un indicador potencial de competencia bajo el suelo entre la planta cultivo y árbol (Mora, 2011, pág. 11).

Según lo hallado, los cultivos podrían responder a través de la proliferación selectiva de sus raíces finas dentro de parches ricos de nutrientes; en su investigación, Mora (2011), caracterizó los cambios espaciales de raíces finas de café ($d < 2.0$ mm) y las propiedades de suelos, en tres asociaciones árbol- café: 1) *Abarema idiopoda* (maderable y fijador de N), 2) *Erythrina poeppigiana* (fijador de N), y 3) *Terminalia amazonia* (Maderable), todas sometidas a manejos convencional y orgánico, acorde a lo investigado por los autores de esta tesis de maestría sobre arvenses (Mora, 2011, pág. 11).

Mora (2011), halló que una cantidad significativa de raíces finas de café, encontrado en la capa de hojarasca o mantilla, demuestra la importancia de incluir esta capa para una correcta estimación de raíces finas en sistemas agroforestales con café; que la sombra de los árboles, mostraron marcada diferencia en la distribución vertical de sus raíces finas y

afectaron la densidad longitudinal de raíces finas del café a una profundidad de 40 cm; así mismo, las raíces finas de café, abarcaron mayor volumen de suelo bajo el manejo convencional durante la época de formación de frutos, sin embargo, al momento del pico de cosecha, la DLR de café no se vio afectada por los tipos de manejo; no obstante encontró que en las asociaciones árbol- café con manejo orgánico, estas mostraron incrementos importantes en el estado nutricional del suelo y una disminución en la concentración del Al intercambiable; relevante a lo estudiado en esta tesis de maestría sobre arvenses, es lo concluido por Mora (2011), cuando afirma que si el suelo es menos ácido, el patrón de exploración por recursos y los mecanismos de proliferación de raíces tienden a aumentar, buscando además, determinaciones de escalas de variación espacial en raíces finas, que pueden ofrecer nuevos hallazgos en los estudios de las interacciones planta-suelo y cultivo-árbol en los sistemas agroforestales (Mora, 2011, pág. 11).

1.3 Sistemas de producción en café

En 2017 se analizaron en el suroeste de Antioquia los sistemas de producción de café, en el cual resultó que se ha caracterizado por estar a la vanguardia en la producción de café en Colombia, con una alta diversidad de sistemas de producción. En la investigación de la Universidad Nacional se caracterizaron y tipificaron 13 sistemas productores de café (*Coffea arabica* L.), bajo diferentes tipos de manejo, en el municipio de Andes; para ello se usó la metodología consistente en la caracterización cualitativa de las dimensiones sociodemográfica, ambiental, económica y agrícola, seguido de una tipificación estratificada; en la misma, se realizaron análisis estadísticos de tipo factorial por correspondencia múltiple y el método del clúster; al final los resultados destacaron que en la dimensión sociodemográfica el 100% de los cafeteros son propietarios de la tierra, poseen formación primaria, presentan un área predial entre tres y cuatro hectáreas y

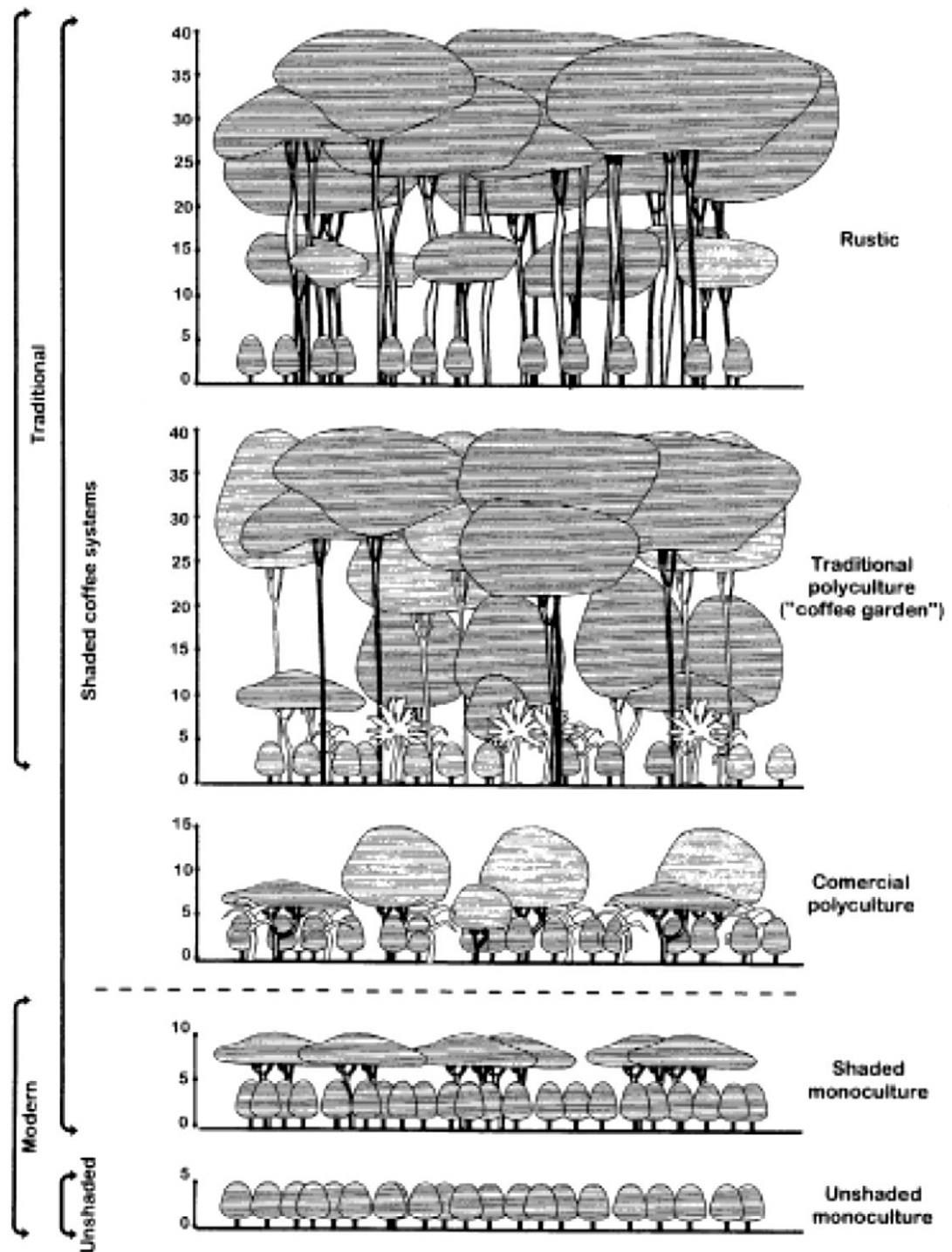
poseen más de 10 años de experiencia; ya respecto a lo ambiental, el 100% poseen beneficios tradicionales y secan al sol el café y entre el 46 y 69% utilizan agroquímicos; desde la apreciación económica, el 77% de los cafeteros comercializan con las cooperativas y poseen altos costos de producción sin ganancias; finalmente para lo que interesa a esta tesis de maestría, en la evaluación agrícola el 100% preparan los suelos con labranza mínima, compran las semillas, el 85% contratan mano de obra y el 46% presentan baja calidad del suelo y de biodiversidad; así mismo, la tipificación arrojó que el 47% de los cafeteros presentan sistemas Convencionales (Utilización de insumos químicos), el 38% son sistemas en Transición I (Racionalización de insumos sintéticos) y sólo el 15% poseen sistemas en Transición II (Utilización de insumos orgánicos), equiparables a la distribución de las fincas usada para esta tesis de maestría (Rodríguez, Vásquez, Restrepo, & Márquez, 2017, pág. 8327).

De otro lado en un estudio comparado entre Nicaragua y Uganda sobre sistemas de producción de café y adaptación al cambio climático, llevado a cabo por el CIAT – IITA (2013), se comenta los tres sistemas usados en México (como muestra la figura 1-1):

Rústico: este sistema elimina solo los estratos inferiores del bosque. Como resultado, la cubierta original del árbol es mantenido, bajo el cual los arbustos de café son insertado.

Policultivo tradicional: se introduce el café bajo la cubierta del bosque original. El café es crecido junto a numerosas especies de plantas útiles, formando un sofisticado sistema de gestión de nativos y especies introducidas, por ejemplo.

Policultivo comercial: este sistema involucra eliminación completa del dosel original del bosque árboles y la introducción de un conjunto de árboles de sombra apropiado para el cultivo de café. Café incluido cítricos, frutas, plátanos y otros cultivos comerciales son crecidos y la producción se dirige al mercado (CIAT - IITA, 2013, pág. 12).



Fuente: (CIAT - IITA, 2013, pág. 12)

Figura 1-1: Sistemas de producción de café en México de acuerdo a estudio comparativo realizado por el CIAT – IITA en 2013.

1.4 Arvenses como marcadores biológicos en café

En un estudio en el estado Paraná (Brasil), sobre efectos del control de malezas (arvenses) y cultivos de cobertura a largo plazo entre surcos de café, se evidenció que la materia orgánica del suelo (MO) tiene un papel importante para la calidad del suelo y el mantenimiento de la productividad, actuando como fuente de energía, promoviendo la diversidad biológica y mejorando la composición de los ecosistemas terrestres; según el estudio, se evaluó los efectos del control de malezas a largo plazo y los cultivos de cobertura entre surcos de café con respecto a la calidad MO en un Typic Haplorthox (Dystróferric Red Latosol) muy arcilloso (80 dag kg⁻¹ de arcilla) del estado de Paraná, sur de Brasil; con ello, se evaluaron siete cultivos de cobertura y control de malezas, entre los surcos de café, así: (i) deshierbe manual - HAWÉ; (ii) guadañadora - PMOW; (iii) herbicidas pré + post-emergencia - HERB; (iv) cultivo de cobertura de maní (*Arachis hypogaeae*) - GMAY; (v) cultivo de cobertura de mucuna enana (*Mucuna deeringiana*): GMMA; (vi) control de ausencia de malezas entre surco de café -SCAP; (vii) control de malezas-CONT; las muestras de suelo se recolectaron en el centro de los surcos entre cafetales a cuatro profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm; la evaluación de la calidad de la MO incluyó el contenido total de carbono orgánico del suelo (SOC) y el grado de humidificación de la materia orgánica (HFIL) mediante espectroscopía de fluorescencia inducida por láser (LIFS). El contenido de C fue hasta 26% más alto para las muestras SCAP y CONT, en comparación con las otras condiciones de campo, lo que denota la influencia de la acumulación de material vegetal en el suelo superior (0-10 cm). Se observaron resultados más altos de HFIL (hasta 47%) en capas más profundas, infiriendo incidencia de estructuras menos humificadas / lábiles en el suelo superior y carácter condensado / recalcitrante para la materia orgánica en profundidad, independientemente de los cultivos de cobertura y el método de control de malezas considerado; finalmente en

términos de densidad de malezas se observó un mayor impacto negativo sobre el crecimiento de malezas en áreas bajo cultivo de cobertura GMMA (disminución del 90.8% en densidad de malezas); según los autores dicho comportamiento puede atribuirse a la composición química de la especie, lo que en última instancia conduce a la posible aparición de un fenómeno alelopático (Martins, Junior, Miyazawa, Vieira, & Milori, 2015, pág. 45).

En la revisión de literatura de 2016 adelantada por de Souza, Guedis y Fontannetti acerca de la acción de los herbicidas sobre plantas indicadoras y marcadores genéticos, corroboraron que ante el aumento en el uso de pesticidas en todo el mundo (entre otros, debido a la demanda de productos de buena calidad y para satisfacer a una población en crecimiento) en razón que los herbicidas representan casi la mitad de la cantidad total de pesticidas utilizados, se debe evaluar el daño causado por herbicidas al medio ambiente, mediante diferentes organismos que han sido utilizados como bioindicadores, especialmente plantas superiores; las autoras destacaron las principales plantas indicadoras (*Allium cepa*, *Vicia faba* y *Tradescantia* spp.) y a los biomarcadores más utilizados (índice mitótico, alteraciones cromosómicas, micronúcleos, pares cromátidas de intercambio y mutaciones), llegando a concluir que los herbicidas inducen citotoxicidad y genotoxicidad en los bioindicadores evaluados; al punto que los datos corroboraron las advertencias existentes de los riesgos que el indiscriminado y el creciente uso de plaguicidas plantea al medio ambiente y su biodiversidad (Souza, Guedes, & Fontanetti, 2016, pág. 2).

2. Metodología

Esta investigación corresponde a un apéndice científico realizado por los autores para complementar la investigación de la tesis doctoral de García (2016), investigador el cuál usó la información de los autores como un insumo para la valoración de la exergía de los tres sistemas, mientras que los autores de esta investigación usaron la tipificación de las arvenses, su biomasa, sus contenidos nutricionales, sus índices de diversidad y la relación entre estos con la fertilidad del suelo de las tres fincas evaluadas, mediante el análisis de componentes principales (ACP).

Por tanto, la metodología empleada por los autores incluyó tres áreas de trabajo: 1) la toma en campo y procesado de muestras en laboratorio, donde se obtuvieron las variables que influyeron en la cantidad de biomasa base peso seco –arvenses – entre transectos, e índices de Shannon y Simpsons); 2) el análisis mineralógico de las muestras de plantas determinando sus contenidos de elementos; y 3) el análisis de componentes principales (ACP).

2.1 Localización transectos

La localización de la zona de estudio corresponde al departamento del Tolima, municipio del Líbano, Vereda La Marcada, sus coordenadas, corresponden a Latitud: 04°55" N - Longitud: 75°10" O.

De acuerdo con Gonzales *et al.*, (1997) estos suelos pertenecen a la Unidad Líbano cuyo material parental son cenizas volcánicas y taxonómicamente corresponde a *Melanudans*. Estos suelos muestran baja fertilidad en cuanto al contenido de bases intercambiables y fósforo soluble es muy pobre. Presentan en cambio, alto contenido de materia orgánica. Se encuentra mapificada en el departamento del Tolima en los municipios Líbano, Lérída, Venadillo, Santa Isabel y Anzoátegui; Ecotopos 207B, 208B.

2.1.1 Caracterización de fincas tipo

Finca Convencional: Para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo 1**, y está caracterizada por estar diseñada en Monocultivo de café, el manejo convencional del sistema productivo, la aplicación de fertilizantes y plaguicidas químicos de síntesis y no tiene en el diseño, especies vegetales asociadas al cultivo.

Finca Orgánica: Para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo 2**, y está caracterizada por estar diseñada en Policultivo y/o Asociaciones de café, el manejo ecológico del sistema productivo, la aplicación de Abonos Orgánicos, caldos minerales, Inoculantes microbiales, Hongos antagonistas, control biológico y arreglos alelopáticos y simbióticos. Por lo anterior este sistema en su diseño tiene varias especies vegetales asociadas al cultivo del café.

Finca Mixta: Para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo 3**, y está caracterizada por estar diseñada en arreglos Plátano – Café o Café - Aguacate, el manejo limpio del sistema productivo, la aplicación racional de fertilizantes y plaguicidas químicos de síntesis y este sistema en su diseño tiene una o dos especies vegetales asociadas al cultivo del café.

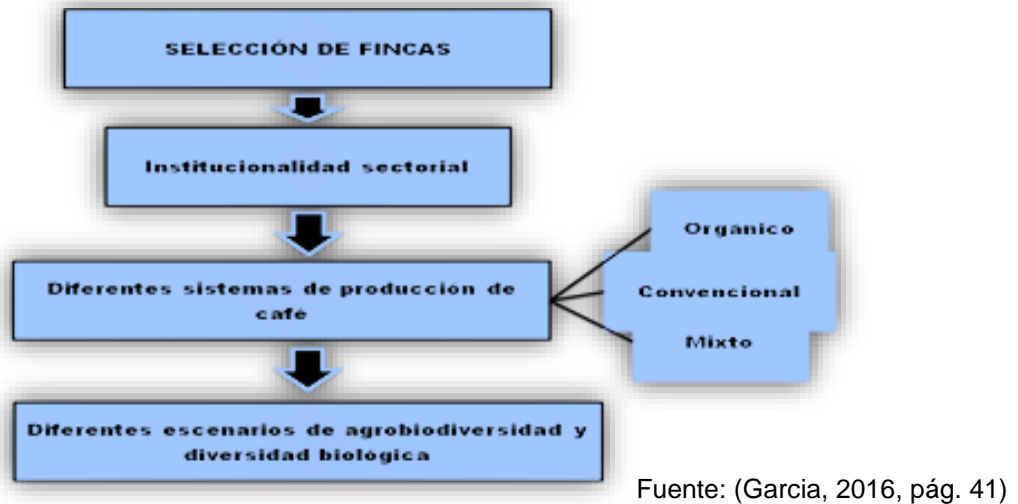
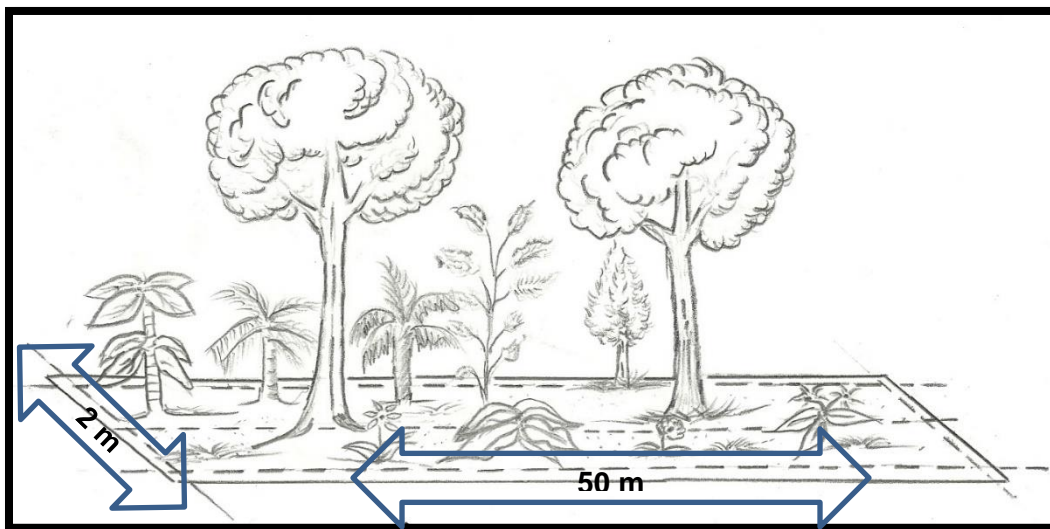


Figura 2-1: Selección tipos de finca para ubicación transectos, validadas por los autores para García (2016).

2.1.2 Establecimiento de parcelas de muestreo (transectos)

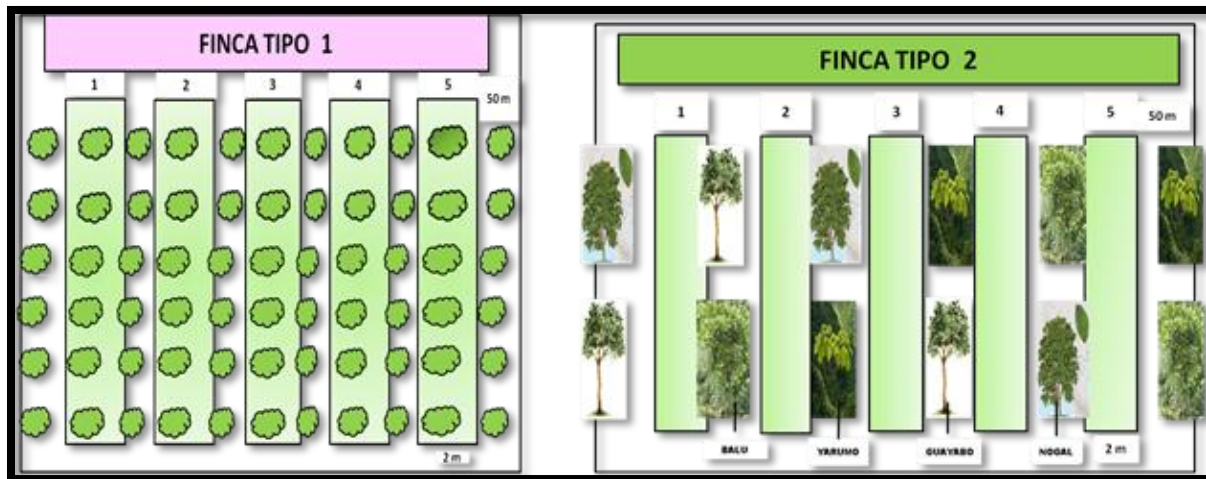
En cada finca tipo se establecieron cinco (5) transectos (50 m x 2 m) distribuidos al azar, distanciados el uno del otro máximo por 20m y sin cruzarse (Villareal, Álvarez, Córdoba, Escobar, Fagua, Gast, Mendoza, Ospina y Umaña, 2006).



Fuente: (Garcia, 2016, pág. 42)

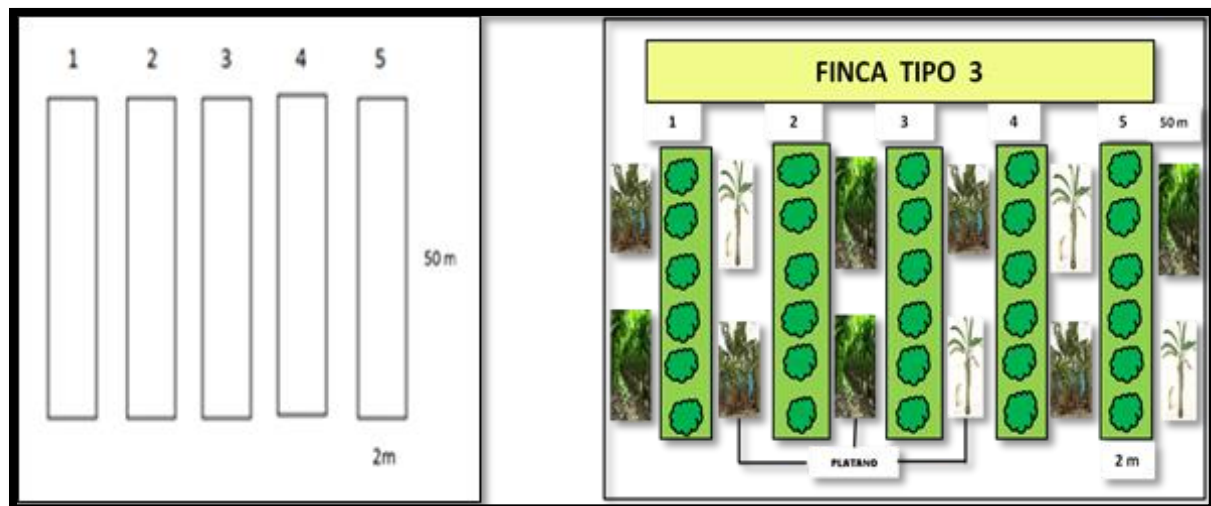
Figura 2-2: Esquema de transecto para las fincas tipo, validadas por los autores para García (2016).

Cada transecto de 50 m x 2 m, se trazó con una cuerda y con una vara de 1 m, se estableció la distancia a cada lado de la cuerda. Se censaron todos los individuos que se encontraron dentro del área de muestreo, se colectaron, se estimó su altura, se registró su hábito de crecimiento y todas las características que permitieron reconocerlos posteriormente. Los diseños de cada Finca Tipo, con los respectivos transectos fue la siguiente:



Fuente: (García, 2016, pág. 42)

Figura 2-3: División de cinco transectos, con cinta amarilla Tipo 1 y 2, validadas por los autores para García (2016).



Fuente: (García, 2016, pág. 42)

Figura 2-4: Modelo finca tipo 3, ubicación transectos, validadas por los autores para García (2016).

2.2 Parámetros y métodos

Durante la fase de recolección en campo y el posterior cálculo del índice de Shannon, se calcularon los siguientes parámetros dentro de los métodos más afines a los mismos:

2.2.1 Biomasa asociada al sistema *in situ*

Con el fin de asociar la biodiversidad florística a la generación de biomasa al interior de cada finca se caracterizaron los diferentes espacios de uso mediante el análisis y caracterización de transectos, que constituyen el predio o que caracterizan cada una de las fincas; es decir se hizo una mapeación de transectos de diversidad vegetal (estos transectos se tomaron preferiblemente en el sentido de la pendiente). Los componentes de este análisis fueron los siguientes:

- *Clasificación de especies en el transecto:* Para el registro de la información en el campo se utilizaron libretas topográficas, formatos de campo previamente diseñados y una grabadora. A medida que se registraron los individuos en un transecto, se enumeraron consecutivamente. Cuando se colectó un individuo dentro de un transecto, se guardó en una bolsa separada y marcó con cinta de enmascarar o un papel con el número del transecto y el número de secuencia de registro dentro del transecto. Posteriormente a este muestreo, se le asignó un número de colección, se prensó y se procesó hasta constituir un ejemplar de herbario (con cuatro duplicados, que se distribuyeron en los herbarios de la Universidad Nacional y la Universidad del Tolima). Una vez finalizó la fase de campo, se llevó a cabo una lista de especies. Con estos datos organizados se realizaron los cálculos de Shannon y Simpson.
- *Índices de diversidad de especies:*

$$\text{Shannon: } \sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \left(\log_2 \frac{N}{n_i} \right)$$

Donde, n_i = número de individuos en el sistema o muestra que pertenecen a la especie “i”
y N = número de individuos.

$$\text{Simpson: } \frac{N(N-1)}{\sum n_i(n_i-1)}$$

Donde, n_i = número de individuos en el sistema o muestra que pertenecen a la especie “i”
y N = número de individuos. Para el índice de Simpson el valor mínimo es uno y para el índice de Shannon el valor mínimo es cero. Ambos mínimos indican la ausencia de diversidad.

En teoría, el valor mínimo para cada índice es limitado solamente por el número de especies y que tan uniformemente estuvieron distribuidas en el ecosistema. Los ecosistemas naturales relativamente diversos, tienen un índice de Simpson de cinco (5) o mayor y un índice de Shannon de tres (3) o cuatro (4).

- *Cálculo promedio de biomasa por metro cuadrado:* Simulando la periodicidad del manejo de arvenses en cada finca tipo, en este componente se realizó, en cada transecto, una cuantificación promedio mediante toma de muestras al azar de la biomasa en base fresca de las arvenses, por metro cuadrado, tanto aérea como radical, para lo cual se realizó en los transectos el muestreo de 0,001 Ha, que corresponden a 10 m² por replica; mediante la utilización de un marco de 1 m², se tomó de dichas muestras de biomasa de arvenses, en bases frescas, tanto aérea como radical, y como fueron tres (3) replicas, se realizó dicha toma de muestra tres (3) veces por cada transecto. Posteriormente la biomasa de hojas, ramas y raíces extraídas se empacó (cada muestra de aproximadamente 500 g) que se colocó en bolsas plásticas para llevarlas al laboratorio, en donde se pasó a bolsas de papel y se secó en el horno a 65° C; se estableció su peso en base seca; replicándose a los dos (2) meses (dependiendo del manejo agronómico de las arvenses en cada finca tipo).

- *Análisis Químico por aportante de biomasa y especies prioritarias:* Con el fin de estimar los aportes de nutrientes, se desarrolló en el laboratorio el análisis de tejido vegetal, mediante extractos de digestión y obtener así las concentraciones de N por el método de semi-micro Kjeldahl; y para K, P, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn, B por espectrometría de absorción; posteriormente, los aportes de dichos nutrientes se obtuvo multiplicando la biomasa en base seca de arvenses por la concentración de cada aportante de biomasa, obteniendo nutriente por componente. Con la información de la clasificación de especies por transectos y de los índices de diversidad de especies se priorizarán las especies más abundantes a las cuales se les realizó (cuando no se disponía de información secundaria) el análisis de nutrientes totales en tejidos, para establecer la dinámica de macro y micro elementos con cada una de ellas.

2.2.2 Análisis estadístico

Para los autores, con la validación de García (2016), se empleó el Análisis de Componentes Principales, como herramienta para la agrupación o clusters de variables que hicieran de la información de campo, mas interpretativa respecto a los individuos hallados, identificados y su correspondencia con los contenidos bromatológicos y el sistema de producción de café; de la misma forma se hizo uso de las frecuencias reportadas para calcular los índices de Shannon y Simpson.

3.Resultados y discusión

De acuerdo con los objetivos planteados al inicio de la investigación de esta tesis de maestría, los autores desarrollaron los resultados en cuatro ítems: 1) tipificación de arvenses halladas; 2) Biomasa e Índice de diversidad de arvenses halladas; 3) Composición mineralógica de las arvenses halladas; y 4) Análisis estadístico a través del Análisis de Componentes Principales.

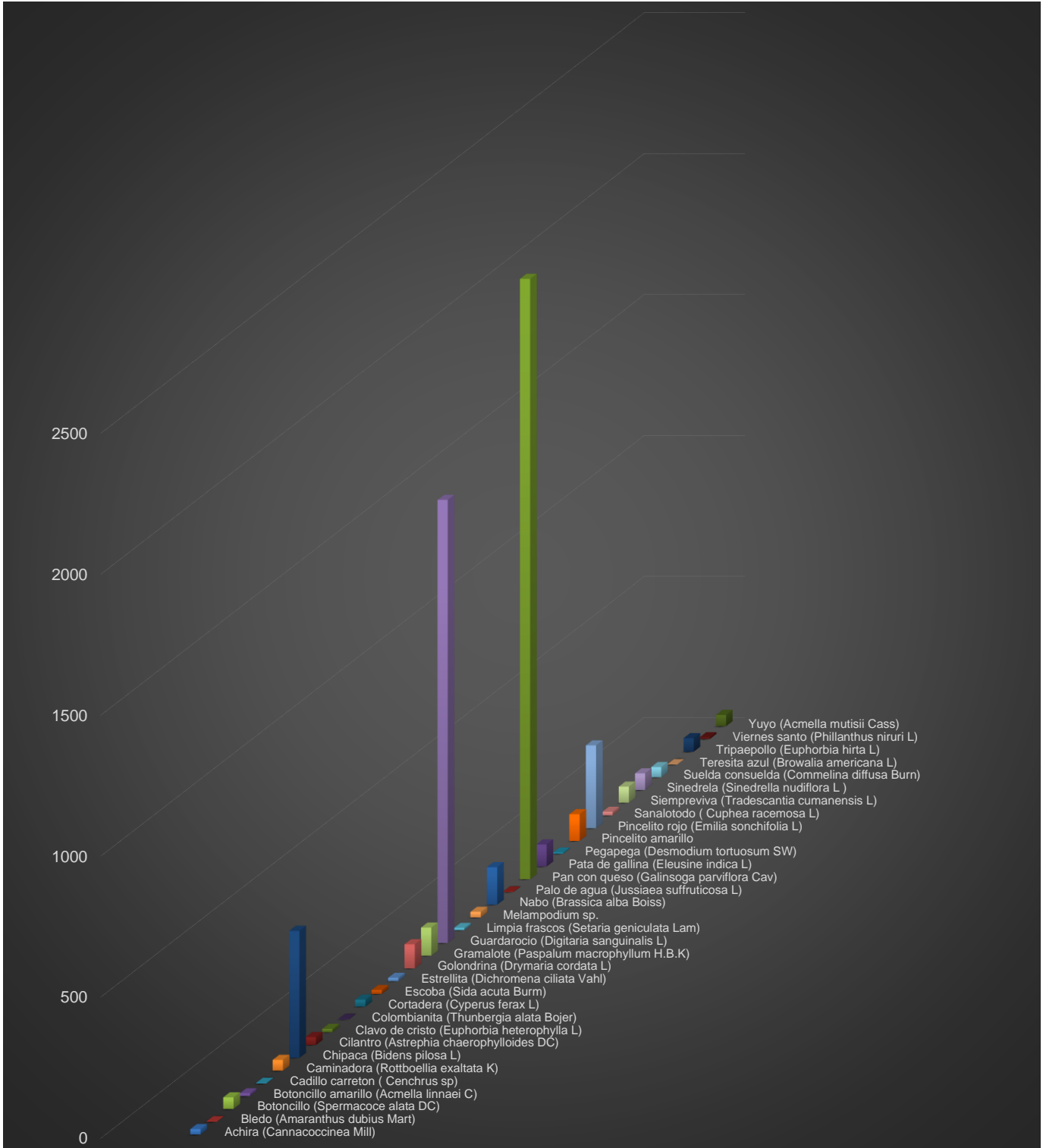
Como apéndice científico del trabajo doctoral citado elaborado por García (2016), los autores de esta tesis de maestría, desarrollaron sus objetivos inicialmente planteados para servir de insumos al ulterior análisis exergo ecológico desarrollado por este autor, insumo sin el cual dicha investigación superior no hubiese alcanzado los resultados, sin el debido aporte científico de esta tesis.

3.1 Tipificación de especies, géneros y familias

Una vez colectadas en campo, a cada muestra se le asignó un número de colección, se prensó y se procesó hasta constituir un ejemplar de herbario (con cuatro duplicados, que se distribuyeron en los herbarios de la Universidad Nacional y la Universidad del Tolima). A continuación, en la Tabla 3-1 a 3-3, se observa la tipificación taxonómica y el conteo de individuos (promedio muestras / transectos).

Tabla 3-1: Familia y especie arvense y número de individuos hallados en 2014 en Finca con producción Convencional, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).

Familia	Nombre científico - Nombre vulgar	Numero individuos
Acantaceae	(<i>Thunbergia alata</i> Bojer) Colombiana	2
Acantaceae	(<i>Phyllanthus niruri</i> L) Viernes Santo	1
Asteraceae	(<i>Acmella linnaei</i> Cass) Botón amarillo	10
Asteraceae	(<i>Bidens Pilosa</i> L) Chipaca	409
Asteraceae	(<i>Melampodium</i> sp)	20
Asteraceae	(<i>Jussiaea suffruticosa</i> L) Palo de agua	2
Asteraceae	(<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw) D.C) Pega	4
Asteraceae	(<i>Fleischmannia</i> sp) Pincelito Amarillo	95
Asteraceae	(<i>Tradescantia cumanensis</i> L.) Siempre viva	57
Asteraceae	(<i>Acmella mutisii</i> Cass) Yuyo	40
Cannaceae	(<i>Canna coccinea</i> Mill) Achira	19
Caprifoliaceae (Valerianoideae)*	(<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC) Cilantro	28
Caryophyllaceae	(<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd) Golondrina	86
Caryophyllaceae	(<i>Galinsoga parviflora</i> Cav) Pan con Queso	2130
Cyperaceae	(<i>Cyperus ferax</i> (L) Rich) Cortadera	25
Cyperaceae	(<i>Dichromena ciliata</i> Vahl) Estrellita	12
Commelinaceae	(<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng) Sanalotodo	13
Commelinaceae	(<i>Synedrella nudiflora</i> (L) Gaertn) Sinedrela	59
Commelinaceae	(<i>Commelina diffusa</i> Burm.f) Suelda	36
Euphorbiaceae	(<i>Euphorbia heterophylla</i> L.) Clavo de Cristo	12
Fabaceae	(<i>Eleusine indica</i> (L) Gaertn) Pata de Gallina	78
Gesneriaceae	(<i>Euphorbia hirta</i> L.) Tripa de Pollo	48
Lythraceae	(<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC) Pincelito Rojo	303
Malvaceae	(<i>Sida acuta</i> Burm f) Escoba	14
Onagraceae	(<i>Brassica alba</i> Boiss) Nabo	133
Oxalidaceae	(<i>Browalia americana</i> L) Teresita Azul	1
Poaceae	(<i>Cenchrus</i> sp) Cadillo Carreton	2
Poaceae	(<i>Rottboellia exaltata</i> Ktze) Caminadora	38
Poaceae	(<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K) Gramalote	100
Poaceae	(<i>Digitaria sanguinalis</i> (L) Scop) Guardarrocio	1572
Poaceae	(<i>Setaria geniculata</i> (Lam) Beauv) Limpia frascos	8
Quenopodiaceae	(<i>Amaranthus dubius</i> Mart) Bledo	2
Rubiaceae	(<i>Spermacoce alata</i> DC) Botoncillo	41

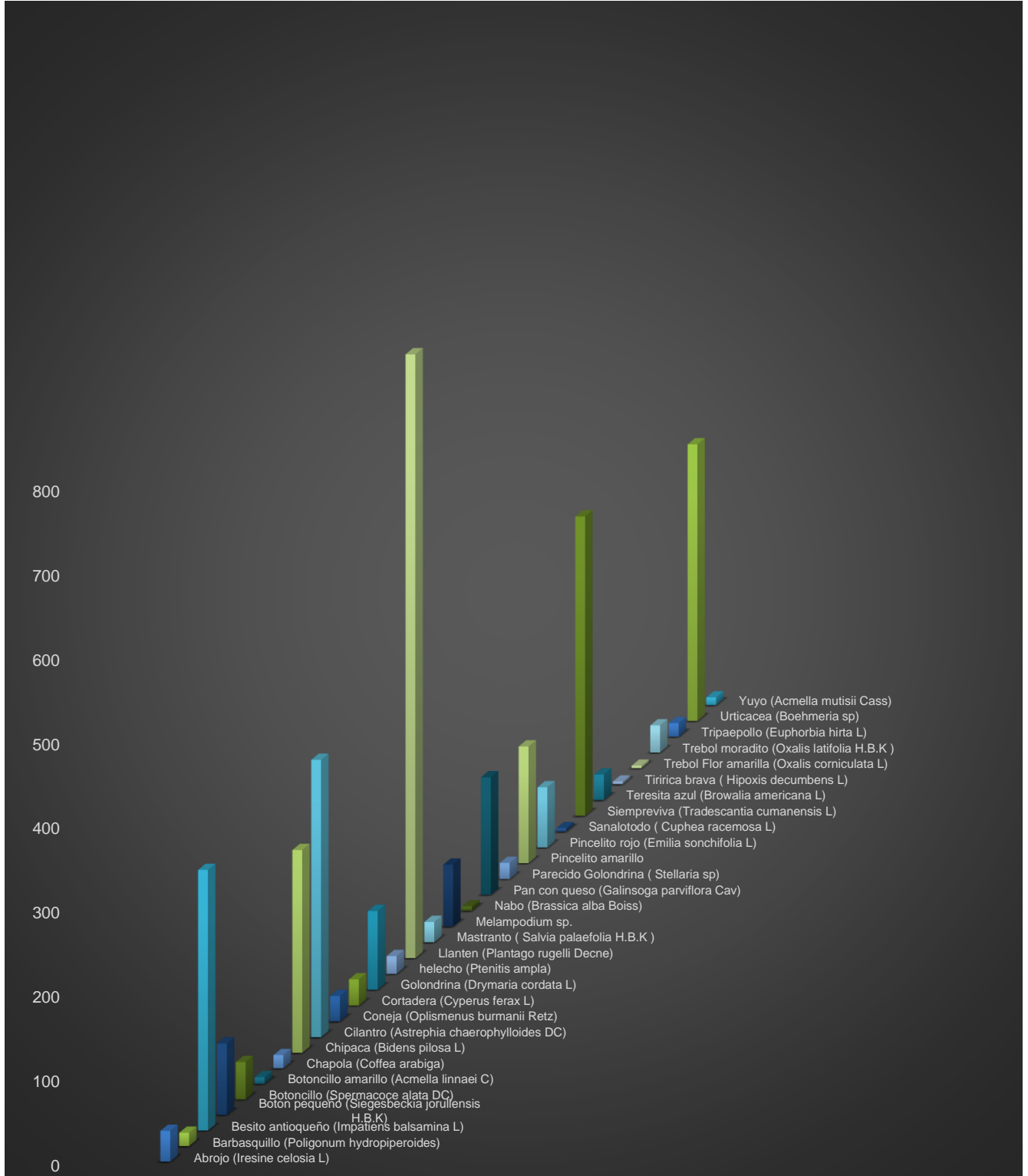


Fuente: los autores, validado por (Garcia, 2016)

Figura 3-1: Preponderancia de arvenses halladas en Finca tipo I Convencional en 2014

Tabla 3-2: Familia y especie arvense y número de individuos hallados en 2014 en Finca con producción Orgánica, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).

Familia	Nombre científico - Nombre vulgar	Número de individuos
Amaranthaceae	(<i>Iresine celosia</i> L) Abrojo	37
Asteraceae	(<i>Acmella linnaei</i> Cass) Botón amarillo	8
Asteraceae	(<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K) Botón pequeño	86
Asteraceae	(<i>Bidens pilosa</i> L) Chipaca	240
Asteraceae	(<i>Melampodium</i> sp)	73
Asteraceae	(<i>Fleischmannia</i> sp) Pincelito Amarillo	138
Asteraceae	(<i>Tradescantia cumanensis</i> L.) Siempre viva	354
Asteraceae	(<i>Acmella mutisii</i> Cass) Yuyo	9
Balsaminaceae	(<i>Impatiens balsamina</i> L.) Besito Antioqueño	310
Caprifoliaceae (Valerianoideae)*	(<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC) cilantro	328
Caryophyllaceae	(<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd) Golondrina	93
Caryophyllaceae	(<i>Galinsoga Parviflora</i>) Pan con Queso	139
Ciperaceae	(<i>Cyperus ferax</i> (L) Rich) Cortadera	31
Commelinaceae	(<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng) Sanalotodo	4
Euphorbiaceae	(<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K) Trebol Moradito	32
Gesneriaceae	(<i>Euphorbia hirta</i> L.) Tripa de Pollo	16
Hypoxidaceae	(<i>Hipoxis decumbens</i> L) Tiririca brava	3
Lamiaceae	(<i>Salvia palaefolia</i> H.B.K) Mastranto	24
Lythraceae	(<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC) Pincelito Rojo	71
Onagraceae	(<i>Brassica alba</i> Boiss) Nabo	5
Oxalidaceae	(<i>Browalia americana</i> L) Teresita Azul	30
Oxalidaceae	(<i>Oxalis corniculata</i> L.) Trebol Flor Amarilla	3
Plantaginaceae	(<i>Plantago rugelli</i> Decne) Llantén	714
Poaceae	(<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv) Coneja	30
Poaceae	(<i>Stellaria</i> sp) Parecido Golondrina	19
Polygonaceae	(<i>Polygonum hydropiperoides</i>) Barbasquillo	16
Pteridophyta **	(<i>Ptenitis ampla</i>) Helecho	21
Rubiaceae	(<i>Spermacoce alata</i> DC) Botoncillo	45
Rubiaceae	(<i>Coffea Arabiga</i>) Chapola	16
Verbenaceae	(<i>Boehmeria</i> sp) Urticea	327

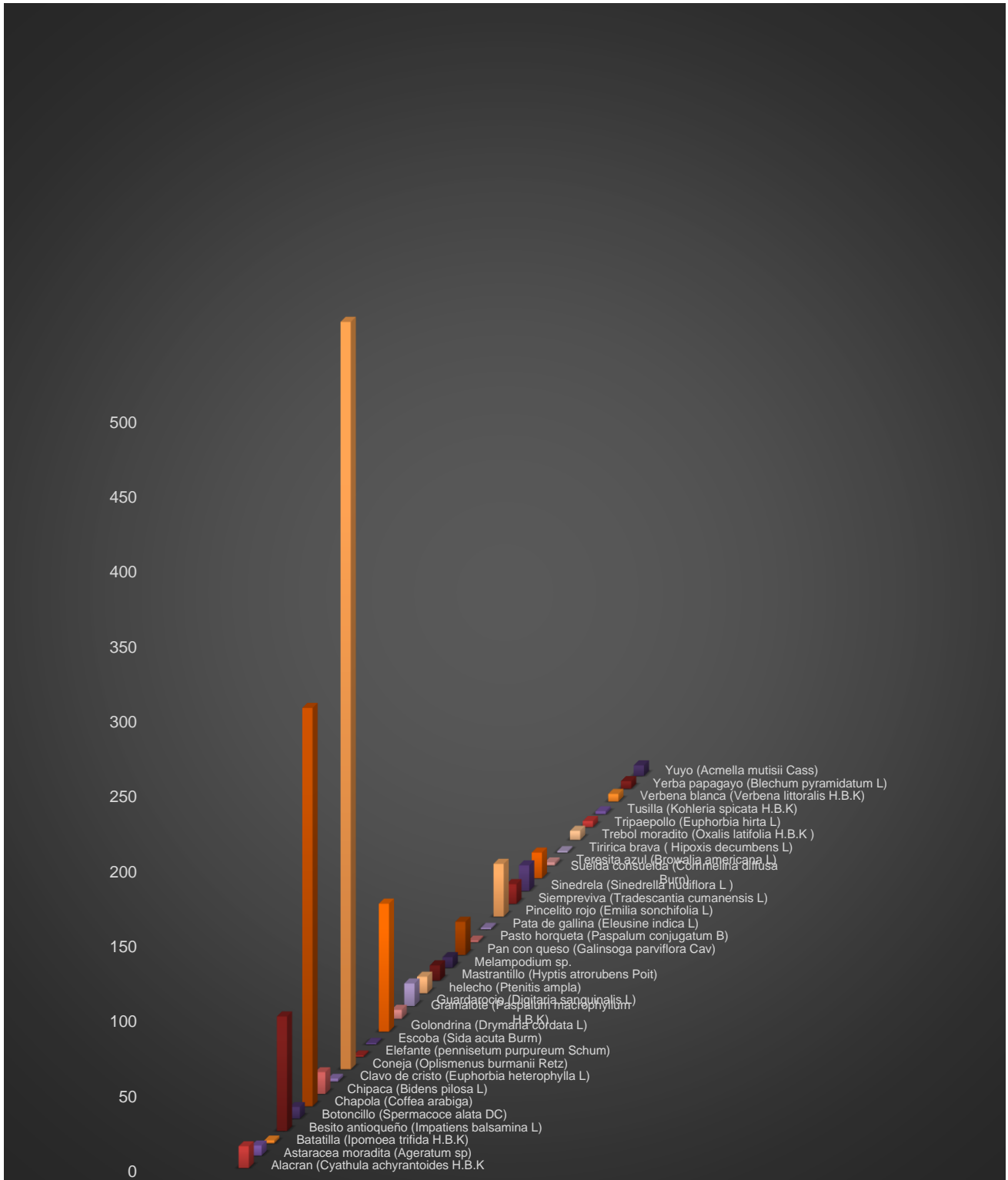


Fuente: los autores, validado por (Garcia, 2016)

Figura 3-2: Preponderancia de arvenses halladas en Finca tipo II Orgánica en 2014

Tabla 3-3: Familia y especie arvense y número de individuos hallados en 2014 en Finca con producción Mixta, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).

Familia	Nombre científico - Nombre vulgar	Número de individuos
Amaranthaceae	(<i>Cyathula achyranoides</i> H.B.K) Alacrán	15
Asteraceae	(<i>Ageratum</i> sp) Asteracea Moraditas	7
Asteraceae	(<i>Bidens pilosa</i> L) Chipaca	15
Asteraceae	(<i>Melampodium</i> sp)	7
Asteraceae	(<i>Tradescantia cumanensis</i> L.) Siempre viva	13
Asteraceae	(<i>Blechum pyramidatum</i> (Lam) Urban) Yerba Papagallo	5
Asteraceae	(<i>Acmella mutisii</i> Cass) Yuyo	7
Balsaminaceae	(<i>Impatiens balsamina</i> L.) Besito Antioqueño	78
Caryophyllaceae	(<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd) Golondrina	85
Caryophyllaceae	(<i>Galinsoga parviflora</i> Cav) Pan con Queso	22
Commelinaceae	(<i>Synedrella nudiflora</i> (L) Gaertn) Sinedrela	17
Commelinaceae	(<i>Commelina diffusa</i> Burm.f) Suela	17
Convolvulaceae	(<i>Ipomoea trifida</i> (H.B.K) G. Don) Batatilla	2
Euphorbiaceae	(<i>Euphorbia heterophylla</i> L.) Clavo de Cristo	2
Euphorbiaceae	(<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K) Trebol Moradito	6
Euphorbiaceae	(<i>Verbena littoralis</i> H.B.K) Verbena Blanca	5
Fabaceae	(<i>Eleusine indica</i> (L) Gaertn) Pata de Gallina	1
Gesneriaceae	(<i>Euphorbia hirta</i> L.) Tripa de Pollo	4
Hypoxidaceae	(<i>Hipoxis decumbens</i> L) Tiririca brava	1
Lamiaceae	(<i>Hyptis atrorubens</i> Poit) Mastrantillo	10
Lythraceae	(<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC) Pincelito Rojo	35
Malvaceae	(<i>Sida acuta</i> Burm f) Escoba	1
Oxalidaceae	(<i>Browalia americana</i> L) Teresita Azul	2
Poaceae	(<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv) Coneja	497
Poaceae	(<i>Pennisetum purpureum</i> Schum) Elefante	1
Poaceae	(<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K) Gramalote	6
Poaceae	(<i>Digitaria sanguinalis</i> (L) Scop) Guardarrocio	15
Poaceae	(<i>Paspalum conjugatum</i> Bergius) Pasto horqueta	1
Pteridophyta **	(<i>Ptenitis ampla</i>) Helecho	11
Rubiaceae	(<i>Spermacoce alata</i> DC) Botoncillo	8
Rubiaceae	(<i>Coffea Arabica</i> L.) Chapola	266
Urticaceae	(<i>Kohleria spicata</i> (H.B.K) Oerst) Tusilla	2



Fuente: los autores, validado por (Garcia, 2016)

Figura 3-3: Preponderancia de arvenses halladas en Finca tipo III Mixta en 2014

Para la tipificación de las arvenses halladas en los tres sistemas de producción de café en la cosecha del año 2014, se encontró para la finca convencional las familias Acanthaceae, Asteraceae, Cannaceae, Caprifoliaceae (Valerianoideae), Caryophyllaceae, Cyperaceae, Commelinaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Gesneriaceae, Lythraceae, Malvaceae, Onagraceae, Oxalidaceae, Poaceae, Quenopodiaceae y Rubiaceae, con un total de 33 distintas especies identificadas con 5.437 individuos hallados, destacándose en mayor número de individuos la *Pan con queso* (*Galinsoga parviflora* Cav).

De otra parte, en la finca con sistema de producción orgánico, se encontró las familias Amaranthaceae, Asteraceae, Balsaminaceae, Caprifoliaceae (Valerianoideae), Caryophyllaceae, Ciperaceae, Commelinaceae, Euphorbiaceae, Gesneriaceae, Hypoxidaceae, Lamiaceae, Lythraceae, Onagraceae, Oxalidaceae, Plantaginaceae, Poaceae, Polygonaceae, Pteridophyta, Rubiaceae y Verbenaceae, con un total de 30 distintas especies identificadas con 3.222 individuos hallados, destacándose en mayor número de individuos la *Llantén* (*Plantago rugelli* Decne).

Finalmente, par al finca con sistema combinado o mixto de producción, se halló para el sistema mixto o finca en manejo mixto de café, las familias Amaranthaceae, Asteraceae, Balsaminaceae, Caryophyllaceae, Commelinaceae, Convolvulaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Gesneriaceae, Hypoxidaceae, Lamiaceae, Lythraceae, Malvaceae, Oxalidaceae, Poaceae, Pteridophyta, Rubiaceae y Urticaceae, con un total de 32 distintas especies identificadas con 1.164 individuos hallados, destacándose en mayor número de individuos la *Coneja* (*Oplismenus burmanii* Retz).

3.2 Biomasa e índice de diversidad en arvenses halladas

Una vez finalizó la fase de campo, se llevó a cabo una lista de especies realizada en los muestreos, con base en las correcciones realizadas. Con estos datos organizados se realizaron los cálculos de Shannon y Simpson (ver tablas de datos de cálculo en el anexo A), basados en la validación que se hizo en el capítulo de Revisión de literatura y en lo acordado con el codirector e investigador doctoral Mauricio García (2016):



Figura 3-4: Muestreo y pesaje de la especie Pan con queso (*Galinsoga parviflora*) especie predominante en la finca tipo I (convencional)

Tabla 3-4: Índices Shannon y Simpson, Finca Tipo I (Convencional) en 2014, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 1,925	$D = (\text{Sum } n(n-1)) / (N(N-1))$
Hmax = LN (33) = 3,496	$D = 7359888 / (5437(5437-1))$
Uniformidad = $H / H_{\text{max}} = (1,925) / (3,496) = 0,55$	$D = 7359888 / 29555532$
Uniformidad = 0,55	D = 0,249
Índice de Diversidad de Shannon = 1,925	Índice de diversidad de Simpson = 1 - D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,751

Fuente: los autores, validado por (García, 2016)



Figura 3-5: Muestreo y pesaje de la especie Llantén (*Plantago rugelii*) especie predominante en la finca tipo II (Orgánica)

Tabla 3-5: Índices Shannon y Simpson, Finca Tipo II (Orgánica) en 2014, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 2,62	$D = (\text{Sum } n(n-1)) / (N(N-1))$
Hmax = LN (30) = 3,4	$D = 1074412 / (3222(3222-1))$
Uniformidad = $H / H_{\text{max}} = (2,62) / (3,4) = 0,77$	$D = 1074412 / 10378062$
Uniformidad = 0,77	$D = 0,103$
Índice de Diversidad de Shannon = 2,62	Índice de diversidad de Simpson = $1 - D$
	Índice de diversidad de Simpson = 0,896

Fuente: los autores, validado por (García, 2016)



Figura 3-6: Muestreo y pesaje de la especie Coneja (*Oplismenus burmanii*) especie predominante en la finca tipo III (Mixta)

Tabla 3-6: Índices Shannon y Simpson, Finca Tipo III (Mixta) en 2014, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 2,00	$D = (\text{Sum } n(n-1)) / (N(N-1))$
Hmax = LN (32) = 3,46	$D = 333632 / (1164 (1164-1))$
Uniformidad = H / Hmax = (2,00) / (3,46) = 0,57	$D = 333632 / 1353732$
Uniformidad = 0,57	$D = 0,246$
Índice de Diversidad de Shannon = 2,00	Índice de diversidad de Simpson = 1 - D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,753

Fuente: los autores, validado por (Garcia, 2016)

Lo hallado a través de los índices, demuestra que la biodiversidad es propia a los sistemas que usan menos insumos inorgánicos, a su vez que incluye menos conversión de capital.

Al realizar el índice de Shannon y Simpson, determinando la biodiversidad de la tipificación hallada, se encuentra que el sistema orgánico o finca orgánica tipo 2, presentó el mayor índice de diversidad, lo que a su vez se confirma la diferencia de familias halladas en la tipificación respecto de los otros dos sistemas, 22 para la orgánica y 19 familias para la convencional y la mixta.

Esto corrobora que siendo el índice de Simpson el valor mínimo es uno y para el índice de Shannon el valor mínimo es cero, ambos mínimos indican la ausencia de diversidad. En contrastes a lo hallado, teóricamente el valor mínimo para cada índice es limitado solamente por el número de especies y que tan uniformemente estuvieron distribuidas en el ecosistema.

Observando los hallazgos, los sistemas de producción de café evaluados, estos se pueden caracterizar como relativamente diversos, dado que los ecosistemas naturales relativamente diversos, tienen un índice de Simpson de cinco (5) o mayor y un índice de Shannon de tres (3) o cuatro (4).

Corroborando lo citado por González (2008), cuando este anota la importancia de la toma de los índices de diversidad, en cuanto que, estos, han sido ampliamente usados en el análisis de comunidades vegetales y reflejan la estructura de la comunidad, por cambios en la riqueza de especies, equidad y, en algunas ocasiones, densidad, según Dórelo (1999), citado por la autora, además que describe al *Índice de Shannon* como uno de los más utilizados, ya que combina la consideración de la riqueza y equidad de especies (Gonzalez, 2008, pág. 16)

3.3 Composición mineralógica de arvenses halladas

Para este fin, los autores dispusieron de la biomasa total encontrada (peso verde / peso seco) y de la su muestras enviada a laboratorio, en las muestras por transecto y en los transectos por finca, con el fin de dar mayor información para el análisis estadístico matemático siguiente. La tabla general de biomasa en pesos verde y peso seco, en gramos, se puede observar en el anexo B. La tabla siguiente muestra el contenido total encontrado en los análisis nutrientes minerales realizados en 2014:

Tabla 3-7: Contenido de nutrientes minerales en arvenses halladas en las tres fincas en 2014, en análisis del aporte nutricional de arvenses a dinámica nutricional en suelos bajo tres sistemas de producción de café en Libano (Tolima).

Nombre Científico / Nombre Vulgar	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Z	Na	Cu	SiO ₂
	%	%	%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	meq/100g	%
(<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv) Coneja	2,00	0,11	3,33	1,87	3,21	0,25	78	1637,2	62,85	100,7	329,2	11,67	9
(<i>Commelina diffusa</i> Burm f) Suelda	2	0,13	4,4	2,88	2,77	0,34	74,7	1588	59,74	149	308,4	9,33	3,48
(<i>Spermacoce alata</i> DC) Botoncillo	2	0,09	3,4	4,13	2,04	0,43	64,3	1527,6	55,13	50,06	362,6	28,7	0,96
(<i>Plantago rugelii</i> Decne) Llantén	3,2	0,09	3,67	10,51	2,97	0,19	100	1895,1	54,89	195	335,9	11,01	4,1
(<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC) Pincelito Rojo	3,6	0,09	3,99	2,89	2,38	0,21	91,1	1824,9	101,3	102,8	517,6	9,85	1,44
(<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd) Golondrina	4	0,11	3,91	4,15	5,78	0,21	94,1	1777,6	73,06	225,5	375,1	5,71	0,86
(<i>Oxalis corniculata</i> L.) Trebol Flor Amarilla	4,4	0,11	3,89	1,86	3,64	0,08	105,5	1547,8	83,2	96,64	367,6	4,23	1,5
(<i>Bidens pilosa</i> L) Chipaca	3,6	0,09	4,07	2,56	2,4	0,12	120,3	1903,4	62,39	56,06	370,5	10,38	2,48
(<i>Browalia americana</i> L) Teresita Azul	2,8	0,13	2,96	1,44	1,44	0,51	50,7	1171,4	30,21	86,64	418,7	13,58	2,88
(<i>Galinsoga parviflora</i> Cav) Pan con Queso	3,6	0,11	4,1	4,83	3,92	0,23	87,9	1337,2	59,86	175,6	363,5	8,15	0,64
(<i>Polygonum hydropiperoides</i>) Barbasquillo	3,2	0,1	3,79	3,42	3,99	0,16	91,9	1026,1	87,81	73,68	427,6	3,14	1,54
(<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K) Trebol Moradito	4,4	0,09	3,55	1,81	2,69	0,2	125,1	2414,2	79,26	55,12	425,5	9,13	10,26
(<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng) Sanalotodo	2,8	0,09	2,47	1,15	2,44	0,05	58,2	2135,9	56,67	63,12	367,3	6,11	3,2
(<i>Stellaria</i> sp) Parecido Golondrina	2,4	0,11	3,05	1,36	2,71	0,01	78,8	658,9	23,31	98,01	413,8	3	1,76
(<i>Tradescantia cumanensis</i> L.) Siempre viva	4	0,12	4,6	4,39	3,19	0,22	62,4	459,6	26,88	63,14	324,2	1,31	0,8
(<i>Astrepchia chaerophylloides</i> DC) Cilantro	3,6	0,12	3,9	3,19	2,88	0,42	129,7	1512,9	71,14	61,58	426,5	3,12	1,16
(<i>Hipoxis decumbens</i> L) Tiririca brava	3,2	0,08	3,81	1,83	2,19	0,08	79,9	1604,3	69,01	164,2	387,9	12,4	1,1
(<i>Kohleria spicata</i> (H.B.K) Oerst) Tusilla	2,66	0,11	2,31	3,66	2,83	0,18	80,68	304,90	82,16	38,54	248,80	45,27	2,36
(<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K) Gramalote	1,89	0,13	2,9	1,37	2,71	0,11	32,47	101,9	1,12	24,67	307,4	23,4	4,46
(<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw) D.C) Pega	1,28	0,11	1,63	2,56	1,04	0,08	52,5	1037	26,73	37,8	318,8	9,21	0,92
(<i>Pennisetum purpureum</i> Schum) Elefante	2,65	0,15	4,65	1,27	0,87	0,11	27,42	102,5	44,29	29,9	187,6	24,06	4,02
(<i>Iresine celosia</i> L) Abrojo	2,06	0,09	5,43	1,68	2,37	0,14	38,54	468,5	37,25	23,83	277,6	4,29	0,15
(<i>Blechnum pyramidatum</i> (Lam) Urban) Yerba Papagallo	2,56	0,12	4,26	10,82	3,4	0,19	225,1	1019,3	5,35	45,93	306,4	36,1	2,74
(<i>Acmella mutisii</i> Cass) Yuyo	2,89	0,15	5,5	3,05	3,27	0,25	70,56	151,3	2,26	25,02	363,2	32,83	0,26
(<i>Coffea Arabiga</i>) Chapola	2,46	0,13	3,59	1,58	2,71	0,13	38,15	986,6	1,64	33,18	294,7	9,74	0,92

(<i>Ptenitis ampla</i>) Helecho	1,25	0,14	2,33	2,33	4,55	0,15	52,22	176	3,41	39,79	252,4	18,18	2,5
(<i>Verbena littoralis</i> H.B.K) Verbena Blanca	1,85	0,13	2,48	3,11	1,29	0,23	64,66	969,1	3,09	46,69	382,1	34,29	1,54
(<i>Sida acuta</i> Burm f) Escoba	1,56	0,13	2,89	5,92	2,23	0,21	121,9	375,6	3,29	31,48	272,6	44,06	0
(<i>Hyptis atrorubens</i> Poit) Mastrantillo	2,16	0,11	3,08	1,8	2,53	0,18	41,47	2751,2	1,19	48,18	335,2	32,69	13,34
(<i>Rottboellia exaltata</i> Ktze) Caminadora	1,85	0,13	3,56	0,83	1,38	0,12	19,15	1449,2	1,73	29,27	290	23,49	9,14
(<i>Cenchrus sp</i>) Cadillo Carreton	2,06	0,13	3,51	0,18	0,96	0,1	5,48	956,4	1,04	26,55	294,6	16,54	4,34
(<i>Euphorbia heterophylla</i> L.) Clavo de Cristo	2,45	0,14	4,42	4,3	3,22	0,18	93,87	1159,1	17,16	43,77	251,4	33,34	3,04
(<i>Impatiens balsamina</i> L.) Besito Antioqueño	2,66	0,13	4,97	8,19	3,95	0,2	174,3	303,8	117,6	122,2	347,9	31,58	0,2
(<i>Cyperus ferax</i> (L) Rich) Cortadera	2,1	0,13	3,91	0,78	1,7	0,12	19,18	1144,8	128,2	46,61	262,7	35,71	8,32
(<i>Synedrella nudiflora</i> (L) Gaertn) Sinedrela	2,48	0,14	8,48	4	2,64	0,22	86,5	874,1	1,92	43,95	300,7	34,19	1,7
(<i>Salvia palaeifolia</i> H.B.K) Mastranto	2,85	0,12	6,11	3,78	2,23	0,1	81,97	1586,1	90,95	40,91	326,1	31,58	2,46
(<i>Digitaria sanguinalis</i> (L) Scop) Guardarroccio	1,95	0,15	3,15	0,86	1,23	0,14	19,54	1778,7	18,97	40,39	336	21,7	5,52
(<i>Euphorbia hirta</i> L.) Tripa de Pollo	3,36	0,18	3,18	1,22	1,12	0,28	20,19	323,76	99,48	21,67	458,86	29,84	1,04
(<i>Canna coccinea</i> Mill) Achira	3,64	0,16	1,64	0,21	0,82	0,16	16,15	2026,80	96,51	35,83	432,4	44,25	1,96
(<i>Eleusine indica</i> (L) Gaertn) Pata de Gallina	3,08	0,16	1,61	0,18	0,85	0,24	25,13	2102,20	98,42	58,56	495,07	40,82	5,72
(<i>Setaria geniculata</i> (Lam) Beauv) Limpia frascos	2,94	0,15	2,08	2,21	1,64	0,16	32,1	824,90	25,42	35,14	483	22,41	8,86
(<i>Brassica alba</i> Boiss) Nabo	4,06	0,19	2,91	2,71	3,03	0,30	38,09	1460,30	61,01	40,76	434,13	28,85	2,52
(<i>Amaranthus dubius</i> Mart) Bledo	2,80	0,17	2,92	1,95	2,06	0,22	12,17	260,51	222,80	45,3	438,73	32,97	1
(<i>Cyathula achyranoides</i> H.B.K) Alacran	2,80	0,19	0,70	0,02	0,06	0,18	26,28	7,27	4,68	2,68	436,43	8,1	2,9
(<i>Thunbergia alata</i> Bojer) Colombianita	2,94	0,06	3,41	0,90	0,37	0,35	27,16	155,17	49,93	28,12	549,4	32,95	8,64
(<i>Dichromena ciliata</i> Vahl) Estrellita	1,96	0,05	1,97	0,14	0,27	0,27	27,16	3142,20	144,47	49,05	518,46	41,93	18,16
(<i>Ipomoea trifida</i> (H.B.K) G. Don) Batatilla	3,08	0,05	4,19	0,87	0,34	0,26	26,18	2049,00	48,91	16,52	561,24	28,7	3,46
(<i>Jussiaea suffruticosa</i> L) Palo de agua	3,08	0,07	2,50	0,70	0,27	0,26	25,40	865,15	1082,10	27,30	528,59	21,51	0,00
(<i>Phyllanthus niruri</i> L) Viernes Santo	2,94	0,10	1,44	0,32	0,53	0,17	19,16	4312,10	265,10	22,71	547,39	51,46	10,74
(<i>Paspalum conjugatum</i> Bergius) Pasto horqueta	1,47	0,10	1,63	0,24	0,43	0,34	32,34	2881,50	80,67	87,89	513,36	27,04	18,42
(<i>Boehmeria sp</i>) Urticacea	3,15	0,07	5,37	1,29	0,71	0,41	38,16	3060,00	48,63	390,80	575,27	29,99	5,14
(<i>Ageratum sp</i>) Asteracea Moraditas	3,22	0,07	3,50	1,23	0,92	0,21	21,20	1522,30	59,16	19,20	591,91	20,07	0,52
(<i>Fleischmannia sp</i>) Pincelito amarillo	2,52	0,10	3,73	0,61	0,45	0,18	18,19	2019,76	32,91	145,40	576,66	25,58	2,06
(<i>Acmella linnaei</i> Cass) Boton amarillo	2,80	0,070	3,250	1,210	0,380	0,250	31,25	1254,800	26,400	35,980	578,58	43,700	9,38
(<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K) Boton pequeño	2,80	0,10	3,71	0,86	0,53	0,27	33,45	564,5	52,48	18,39	625,4	17,11	2,18
(<i>Melampodium sp</i>)	2,75	0,12	3,30	0,90	0,4	0,26	32,00	555,00	50,00	31,00	525,00	40,00	2,25

Fuente: los autores, validado por (Garcia, 2016)

3.4 Análisis de Componentes Principales

Uno de los principales hallazgos usando el ACP como una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables), fue que, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo fue reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible; así los nuevos componentes principales o factores, fueron una combinación lineal de las variables originales, y además fueron independientes entre sí. Se empleó para su cálculo los datos de biomasa (verde y

seca, aérea y radicular) en los individuos encontrados (especies) por finca tipo, al igual que los contenidos bromatológicos de acuerdo con los elementos mayores y menores; a continuación, los hallazgos:

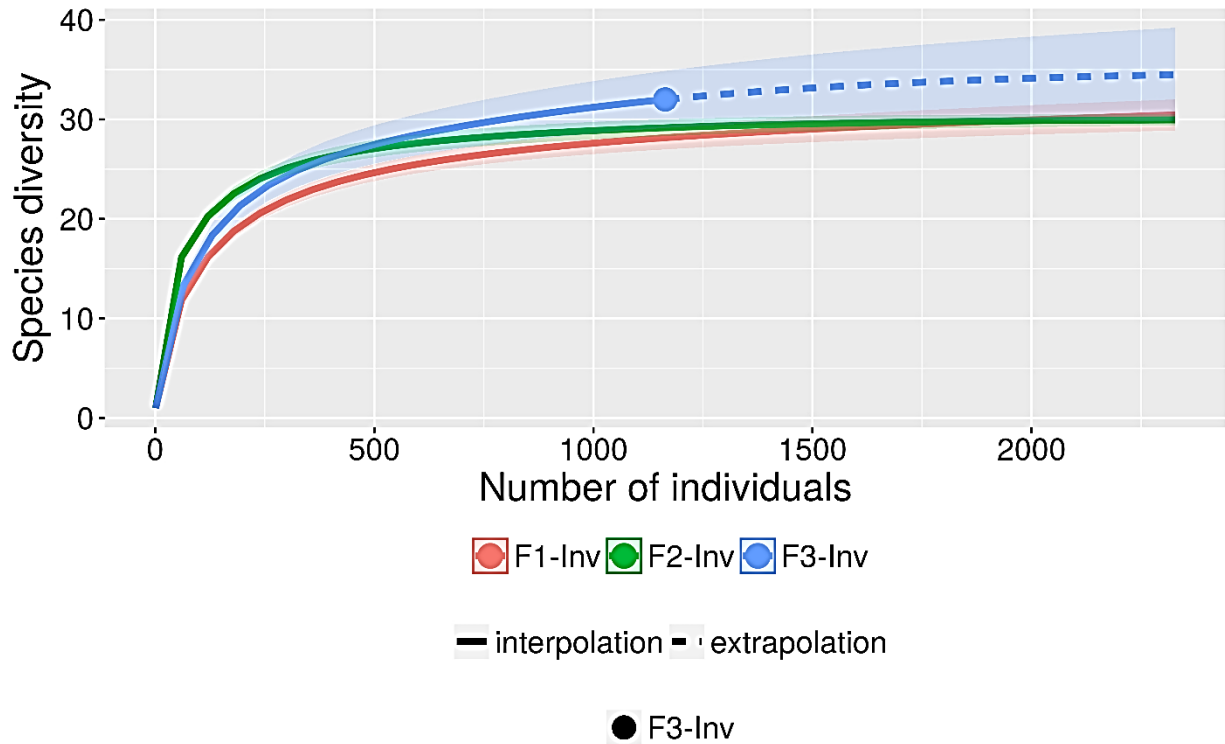


Figura 3-7: Número de individuos frente a diversidad de especies, según finca tipo.

Según el ACP, es dable el manejo orgánico dado que, al comparar la diversidad de especies de arvenses halladas, este sistema de producción presenta una mayor diversidad que los otros sistemas estudiados, aunque por número de individuos, es equiparable a estos cuando los individuos superan los mil ejemplares; preciso es destacar que el sistema de producción mixto, en proyección presentaría una mayor variabilidad de especies, pero esto tuviera que ver con posibles errores del muestreo.

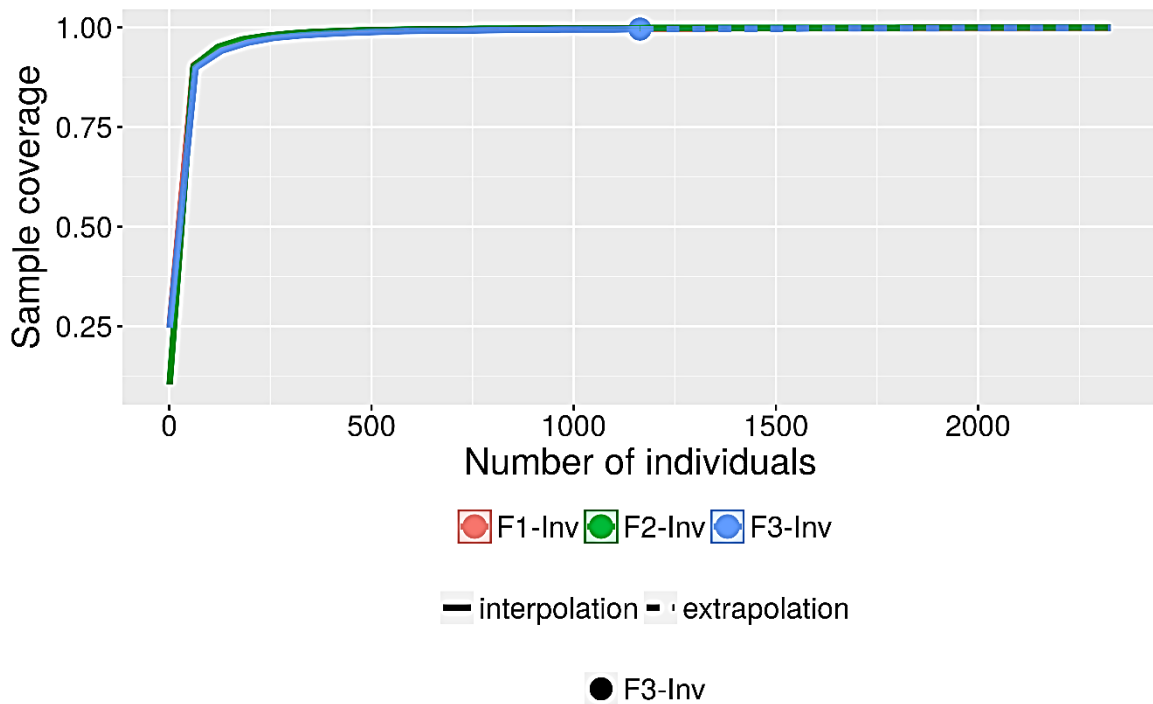


Figura 3-8: Número de individuos frente a unidades de muestreo, según finca tipo.

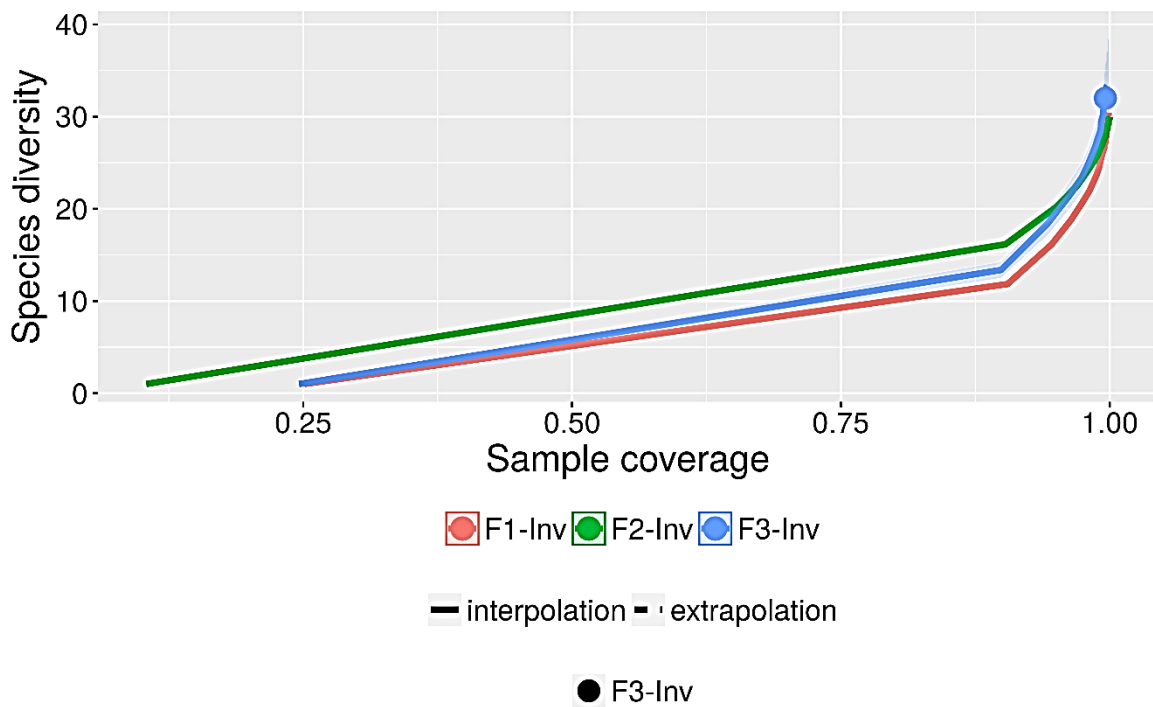


Figura 3-9: Unidades de muestreo frente a diversidad de especies, según finca tipo

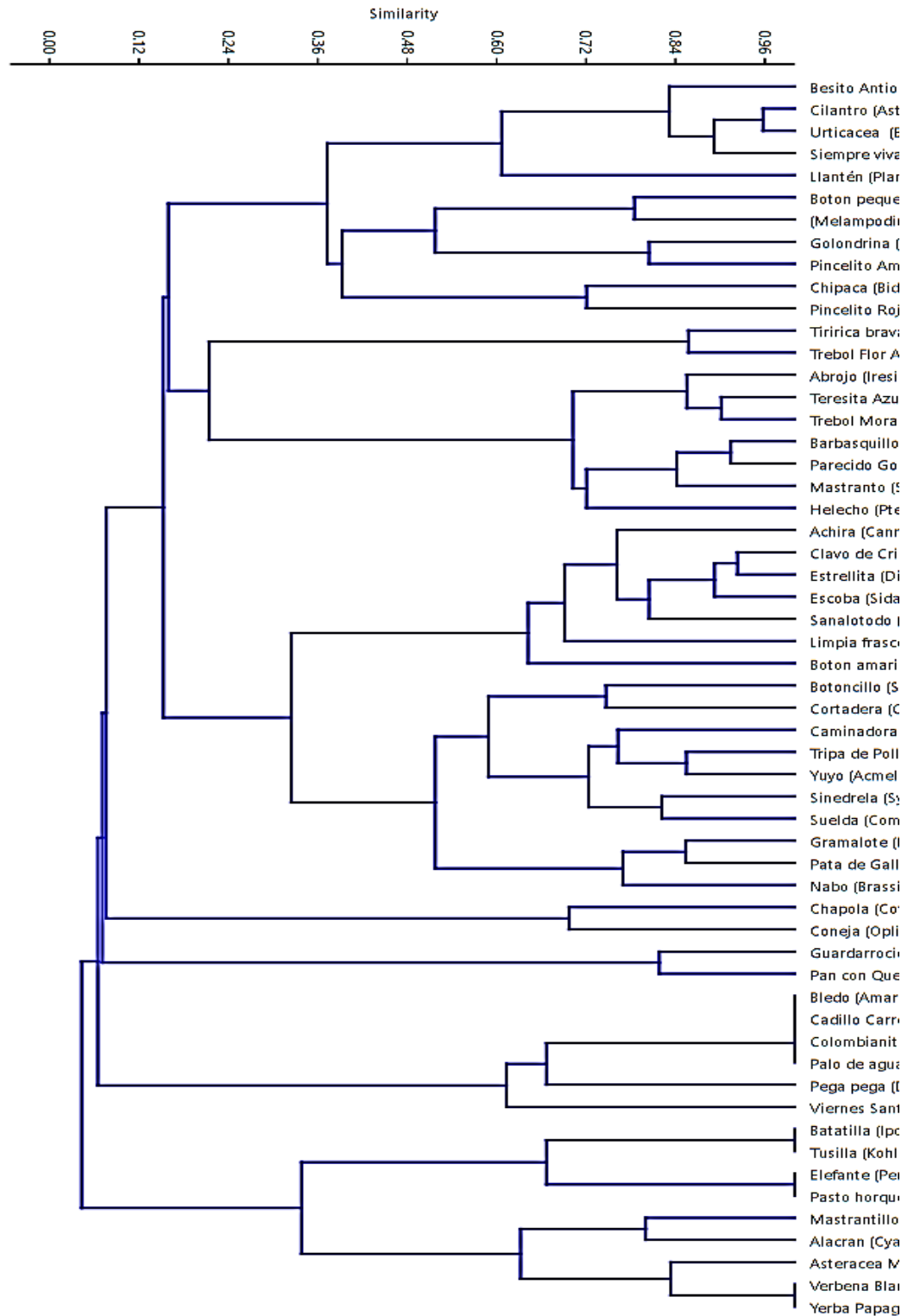


Figura 3-10: Determinación de componentes (Similitud Factores) en ACP en evaluación biomasa de arvenses y contenidos mineralógicos en tres sistemas de producción de café

El ACP también arrojó que, al comparar el número de individuos con las unidades de muestreo, estas presentaron homogeneidad en sus hallazgos, lo que no incide sobre uno u otro, de acuerdo con el sistema de producción de café estudiado.

Al observarse por el ACP, las unidades de muestreo frente a la diversidad de arvenses halladas, esta tuvo similitud con lo hallado en la figura 3-1 anterior, en razón que es el sistema orgánico el que mayor diversidad registró frente a los dos sistemas restantes.

En la distribución que hace el ACP, se encontró la similaridad de factores (clusters) entre las biomazas medidas con respecto a los contenidos mineralógicos y al número de individuos recolectadas en los transectos por los tres sistemas de producción en su conjunto.

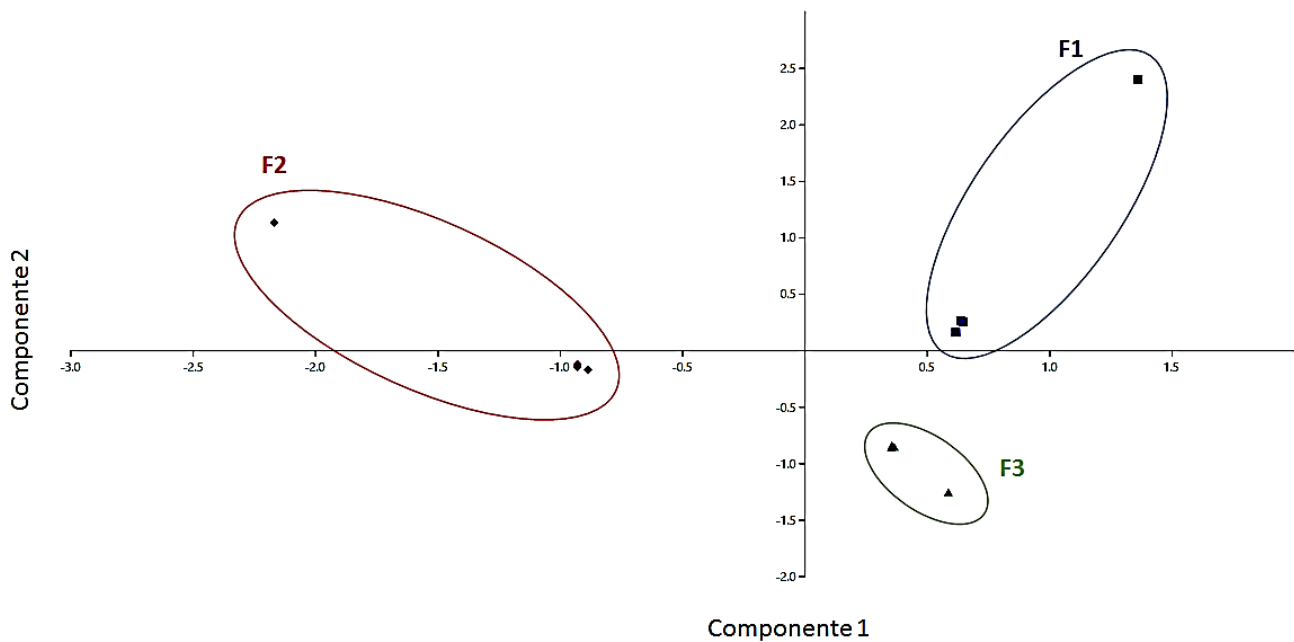


Figura 3-11: Agrupación por fincas tipo de los componentes Diversidad y Numero de individuos en ACP en evaluación biomasa de arvenses y contenidos mineralógicos en tres sistemas de producción de café

Según la figura 3-11, al agrupar los datos observados por finca, se resalta que la finca con sistema convencional de producción de café, guarda homogeneidad entre las especies de arvenses halladas con el número de sus ejemplares colectados; por otra parte la finca orgánica, presente muy baja diferencia entre las dos variables según sus datos agrupados, observándose que hay una relación inversa entre la diversidad y el numero por especie de ejemplares colectados; finalmente la finca bajo producción mixta, expresa negativamente cualquier relación entre la diversidad con respecto al número de especies recolectados.

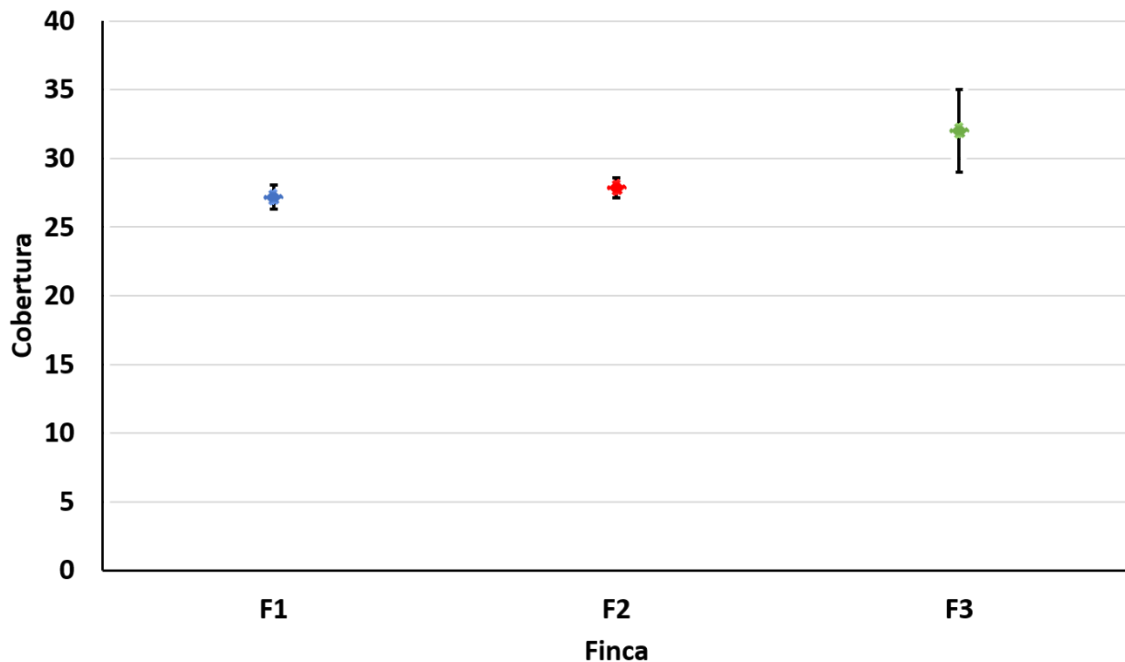


Figura 3-12: Varianza de la agrupación por fincas tipo de los componentes Diversidad y Numero de individuos en ACP en evaluación biomasa de arvenses y contenidos mineralógicos en tres sistemas de producción de café

Se observa en el grafica arrojada por el ACP, que la varianza fue mayor en la finca mixta de los datos observados de parámetros y sus variables; al contrario, las fincas bajo sistema convencional y orgánico, presente muy poca varianza, habiendo mayor homogeneidad de

los registros, independientemente del tipo de arvense colectado. La diferencia de la finca mixta se puede deber, quizá a que bajo este sistema de producción las fumigaciones con herbicidas muchas veces coincidieron con la inmediatamente posterior toma de muestras, alterando la lectura respecto a los dos sistemas evaluados.

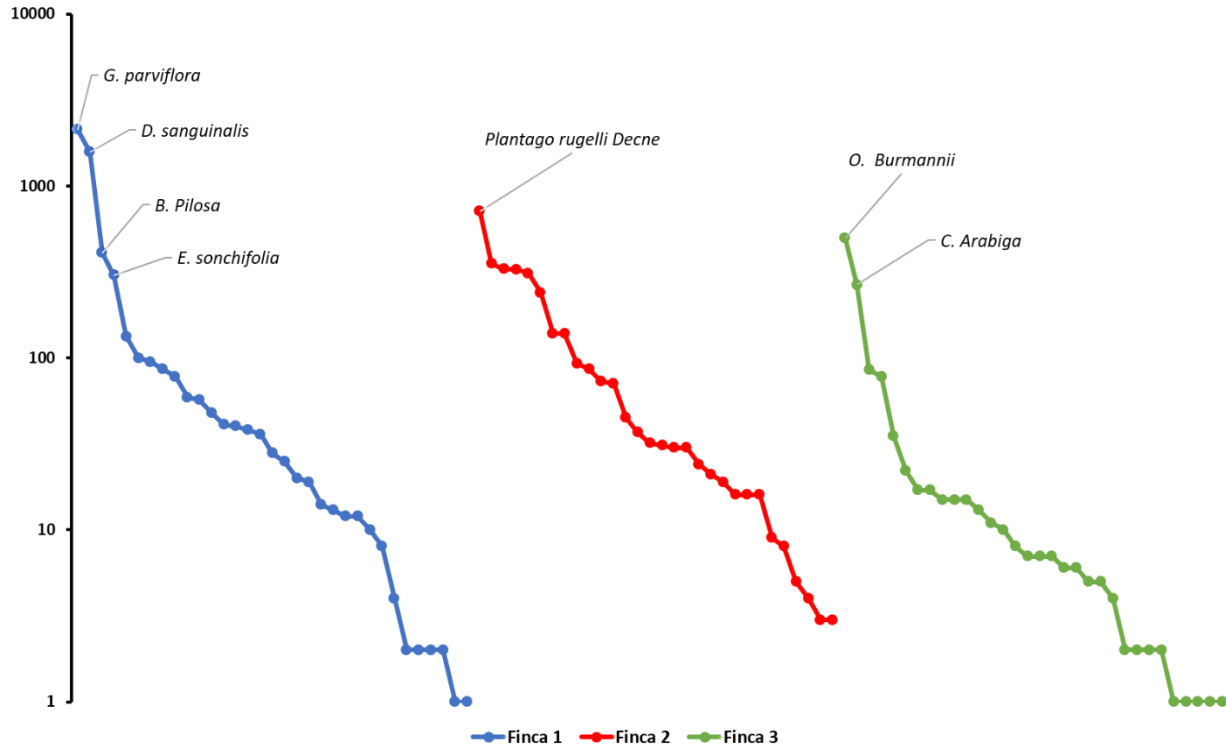


Figura 3-13: Preeminencia biológica de especies de arvenses por fincas tipo de los componentes Diversidad, Contenido mineralógico y Numero de individuos en ACP en evaluación biomasa de arvenses y contenidos mineralógicos en tres sistemas de producción de café

En este descriptor arrojado por el ACP, se puede anotar que la preeminencia de especies en una finca u otra, no necesariamente depende de aspectos exclusivamente biológicos; muchas veces la alteración del medio ambiente cafetero por exceso o déficit de insumos no orgánicos, puede llevar a efectos resilientes de algunas especies dadas, sin que ello lleve a la especulación de la prioridad de hábitos de vida y crecimiento de algunos géneros

y familias, en ciertos nichos. La multifactoriedad y la incidencia del cambio climático, pueden estar obrando más, que los dubitativos marcadores biológicos.

Como se observa en el ACP, la mayoría de los datos relativos a la biomasa están directamente relacionados e inciden sobre los restantes parámetros de las variables estudiadas; por el contrario la mayoría de elementos y microelementos hallados tras los contenidos mineralógicos son inversamente incidentes sobre las demás parámetros evaluados; por ultimo según arrojó el ACP, contenidos de Mn, Na, Cu, Fe, S y silicatos actúan directamente pero en forma negativa (disminución de biomasa, por ende individuos) respecto a los demás parámetros de las variables estudiadas.

3.5 Análisis de la correlación en Componentes Principales

Como producto del ACP, los autores realizaron una matriz de correlación enfrentando las 13 variables entre si, con los datos de las tres fincas evaluadas. Como se observa en la figura 3-14 siguiente, se puede inferir que entre los contenidos nutricionales en la biomasa seca de las arvenses, los relacionados al B, Ca, Mg y K tienen una alta significancia en relación directa, en razón que se ha encontrado que las plantas deficientes en B tienen menos Ca en la pared celular, explicado porque mediante la formación de enlaces cruzados en la pectina de la laminilla media, el B protege al Ca.

De otra parte, el mecanismo parece estar asociado con una formación previa de enlaces débiles entre los componentes de la pared celular y el B; así, esta formación de enlaces débiles, es necesaria para la formación posterior de enlaces más fuertes entre los componentes de la pared celular y el Ca (ocasionalmente el Mg).

RELACIÓN	GRADO DE SIGNIFICANCIA	DIRECTA	INVERSA
Raiz S - PAS	9,40E-111	0,99995	
Raiz S - Raiz V	4,83E-90	0,99973	
PAS -Raiz V	3,02E-89	0,99971	
RaizV - PAV	1,89E-87	0,99967	
PAS - PAV	4,84E-79	0,99932	
Raiz S - PAV	8,45E-77	0,99917	
Boro - Calcio	1,02E-13	0,80258	
Boro - Magnesio	6,16E-08	0,64938	
Magnesio - Calcio	1,02E-06	0,60005	
Sodio - Magnesio	8,01E-06		-0,55767
SiO ₂ - Hierro	1,13E-05	0,55002	
Hierro - Fosforo	0,0016675		-0,41067
Sodio - Azufre	0,0020693	0,40307	
Cobre - Magnesio	0,0021741		-0,40131
Sodio - Calcio	0,0027491		-0,3928
Sodio - Fosforo	0,0029896		-0,3897
Calcio -Potasio	0,0064653	0,35975	
Sodio - Hierro	0,0067079	0,35824	
Boro - Potasio	0,0072574	0,35501	
Zinc - Hierro	0,0078164	0,35193	
Magnesio -Potasio	0,0081688	0,35009	
SiO ₂ - Magnesio	0,0096142		-0,34319
SiO ₂ -Calcio	0,012682		-0,3311
Sodio - Boro	0,013311		-0,32894
Sodio - Nitrógeno	0,014233	0,32592	
SiO ₂ -Potasio	0,015655		-0,32159
SiO ₂ - Cobre	0,022038	0,30551	
Zinc - Magnesio	0,042791	0,27171	

Figura 3-14: Resumen Matriz de correlación en ACP (ver original en el anexo C), de las 13 variables agrupadas con los datos medidos en especies de arvenses halladas por fincas tipo en tres sistemas de producción de café.

Ya frente a la absorción del Mg, este puede afectarse seriamente por el exceso de otro tipo de cationes como el K y el NH₄; esta competencia puede producir deficiencia de Mg, en

las plantas; mientras que el exceso de K y Ca, también puede afectar la translocación del Mg desde la raíz hasta la parte superior de las plantas.

3.6 Discusión

El proceso de identificación de especies encontradas en 2014 en los muestreos a las tres fincas de la vereda La Marcada del municipio del Libano (Tolima), llevados a cabo en el herbario de la Universidad del Tolima con validación de la Universidad Nacional de Colombia, permitió determinar que para el caso del sistema de producción con insumos inorgánicos (aplicación de herbicidas) y sin sombrero (Finca Tipo I o convencional, la especie más prevalente fue Pan con queso (*Galinsoga parviflora Cav*) seguida de Guardarrocio (*Digitaria sanguinalis (L) Scop*); la superioridad de Pan con queso se debe quizá a su capacidad de invasión en diversos cultivos en casi todos los pisos térmicos y a que su floración coincide con la época de cosecha, donde las aplicaciones a los surcos no existen, hacen que esta arvense prevalezca mas.

Vista la identificación para el sistema orgánico (Finca Tipo II), es decir con cero aplicaciones de herbicidas químicos y gran sombrero entre los surcos de café, la especie que mas abundó fue Llantén (*Plantago rugelli Decne*) seguida de Siempreviva (*Tradescantia cumanensis L.*); bajo este sistema de producción, es factible considerar que el Llantén sea más prevalente que las demás especies, en razón a la dimensión de su hoja, lo que hace que ésta por alcanzar más área foliar, sirva con mayor eficiencia a procesos de fotosíntesis y captura de agua.

Por ultimo, al observarse la identificación para el sistema en transición (Finca Tipo III o Mixta), la especie que en mayor abundancia se encontró fue Coneja (*Oplismenus burmannii* (Retz) P. Beauv) seguida de plántulas de café o chapolas; esta consideración

lleva argumentar que la alta presencia de esta arvense debido a ser una gramínea C3, y florecer en el periodo de cosecha principal, permite su mayor expansión poblacional bajo sistemas con reducidas aplicaciones de herbicidas, como son los sistemas de transición.

Al evaluar las 56 especies identificadas en el muestreo a tres sistemas de producción de café en la vereda la Marcada en el municipio de Libano (Tolima), durante la cosecha del año 2014, se pudo evidenciar de acuerdo a lo encontrado en cultivos del departamento de Nariño por Muñoz y Villota (2014) con índices de Shannon de 2,07 para café con sombrero y 1,62 para café a pleno sol, que en la experiencia en el Tolima la diversidad mayor estuvo en el sistema bajo sombrero e insumos orgánicos (Finca Tipo II, con un 2,62) y menor en el sistema a pleno sol y con insumos inorgánicos (Finca Tipo I, con un 1,92) (Muñoz & Villota, 2014, pág. 8).

De esta manera es procedente inferir, que los sistemas bajo sombrero pero que a su vez impliquen el uso de sistemas de cultivo orgánico o ecológico, con certeza pueden aumentar la diversidad de especies útiles a la fertilidad y la dinámica del suelo, por ende al vigor de las plantas y sus frutos.

Los resultados de diversidad en las fincas estudiadas en el Libano, muestran concordantemente a lo similarmente analizado en Nicaragua a cuatro sistemas de producción (convencionales y orgánicos) de café bajo sombrero y a pleno sol, que mientras la producción tolimesa en transición (Finca Mixta o Tipo III), no dista mucho de lo hallado en la convencional (2,00 frente a 1,92), a pesar del sombrero de la primera, al observar la evaluación centroamericana se halló que los valores hallados a pleno sol y bajo sombrero en los sistemas intensivos (convencionales) y semi intensivos (mixtos para el caso del experimento colombiano) no se alejaron mucho del valor 2,0, encontrado en el Libano (Navarrete & Navarrete, 2015, pág. 22).

Ahora al observar lo alcanzado con el Análisis de Componentes Principales (ACP) en las tres fincas de la vereda la Marcada en el Libano (Tolima), de acuerdo a lo estudiado por Salazar e Hincapié (2011), respecto que para estos el factor de interferencia, es el que puede correlacionar mejor la presencia en abundancia de arvenses entre los surcos de café (Salazar & Hincapié, 2011).

De acuerdo a la figura 3-12 anterior, el estudio del Libano, mostró que al agrupar los datos (numero de individuos por especie, pesos secos y contenidos mineralógicos) de las variables analizadas para las 56 especies encontradas, se observa que las pertenecientes al sistema convencional (Finca Tipo I) se relacionan en forma directa, mientras que las de los sistemas orgánico y en transición o mixto (Finca Tipo II y III), guardan relación inversa entre los grupos de variables (Ver figura 3-12 anterior).

Frente a lo encontrado en la matriz de correlación aportada por el ACP, lo autores plantean que además de la relación Ca / B discutida, la relación Ca / K, puede acentuar la deficiencia de B, según se ve en la matriz hallada; así, la toxicidad producida por niveles elevados de B, puede disminuirse mediante el aumento del nivel de Ca. En consecuencia, esto tiene relación directa con la etapa reproductiva de las planta y para el caso del café, esto se traduce en la calidad de la cosecha.

Ya observando en el resumen de la matriz de la figura 3-14 anterior, también es influenciada por la relación P / Fe, dado que esta ha sido relacionada con frecuencia con la deficiencia de Fe, aunque para otros autores, los mecanismos implicados en la interacción son desconocidos (Mengel & Kirkby, 2000).

En algunos casos, el efecto del P se potencia con el Ca, de tal manera que la clorosis inducida por encalamiento, puede deberse al efecto combinado del P y del Ca sobre la absorción y utilización del Fe; de esta manera, las altas concentraciones de P, inhiben el movimiento del P dentro de la planta, y esta inhibición se hace mayor cuando la planta crece en presencia de pH superior a 7,0, lo que no fue el caso de las tres fincas evaluadas (Mengel & Kirkby, 2000).

Vista en la matriz resumen citada, otra relación que refleja significancia es la de Cu / Mg, basada en que las hojas de las plantas deficientes en Cu, desarrollan un color verde oscuro, debido a que su contenido de clorofila y proteínas aumenta; no obstante, la eficiencia fotosintética disminuye y por consiguiente, disminuye el contenido de carbohidratos totales, lo que puede explicar la prevalencia de ciertas especies de arvense halladas, que pueden sintetizar con mayor eficacia esta relación (Mengel & Kirkby, 2000).

El Zn en sus relaciones con el Fe, según los resultados de la correlación vista en la matriz resumen, no concuerda con lo reportado en la fisiología, dado que según la literatura, esto no coincide con la absorción del Fe, el cual se controla metabólicamente y se encuentra influenciada fuertemente por la presencia de otros cationes; sumado a esto, se ha registrado la competencia del Mn, Cu, Ca, Mg, K y del Zn, durante el proceso de absorción del elemento, lo que puede indicar el por qué los metales pesados inducen deficiencia de Fe, en numerosas especies vegetales, que pudiera atribuirse a algunas de las arvenses halladas; finalmente frente a esta relación, se puede establecer una lista de metales, según la magnitud del efecto sobre la absorción y utilización del Fe, así: Cu > Ni > Co > Zn > Cr > Mn (Mengel & Kirkby, 2000).

De igual manera, el Zn en su relación con el Mg, está influenciada por el Cu, el cual inhibe fuertemente la absorción del Zn, debido a que los dos iones compiten; en la relación Mg / Zn vista en la matriz, se aduce en la literatura, que se ha encontrado que el encalamiento de los suelos con cal dolomítica rica en Mg, reduce la accesibilidad del Zn a las plantas; todo lo anterior, porque parece ser que se presenta una competencia entre los dos cationes bivalentes, por el sitio activo de los transportadores específicos; de otra parte, en algunas plantas, se han registrado efectos de competencia entre el Zn, el Fe y el Mn, lo que puede explicar el número de ciertas arvenses halladas; incluso, también se ha observado competencia con los metales alcalino-térreos (Ca y Mg) (Mengel & Kirkby, 2000).

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Primero) Al realizar la tipificación de las arvenses halladas en tres sistemas de producción de café (orgánica, convencional y mixto) en la cosecha del año 2014, se encontró que para la finca convencional, se presenta un mayor número de especies que en la finca orgánica; sin embargo la especie que presenta en mayor número en la finca convencional es Pan con queso (*Galinsoga parviflora*) perteneciente a la familia asteráceae, la cuál es considerada de interferencia media en el cultivo de café; por otro lado en la finca orgánica y mixta, se presentan en mayor número las especies Llantén (*Plantago rugelli* Decne) y Coneja (*Oplismenus burmanii* Retz) respectivamente, las cuales son consideradas de interferencia baja en el cultivo, con lo cual podemos observar que el manejo y los diseños agroecológicos diferenciados, influyen notoriamente en la estructura del agroecosistema, en términos de la diversidad de arvenses asociadas e influye directamente en la homogenización de dichas especies aumentando su resistencia y dificultando su manejo.

Segundo) Luego de realizado los índices de Shannon y Simpson que determinan la biodiversidad de las arvenses encontradas, se confirma que la finca orgánica presenta el mayor índice de diversidad ($H' = 2,62$) representado en un mayor número de familias con respecto a las finca convencional ($H' = 1,92$) y mixta ($H' = 2,0$).

- Tercero) Se puede inferir, que los sistemas bajo sombrero (Finca Tipo II y III), pero que a su vez implican el uso de sistemas de cultivo orgánico o ecológico, con certeza pueden aumentar la diversidad de especies útiles a la fertilidad y la dinámica del suelo, por ende al vigor de las plantas y sus frutos.
- Cuarto) Al tener en cuenta el factor de interferencia en un Análisis de Componentes Principales, se demuestra que al agrupar los datos (numero de individuos por especie, pesos secos y contenidos mineralógicos) de las variables analizadas para las 56 especies encontradas, se observó que las arvenses del sistema convencional (Finca Tipo I) se relacionan en forma directa, mientras que las de los sistemas orgánico y en transición o mixto (Finca Tipo II y III), guardan relación inversa entre los grupos de variables analizadas.
- Quinto) La relación Boro, Calcio Magnesio y Potasio encontrados en las arvenses asociadas al cultivo del café tienen una alta significancia en correlación directa entre sí confirmando las teorías de fisiológica vegetal.
- Sexto) En la investigación se encontró que las interacciones del Fosforo y el Hierro en el contenido de las arvenses asociadas al cultivo del café están relacionadas de manera inversamente significativa, confirmando la relación frecuente del fosforo con la deficiencia de Fe en los tejidos vegetales.
- Séptimo) En contraste con lo encontrado en la literatura de fisiología vegetal en la cual se ha registrado la competencia del Zn con el Fe y el Mg por el sitio activo de transportadores específicos, en el análisis de correlación se encontró una alta significancia de manera directa entre el Zinc-Fe y Zn-Mg en los contenidos mineralógicos de las arvenses asociados al cultivo del café lo cual contribuye a la divergencia en la literatura sobre si la absorción del Zn se realiza de manera pasiva o activa.

Octavo) Así como el papel de las arvenses en los sistemas productivos debe ser reevaluado; Algunas interacciones entre elementos no considerados esenciales también implica una fuente de estudio. En esta investigación se encontró que las relaciones entre elementos como sodio y los silicatos tienen un importante grado de significancia, sin embargo al realizar la revisión bibliográfica correspondiente solo se encuentran estudios de interacción entre el sodio y el potasio en los procesos fisiológicos de las plantas.

4.2 Recomendaciones

Primero) Es importante continuar con investigaciones al respecto, pues esta investigación abre caminos para la resignificación del papel de las arvenses en el modelo productivo cafetero la cuál complementada con futuras investigaciones al respecto pueden brindarles a los productores una herramienta para la toma de decisiones en sus sistemas productivos.

Segundo) Igualmente en posteriores estudios, se requerirá tomar los parámetros N total, N orgánico, Materia Orgánica y Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo en muestras por cuadrante y por transecto, para cada sistema o finca, a fin de poder combinar estos con los parámetros evaluados en este Tesis de Maestría, lo cual aunque hace muy costosa la investigación, llevaría a concluir más detalladamente el papel de las arvenses en el aporte nutricional al cultivo de café producido bajo sistema Convencional, Orgánico o Mixto en el municipio de Libano, departamento del Tolima, Colombia.

A. Anexo: datos para cálculo de índices de diversidad

Finca tipo I (Convencional)

Especie Nombre vulgar y Nombre científico	n	Pi	LN Pi	Pi * LN Pi	n(n-1)
Achira (<i>Cannacoccinea</i> Mill)	19	0,00348816	-5,6583813	-0,01973733	342
Bledo (<i>Amaranthus dubius</i> Mart)	2	0,00036717	-7,9096731	-0,00290423	2
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	41	0,00752708	-4,88924821	-0,03680176	1640
Botoncillo amarillo (<i>Acmella linnaei</i> C)	10	0,00183587	-6,30023518	-0,01156643	90
Cadillo carretón (<i>Cenchrus</i> sp)	2	0,00036717	-7,9096731	-0,00290423	2
Caminadora (<i>Rottboellia exaltata</i> K)	38	0,00697632	-4,96523412	-0,03463905	1406
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	450	0,08261428	-2,49357269	-0,20600472	202050
Cilantro (<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC)	28	0,00514044	-5,27061577	-0,02709331	756
Clavo de cristo (<i>Euphorbia heterophylla</i> L)	12	0,00220305	-6,11791363	-0,01347805	132
Colombianita (<i>Thunbergia alata</i> Bojer)	2	0,00036717	-7,9096731	-0,00290423	2
Cortadera (<i>Cyperus ferax</i> L)	25	0,00458968	-5,38394445	-0,02471106	600
Escoba (<i>Sida acuta</i> Burm)	14	0,00257022	-5,96376295	-0,0153282	182
Estrellita (<i>Dichromena ciliata</i> Vahl)	12	0,00220305	-6,11791363	-0,01347805	132
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> L)	86	0,01578851	-4,14847298	-0,0654982	7310
Gramalote (<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K)	100	0,01835873	-3,99765009	-0,07339178	9900
Guardarocio (<i>Digitaria sanguinalis</i> L)	1572	0,28859923	-1,2427163	-0,35864697	2469612
Limpia frascos (<i>Setaria geniculata</i> Lam)	8	0,0014687	-6,52337874	-0,00958088	56
Melampodium sp.	20	0,00367175	-5,607088	-0,0205878	380
Nabo (<i>Brassica alba</i> Boiss)	133	0,02441711	-3,71247115	-0,09064782	17556
Palo de agua (<i>Jussiaea suffruticosa</i> L)	2	0,00036717	-7,9096731	-0,00290423	2
Pan con queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	2130	0,39104094	-0,93894302	-0,36716516	4534770
Pata de gallina (<i>Eleusine indica</i> L)	78	0,01431981	-4,24611145	-0,06080351	6006
Pegapega (<i>Desmodium tortuosum</i> SW)	4	0,00073435	-7,21652592	-0,00529945	12
Pincelito amarillo	95	0,01744079	-4,04894339	-0,07061678	8930
Pincelito rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> L)	294	0,05397466	-2,91924051	-0,15756503	86142

Sanalotodo (<i>Cuphea racemosa</i> L)	13	0,00238663	-6,03787092	-0,01441019	156
Siempreviva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L)	57	0,01046448	-4,55976901	-0,04771559	3192
Sinedrela (<i>Sinedrella nudiflora</i> L)	59	0,01083165	-4,52528283	-0,04901628	3422
Suelda consuelda (<i>Commelina diffusa</i> Burn)	36	0,00660914	-5,01930134	-0,03317328	1260
Teresita azul (<i>Browalia americana</i> L)	1	0,00018359	-8,60282028	-0,00157937	0
Tripaepollo (<i>Euphorbia hirta</i> L)	48	0,00881219	-4,73161927	-0,04169593	2256
Viernes santo (<i>Phyllanthus niruri</i> L)	6	0,00110152	-6,81106081	-0,00750255	30
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	40	0,00734349	-4,91394082	-0,03608548	1560
TOTALES	5437			-1,92543646	7359888

Finca tipo II (Orgánica)

Especie Nombre vulgar y Nombre científico	n	Pi	LN Pi	Pi * LN Pi	n(n-1)
Abrojo (<i>Iresine celosia</i> L)	37	0,01148355	-4,46683965	-0,05129518	1332
Barbasquillo (<i>Poligonum hydropiperoides</i>)	16	0,00496586	-5,30516884	-0,02634472	240
Besito antioqueño (<i>Impatiens balsamina</i> L)	310	0,09621353	-2,34118527	-0,2252537	95790
Botón pequeño (<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K)	86	0,0266915	-3,62341027	-0,09671424	7310
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	45	0,01396648	-4,27109507	-0,05965217	1980
Botoncillo amarillo (<i>Acmella linnaei</i> C)	8	0,00248293	-5,99831602	-0,0148934	56
Chapola (<i>Coffea arabica</i>)	16	0,00496586	-5,30516884	-0,02634472	240
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	240	0,0744879	-2,59711864	-0,1934539	57360
Cilantro (<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC)	328	0,10180012	-2,28474396	-0,23258722	107256
Coneja (<i>Oplismenus burmanii</i> Retz)	30	0,00931099	-4,67656018	-0,04354339	870
Cortadera (<i>Cyperus ferax</i> L)	31	0,00962135	-4,64377036	-0,04467935	930
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> L)	93	0,02886406	-3,54515807	-0,10232765	8556
helecho (<i>Ptenitis ampla</i>)	21	0,00651769	-5,03323513	-0,03280507	420
Llantén (<i>Plantago rugelli</i> Decne)	714	0,22160149	-1,5068746	-0,33392566	509082
Mastranto (<i>Salvia palaefolia</i> H.B.K)	24	0,00744879	-4,89970373	-0,03649686	552
Melampodium sp.	73	0,02265673	-3,78729812	-0,08580781	5256
Nabo (<i>Brassica alba</i> Boiss)	5	0,00155183	-6,46831965	-0,01003774	20
Pan con queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	139	0,04314091	-3,14328363	-0,1356041	19182
Parecido Golondrina (<i>Stellaria</i> sp)	19	0,00589696	-5,13331858	-0,03027097	342
Pincelito amarillo	138	0,04283054	-3,15050388	-0,13493778	18906
Pincelito rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> L)	71	0,022036	-3,81507769	-0,08406906	4970
Sanalotodo (<i>Cuphea racemosa</i> L)	4	0,00124146	-6,6914632	-0,00830722	12

Siempreviva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L)	354	0,10986965	-2,20846065	-0,24264279	124962
Teresita azul (<i>Browalia americana</i> L)	30	0,00931099	-4,67656018	-0,04354339	870
Tiririca brava (<i>Hipoxis decumbens</i> L)	3	0,0009311	-6,97914528	-0,00649827	6
Trebol Flor amarilla (<i>Oxalis corniculata</i> L)	3	0,0009311	-6,97914528	-0,00649827	6
Trebol moradito (<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K)	32	0,00993172	-4,61202166	-0,04580531	992
Tripaepollo (<i>Euphorbia hirta</i> L)	16	0,00496586	-5,30516884	-0,02634472	240
Urticacea (<i>Boehmeria</i> sp)	327	0,10148976	-2,28779739	-0,232188	106602
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	9	0,0027933	-5,88053299	-0,01642607	72
TOTALES	3222			-2,62929876	1074412

Finca tipo III (Mixta)

Especie Nombre vulgar y Nombre científico	n	Pi	LN Pi	Pi * LN Pi	n(n-1)
Alacrán (<i>Cyathula achyranoides</i> H.B.K	15	0,0128866	-4,35156743	-0,0560769	210
Astaracea moradita (<i>Ageratum</i> sp)	7	0,00601375	-5,11370748	-0,03075254	42
Batatilla (<i>Ipomoea trifida</i> H.B.K)	2	0,00171821	-6,36647045	-0,01093895	2
Besito antioqueño (<i>Impatiens balsamina</i> L)	78	0,06701031	-2,7029088	-0,18112275	6006
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	8	0,00687285	-4,98017609	-0,03422801	56
Chapola (<i>Coffea arabiga</i>)	266	0,22852234	-1,47612132	-0,33732669	70490
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	15	0,0128866	-4,35156743	-0,0560769	210
Clavo de cristo (<i>Euphorbia heterophylla</i> L)	2	0,00171821	-6,36647045	-0,01093895	2
Coneja (<i>Oplismenus burmanii</i> Retz)	497	0,42697595	-0,8510276	-0,36336831	246512
Elefante (<i>pennisetum purpureum</i> Schum)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Escoba (<i>Sida acuta</i> Burm)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> L)	85	0,07302405	-2,61696637	-0,1911015	7140
Gramalote (<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K)	6	0,00515464	-5,26785816	-0,02715391	30
Guardarocio (<i>Digitaria sanguinalis</i> L)	15	0,0128866	-4,35156743	-0,0560769	210
helecho (<i>Ptenitis ampla</i>)	11	0,00945017	-4,66172236	-0,04405408	110
Mastrantillo (<i>Hyptis atrorubens</i> Poit)	10	0,00859107	-4,75703254	-0,04086798	90
Melampodium sp.	7	0,00601375	-5,11370748	-0,03075254	42
Pan con queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	22	0,01890034	-3,96857517	-0,07500743	462
Pasto horqueta (<i>Paspalum conjugatum</i> B)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Pata de gallina (<i>Eleusine indica</i> L)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Pincelito rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> L)	35	0,03006873	-3,50426957	-0,10536893	1190
Siempreviva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L)	13	0,01116838	-4,49466827	-0,05019819	156
Sinedrela (<i>Sinedrella nudiflora</i> L)	17	0,01460481	-4,22640428	-0,06172584	272

Suelda consuelda (<i>Commelina diffusa</i> Burn)	17	0,01460481	-4,22640428	-0,06172584	272
Teresita azul (<i>Browalia americana</i> L)	2	0,00171821	-6,36647045	-0,01093895	2
Tiririca brava (<i>Hipoxis decumbens</i> L)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Trebol moradito (<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K)	6	0,00515464	-5,26785816	-0,02715391	30
Tripaepollo (<i>Euphorbia hirta</i> L)	4	0,00343643	-5,67332327	-0,01949596	12
Tusilla (<i>Kohleria spicata</i> H.B.K)	2	0,00171821	-6,36647045	-0,01093895	2
Verbena blanca (<i>Verbena littoralis</i> H.B.K)	5	0,00429553	-5,45017972	-0,02341142	20
Yerba papagayo (<i>Blechum pyramidatum</i> L)	5	0,00429553	-5,45017972	-0,02341142	20
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	7	0,00601375	-5,11370748	-0,03075254	42
TOTALES	1164			-2,00129111	333632

B. Anexo: Biomasa total de arvenses hallada

Biomasa total de arvenses tipificadas halladas en las tres fincas estudiadas, por muestra y por transecto (2014)

TOTAL Especie	No. Individuo	VERDE (peso en g)		SECO (peso en g)	
		Parte Aérea	Raíz	Parte Aérea	Raíz
Achira (<i>Canna coccinea</i> Mill)	19	52,36	6	3,5196	1,7696
Abrojo (<i>Iresine celosia</i> L)	37	165,4	19	28,679	16,869
Alacran (<i>Cyathula achyranoides</i> H.B.K)	15	21,3	1,43	2,158	1,965
Asteracea Moraditas (<i>Ageratum</i> sp)	7	20	11,8	2,2	1,917
Barbasquillo (<i>Poligonum hydropiperoides</i>)	16	431,7	25,4	30,28	28,71
Batatilla (<i>Ipomoea trifida</i> (H.B.K) G. Don)	2	53,9	1,1	5,39	5,39
Bledo (<i>Amaranthus dubius</i> Mart)	2	82	12	8,46	8,46
Besito Antioqueño (<i>Impatiens balsamina</i> L.)	388	4169,2	390,89	167,34	137,4374
Boton amarillo (<i>Acmella linnaei</i> Cass)	18	291,9	24,9	31,894	15,714
Boton pequeño (<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K)	86	1309,8	82,38	144,242	140,692
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	94	145,42	17,25	18,29	7,593
Cadillo Carreton (<i>Cenchrus</i> sp)	2	16,2	0,9	2,28	2,28
Caminadora (<i>Rottboellia exaltata</i> Ktze)	38	776,6	39,16	115,74	57,78
Chapola (<i>Coffea Arabica</i> L.)	282	175,31	22,5925	27,631	13,8579
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	664	4478,19	416,62	581,211	308,021
Cilantro (<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC)	356	688,9	35,88	56,434	36,0086
Clavo de Cristo (<i>Euphorbia heterophylla</i> L.)	14	124,1	9,6	19,154	12,648
Colombianita (<i>Thunbergia alata</i> Bojer)	2	20,1	0,6	3,01	0,18
Coneja (<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv)	527	567,2	23,1	107,485	67,76
Cortadera (<i>Cyperus ferax</i> (L) Rich)	56	687,4	119,95	101,409	90,4815
Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum)	1	338	41,5	55,36	55,36
Escoba (<i>Sida acuta</i> Burm f)	15	101,8	11,39	20,36	8,424
Estrellita (<i>Dichromena ciliata</i> Vahl)	12	123,6	36	3,82	3,82
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd)	264	1872,98	94,881	279,4695	157,2617

Gramalote (<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K)	106	1148,06	319,88	222,092	170,756
Guardarrocio (<i>Digitaria sanguinalis</i> (L) Scop)	1587	156424	29610,6	26749,278	22662,816
Helecho (<i>Ptenitis ampla</i>)	32	159	57	12,92	12,864
Limpia frascos (<i>Setaria geniculata</i> (Lam) Beauv)	8	12	0,47	2,282	2,282
Llantén (<i>Plantago rugelli</i> Decne)	714	631,6	72,8	37,906	31,966
Mastrantillo (<i>Hyptis atrorubens</i> Poit)	10	21,8	0,4	2,9	2,444
Mastranto (<i>Salvia palaefolia</i> H.B.K)	24	53,8	4,6	4,908	3,858
Melampodium sp	100	1391,3	79,18	172,124	117,0179
Nabo (<i>Brassica alba</i> Boiss)	138	276,86	44,74	28,993	25,17
Palo de agua (<i>Jussiaea suffruticosa</i> L)	2	1,7	0,1	0,36	0,36
Pasto horqueta (<i>Paspalum conjugatum</i> Bergius)	1	53	11	9,54	0,77
Pan con Queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	2291	6879,93	942,4	360,625	262,522
Parecido Golondrina (<i>Stellaria</i> sp)	19	282,1	17,5	13,105	11,065
Pata de Gallina (<i>Eleusine indica</i> (L) Gaertn)	79	82,02	29,72	11,83	8,876
Pega pega (<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw) D.C)	4	9,4	2	1,34	1,34
Pincelito Amarillo (<i>Fleischmannia</i> sp)	233	940,8	54,81	75,34	65,3135
Pincelito Rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC)	409	1419,79	102,08	126,0325	77,1303
Sanalotodo (<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng)	17	44,17	4,16	6,8685	2,5285
Siempre viva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L.)	424	939,22	96,27	108,223	40,434
Sinedrela (<i>Synedrella nudiflora</i> (L) Gaertn)	76	159,36	13,34	18,999	15,134
Suelda (<i>Commelina diffusa</i> Burm.f)	53	418,2	52,89	23,5413	22,3712
Teresita Azul (<i>Browalia americana</i> L)	33	82,6	8,29	9,37	6,888
Tiririca brava (<i>Hipoxis decumbens</i> L)	4	37,7	10,6	4,486	3,862
Trebol Flor Amarilla (<i>Oxalis corniculata</i> L.)	3	8	0,59	0,8	0,13
Trebol Moradito (<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K)	38	62,8	0,79	6,26	4,3799
Tripa de Pollo (<i>Euphorbia hirta</i> L.)	68	128,62	9,07	13,918	8,972
Tusilla (<i>Kohleria spicata</i> (H.B.K) Oerst)	2	13,5	1,1	1,1	1,1
Urticacea (<i>Boehmeria</i> sp)	327	965,8	83,5	29,109	24,99
Verbena Blanca (<i>Verbena littoralis</i> H.B.K)	5	312	53,9	67,25	67,25
Viernes Santo (<i>Phyllanthus niruri</i> L)	1	1,2	0,1	0,32	0,07
Yerba Papagallo (<i>Blechnum pyramidatum</i> (Lam) Urban)	5	30,2	1,4	4,15	4,15
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	56	986,2	108,17	140,694	138,294

C. Anexo: Matriz de correlación en ACP a 13 variables medidas en especies de arvenses halladas

	NITROGENO	FOSFORO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	AZUFRE	BORO	HIERRO	MANGANESO	ZINC	SODIO	COBRE	SIO2	PAV	RaizV	PAS	RaizS
NITROGENO		0,74588	0,23382	0,57152	0,1352	0,50373	0,12642	0,29104	0,247	0,088981	0,014233	0,069882	0,06223	0,33462	0,30609	0,30668	0,29814
FOSFORO	-0,044284		0,42137	0,84248	0,24221	0,45044	0,56033	0,0016675	0,11742	0,050427	0,0029896	0,47336	0,079878	0,30831	0,2987	0,30078	0,29658
POTASIO	0,1617	-0,10959		0,0064653	0,0081688	0,81298	0,0072574	0,24375	0,22299	0,063028	0,057896	0,38533	0,015655	0,87442	0,83221	0,82914	0,82424
CALCIO	0,077239	0,027163	0,35975		1,02E-06	0,89041	1,02E-13	0,17811	0,30784	0,069067	0,0027491	0,74966	0,012682	0,57895	0,54326	0,51911	0,51533
MAGNESIO	0,20212	0,15887	0,35009	0,60005		0,17854	6,16E-08	0,17455	0,12918	0,042791	8,01E-06	0,0021741	0,0096142	0,63998	0,60061	0,58631	0,57462
AZUFRE	0,091221	-0,1029	0,032336	0,018835	-0,18237		0,85873	0,36804	0,49405	0,12114	0,0020693	0,21007	0,43526	0,49389	0,48794	0,48284	0,48675
BORO	0,20669	-0,079489	0,35501	0,80258	0,64938	-0,02433		0,60923	0,33151	0,08764	0,013311	0,14773	0,042444	0,42755	0,38686	0,37922	0,37078
HIERRO	0,1436	-0,41067	-0,15836	-0,18255	-0,18403	0,1226	-0,069798		0,55163	0,0078164	0,0067079	0,34701	1,13E-05	0,61052	0,61181	0,60662	0,61143
MANGANESO	0,15728	-0,21162	-0,16545	-0,13874	-0,20523	0,093292	-0,13218	0,081255		0,69269	0,04783	0,5798	0,7191	0,6889	0,69344	0,6901	0,69234
ZINC	0,22941	-0,26274	0,2501	0,24475	0,27171	0,20955	0,23035	0,35193	-0,053991		0,4368	0,067602	0,72212	0,79278	0,73984	0,71371	0,70658
SODIO	0,32592	-0,3897	-0,25497	-0,3928	-0,55767	0,40307	-0,32894	0,35824	0,26566	0,10601		0,23051	0,12192	0,54753	0,53864	0,54568	0,54973
COBRE	-0,24406	0,097792	-0,11827	-0,043603	-0,40131	0,1701	-0,19598	0,12804	0,075587	-0,24601	0,16283		0,022038	0,86604	0,89788	0,89612	0,91064
SIO2	-0,25083	-0,23681	-0,32159	-0,3311	-0,34319	0,10636	-0,27215	0,55002	-0,049141	-0,048591	0,20912	0,30551		0,77395	0,74123	0,73422	0,73052
PAV	-0,13134	0,13861	-0,021604	-0,075757	-0,063879	-0,093327	-0,10815	0,069549	-0,054693	-0,035903	-0,082089	-0,023059	0,039251		1,89E-87	4,84E-79	8,45E-77
RaizV	-0,13924	0,14136	-0,028959	-0,082964	-0,071481	-0,094611	-0,11789	0,069298	-0,053853	-0,045374	-0,083913	-0,017545	0,045123	0,99967		3,02E-89	4,83E-90
PAS	-0,13907	0,14076	-0,029497	-0,08797	-0,074295	-0,095719	-0,11978	0,070307	-0,054471	-0,050125	-0,082468	-0,017849	0,046392	0,99932	0,99971		9,40E-111
RaizS	-0,14152	0,14198	-0,030356	-0,088765	-0,076619	-0,094868	-0,1219	0,069371	-0,054055	-0,051433	-0,08164	-0,015343	0,047063	0,99917	0,99973	0,99995	

5. Bibliografía

- Altieri, M., & Nicholls, C. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*(64), 17-24.
- Casas, M. (S.F.). *www.uv.es*. (F. d. Económicas, Ed.) Obtenido de <https://www.uv.es/asepuma/X/C29C.pdf>
- Cerisola, C. (2015). *Fertilización mineral : N – P – K Nutrientes principales, secundarios y microelementos - Fertilizantes: Tipos y aplicación*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ambiente y Recursos. La Plata: Universidad nacional de la Plata. Obtenido de http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/20779/mod_folder/content/0/TEORIA%20FERTILIDAD%20MINERAL%202015.pdf?forcedownload=1.
- CIAT - IITA. (julio de 2013). <http://dapa.ciat.cgiar.org>. (CIAT, Ed.) Obtenido de <http://dapa.ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2013/07/Presentation-IITA-CIAT-20131.pdf>
- Cuadras, C. M. (2014). *Nuevos Métodos de Análisis Multivariante*. Barcelona, España: CMC Editions. Obtenido de <http://www.ub.edu/stat/personal/cuadras/metodos.pdf>
- Freitas, J. C., Cunha, A. J., & Melo, B. d. (july de 2014). Soil Cover and Weed Control on Coffee Intercropping Perennial Legume. *International Journal of Applied Science and Technology*, 4(4), 149-157. Obtenido de http://www.ijastnet.com/journals/Vol_4_No_4_July_2014/15.pdf
- García, M. (2016). *Análisis exergético a sistemas de producción de café y su relación con la sustentabilidad*. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Doctorado en Agroecología. Palmira: Universidad Nacional de Colombia .
- Gonzalez, R. (2008). *Productividad y valor económico potencial de arvenses en cultivo de maíz de Nanacamilpa, Tlaxcala*. Montecillo: Colegio de Posgraduados. Recuperado el 15 de marzo de 2014, de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/1498>
- Labun, P., Salamon, I., & Grulova, D. (2012). Formation of horsetail (*Equisetum arvense* L.) biomass depending on soil properties in the locality of its growth. (P. University,

- Ed.) *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 6(4), 398 - 405.
Recuperado el 15 de marzo de 2014, de
<http://www.aensiweb.com/old/aejsa/2012/398-405.pdf>
- Lara, A. (1 de enero de 2014). <http://masteres.ugr.es>. Recuperado el 2 de marzo de 2017, de http://masteres.ugr.es/moea/pages/curso201314/tfm1314/tfm-septiembre1314/memoriasterantonio_lara_hormigo/
- Martins, B., Junior, C., Miyazawa, M., Vieira, K. M., & Milori, D. (2015). Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management . *Soil and Tillage Research*, 153.
doi:10.1016/j.still.2015.06.005
- Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (4a ed.). (R. M.-M. Ruiz, Trad.) Basel, Switzerland: International Potash Institute.
- Migwi, G., Ariga, E., & Michieka, R. (february de 2017). A survey on weed diversity in coffee estates with prolonged use of glyphosate in Kiambu county, Kenya. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 4(2), 82-94. Obtenido de http://www.ijstr.com/uploaded_all_files/1862771038_v8.pdf
- Mora, A. (2011). *Characterization of the spatial variability of soil properties and Coffee fine roots in shade tree- coffee associations under organic and conventional management practices*. TROPICAL AGRICULTURE RESEARCH AND HIGHER EDUCATION CENTRE (CATIE), CATIE PhD Program. Turrialba: CATIE.
Obtenido de <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/551/Tesis-PhD-AMora-2011.pdf>
- Muñoz, L., & Villota, T. (2014). *Evaluacion de macrofauna y composicion floristica en sistemas productivos de Cafe, Municipio de la Union, Nariño* . Facultad de Ciencias Agrícolas , Ingenieria AgroForestal . San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Obtenido de
<http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90037.pdf>
- Navarrete, E. D., & Navarrete, L. F. (2015). *Efecto de cuatro sistemas agroforestales con café (Coffea arabica L.) y pleno sol con manejos convencionales y orgánicos, sobre la dinámica de las malezas en Masatepe, Nicaragua 2001-2012*. Facultad de Agronomía. Managua: Universidad Nacional Agraria. Obtenido de
<http://cenida.una.edu.ni/TESIS/TNF08N321.PDF>
- Nicholls, C. I. (2008). *Control Biologico de Insectos: un enfoque agroecologico*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Noda, K., Maki, M., Miyaoka, K., Homma, K., Shirakawa, H., & Ok, K. (october de 2015). A decision-making model for rice paddy cropping in an urbanizing area of the Lao PDR. *Paddy and Water Environment*, 13(4), 487. doi:10.1007/s10333-014-0466-7

- Pipatprapa, A., Huang, H.-H., & Huang, C.-H. (2016). A Novel Environmental Performance Evaluation of Thailand's Food Industry Using Structural Equation Modeling and Fuzzy Analytic Hierarchy Techniques. *Sustainability*, 8(246), 16. doi:10.3390/su8030246
- Rodríguez, N., Vásquez, E., Restrepo, L. F., & Márquez, S. M. (2017). Characterization and typification of coffee production systems (*Coffea arabica* L.), Andes municipality. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 70(3), 8327-8339. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/66332>
- Ronchi, C., Terra, A., & Silva, A. (octubre - diciembre de 2007). Growth and nutrient concentration in coffee root system under weed species competition. *Planta daninha*, 25(4), 679 - 687. doi:10.1590/S0100-83582007000400004
- Salazar, L. F., & Hincapié, E. (2011). Capítulo 5. Las arvenses y su manejo en los cafetales. En CENICAFE, *Los Sistemas de Producción de Café en Colombia* (págs. 101 - 130). Chinchina, Colombia: CENICAFE. Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo5.pdf>
- Sarno, Lumbanraja, J., Afandi, Adachi, T., Oki, Y., Senge, M., & Watanabe, A. (2004). Effect of weed management in coffee plantation on soil chemical properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69(1). doi:10.1023/B:FRES.0000025309.62716.13
- Souza, C. d., Guedes, T. d., & Fontanetti, C. S. (december de 2016). Evaluation of herbicides action on plant bioindicators by genetic biomarkers: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(694), 12. doi:10.1007/s10661-016-5702-8
- Watkins, K., Hristovska, T., Mazzanti, R., & Wilson, C. (2012). Measuring Cost Efficiency in Rice Production Using Data from the Rice Research Verification Program. (R. N. Moldenhauer, Ed.) *B.R. Wells Rice Research Studies*(609), 418 - 422.
- Zhang, W. (january de 2011). Simulation of arthropod abundance from plant composition. (I. A. Sciences, Ed.) *Computational Ecology and Software*, 1(1), 37-48. Recuperado el 15 de enero de 2014, de <http://www.iaees.org/publications/journals/ces/articles/2011-1%281%29/Simulation-of-arthropod-abundance-from-plant-composition.pdf>