

**Aportes del estudio histórico-filosófico de los textos originales de A. B. Frank a la
Enseñanza de las Micorrizas**

María Daniela Villa Henao

Código: 201330391

Universidad del Valle

Instituto de educación y pedagogía

Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental

Santiago de Cali

2017

Aportes del estudio histórico-filosófico de los textos originales de A. B. Frank a la ii
Enseñanza de las Micorrizas

Presentado por:
María Daniela Villa Henao

Director:
Henry Giovany Cabrera Castillo, PhD

Universidad del Valle
Instituto de educación y pedagogía
Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental
(3467)
Santiago de Cali
2017

“...to all the monsters in my nursery: May you never leave me alone.”

— Guillermo del Toro, The Strain

Los agradecimientos del presente trabajo de grado, están dirigidos a todos aquellos seres que acompañaron mi proceso de formación profesional y personal durante estos años, gracias infinitas a todos ustedes:

A **Dios**, por bendecir mi camino, guiar mis pasos y darme la oportunidad de acercarme a esta bella profesión.

A mis padres, **Zully Cecilia Henao** y **Gabriel Horacio Villa**, por su infinito amor y su acompañamiento indispensable durante mi proceso de formación, fueron ustedes mi motor para culminar esta etapa. Gracias a ti madre hermosa, por tu ternura, paciencia y comprensión, eres la tranquilidad que siempre aquieta mi impaciencia y la luz que ilumina mis días oscuros. Gracias a ti papi, por ser mi mayor ejemplo de perseverancia y fortaleza, la sonrisa infaltable en nuestras conversaciones dio serenidad y alegría a mis días difíciles, aunque la distancia nos separe siempre has logrado hacerme sentir que te tengo cerca.

A mis hermanas, **Stephanie Villa** y **Vaneza Villa**, por la complicidad y la preocupación por cada uno de mis procesos académicos. Gracias a ti tete, por tu comprensión y ternura, por ayudar a distraer mi mente en los momentos de estrés y por llenar de felicidad mi vida a través de mi *gordis (ethan)*. Gracias a Vaneza, por la paciencia y por enseñarme a ser cada vez más responsable y ordenada en los diferentes ámbitos de mi vida.

A mis compañeras y grandes amigas, con quienes compartí alegrías, risas, enojos y tristezas; por el cariño, respeto y amistad que construimos. Gracias a **Lina Fernández**, por su extremada paciencia, por ayudarme a crecer interiormente y por convertirse en una hermana más. Gracias a **Stephany Vergara** por las conversaciones filosóficas, los consejos y los abrazos sanadores. Gracias a **Stefania Duran** por su solidaridad, por responder positivamente a mis caprichos y por su preocupación en cada uno de mis ámbitos personales, académicos y sociales. Gracias a **Natalia Wilches**, por acompañarme paciente y colaborativamente desde el inicio hasta la finalización de este proceso. Gracias a **Angelica Molina**, por su tranquilidad y por incitarme a

aceptar los desafíos con calma. Gracias a **Martha Velez**, por la serenidad y por su presencia v durante el transcurso de mi formación. Gracias a todas ustedes, por permitirme hacer parte de este gran equipo de trabajo.

A mi tutor y padre académico **Henry Giovany Cabrera Castillo** por su acompañamiento constante durante la elaboración de mi trabajo de grado y por las orientaciones acertadas y rigurosas que me ofreció. Gracias profe, por el “Bullying académico” y “la presión” durante este proceso; más allá de ser mi director de tesis, se convirtió en un gran amigo.

Al equipo de **docentes del Área de Educación en Ciencias Naturales** y a **Marielita**, gracias por cada una de sus enseñanzas, conocimientos y sabiduría indispensables para la culminación de este proceso educativo.

Infinitas gracias,

El presente trabajo de grado está constituido a partir de dos aspectos estructurales: primero, los estudios histórico – filosóficos desde visiones educativas y, segundo, la importancia de la enseñanza de la simbiosis, particularmente el caso de las *micorrizas*. En ese sentido, el propósito fundamental del mismo, fue contribuir a la enseñanza de las micorrizas, a través del estudio histórico-filosófico de tres Textos Científico Históricos (TCH) de Albert. B. Frank. Se adscribe al enfoque metodológico cualitativo de tipo descriptivo-interpretativo. El análisis se fundamentó en la realización de preguntas guadoras que permitieron la identificación de grandes ideas (**i.** La Micorriza es una relación simbiótica, a la que todos los árboles son capaces bajo ciertas condiciones. **ii.** La micorriza se caracteriza por aspectos fisiológicos y morfológicos particulares. **iii.** El hongo aporta al árbol, nutrientes y agua. **iv.** La micorriza se forma sólo en un suelo rico en humus). También, la identificación de elementos para la enseñanza de las micorrizas (uso de ilustraciones, uso de analogías y el contenido científico). En cuanto a las conclusiones, se resalta la importancia de los estudios histórico -filosóficos a través del análisis de los TCH como un aporte en la comprensión de la actividad científica, ya que permite evidenciar que la construcción del conocimiento es un proceso diverso y sujeto a transformaciones. Del mismo modo, permitió recuperar el concepto de la micorriza, el cual es relevante porque modifica las formas de comprender la naturaleza y las interacciones biológicas inmersas en él.

Palabras clave: Estudio histórico-filosófico, texto científico histórico, enseñanza de las micorrizas, elementos para la enseñanza de las micorrizas.

The present work of degree is constituted from two structural aspects: first, the historical - philosophical studies from educational visions and, second, the importance of teaching symbiosis, particularly the case of mycorrhizae. In that sense, the fundamental purpose of it was to contribute to the teaching of mycorrhizae, through historical and philosophical study of three Scientific Historical Texts (TCH) Albert. B. Frank. It is ascribed to the qualitative methodological approach of descriptive-interpretative type. The analysis was based on the realization of guiding questions that allowed the identification of great ideas (i) Mycorrhiza is a symbiotic relationship, to which all trees are capable under certain conditions ii) Mycorrhiza is characterized by physiological and morphological aspects The fungus contributes to the tree, nutrients and water iv) The mycorrhiza is formed only in a soil rich in humus). Also, the identification of elements for the teaching of mycorrhizae (use of illustrations, use of analogies and scientific content). Regarding the conclusions, the importance of the historical-philosophical studies through the analysis of the TCH is highlighted as a contribution in the understanding of the scientific activity, since it makes it possible to demonstrate that the construction of knowledge is a diverse process and subject to transformations. In the same way, it allowed recovering the concept of mycorrhiza, which is relevant because it modifies the ways of understanding nature and the biological interactions immersed in it.

Key words: Historical-philosophical study, historical scientific text, teaching of mycorrhizae, elements for the teaching of mycorrhizae.

Tabla de Contenidos

1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1. Estudios Histórico-filosóficos desde una visión educativa: Investigaciones y consideraciones	3
2.2. La importancia de la enseñanza de la simbiosis desde el estudio particular de las micorrizas.....	4
3. Justificación y planteamiento del problema	8
4. Objetivos	11
4.1. General.....	11
4.2. Específicos	11
5. Marco Teórico	12
5.1. Perspectivas, aportes y relación de la historia de la ciencia y filosofía de la ciencia	12
5.1.1. La función complementaria de la historia y filosofía de la ciencia	14
5.1.2. Uso de textos científicos históricos como fuente de información	16
5.1.3. Contribuciones de los estudios histórico-filosóficos de las ciencias a la enseñanza de las ciencias	17
5.2. Un acercamiento a la micorriza: caso particular de la simbiosis	19
5.2.1. Perspectiva y aportes de Albert Bernhard Frank	22
5.2.2. Conceptualización sobre las Micorrizas	25
6. Metodología	29
6.1. Enfoque metodológico de la investigación	29
6.2. Tipología metodológica de la investigación	29
6.3. Contexto metodológico de la investigación.....	30
6.4. Aspectos procedimentales de la investigación.....	31
6.4.1. Etapa 1. Preliminares	31
6.4.2. Etapa 2. Selección de los textos científico históricos	32
6.4.3. Etapa 3. Análisis y procesamiento de los textos científico históricos (TCH)	35

6.4.4.	Etapla 4. Identificación de elementos la enseñanza de las Micorrizas	37
6.4.5.	Etapla 5. Conclusiones.....	38
7.	Resultados e interpretación de los TCH	39
7.1.	Preanálisis	39
7.2.	Análisis general de los TCH	43
7.2.1.	Formulación de preguntas:.....	43
7.2.2.	Identificación de Fragmentos.....	44
7.2.3.	Conceptualización de grandes ideas	45
8.	Elementos para la enseñanza de las micorrizas	58
8.1.	Uso de ilustraciones	58
8.2.	Uso de analogías	61
8.3.	Contenido científico.....	63
9.	Conclusiones	66
10.	Referencias Bibliográficas.....	69

Tabla 1. <i>Producción académica de Albert B. Frank.....</i>	33
Tabla 2. <i>Preparación del material (ejemplificación de la traducción alemán-español).</i>	39
Tabla 3. <i>Constitución del corpus.</i>	42
Tabla 4. <i>Identificación de fragmentos en base a las preguntas guiadoras.</i>	44
Tabla 5. <i>Uso de ilustraciones en los TCH.</i>	59

Figure 1. <i>Función complementaria de la historia y filosofía de las ciencias.</i>	15
Figure 2. <i>Albert Bernhard Frank, 1839–1900.</i>	22
Figure 3. <i>Mapa del conocimiento sobre las micorrizas.</i>	25
Figure 4. <i>Principales tipos de micorrizas.</i>	27
Figure 5. <i>Diseño metodológico y sus etapas constituyentes.</i>	31
Figure 6. <i>Procesamiento de análisis de los TCH.</i>	36
Figure 7. <i>Texto Científico Original de A.B. Frank (1885).</i>	42
Figure 8. <i>Texto Científico Original de A.B. Frank (1887).</i>	42
Figure 9. <i>Texto Científico Original de A.B. Frank (1888).</i>	42
Figure 10. <i>Preguntas orientadoras del análisis.</i>	43
Figure 11. <i>Sección longitudinal de la micorriza.</i>	50
Figure 12. <i>Raíces de cepillo de pino.</i>	53
Figure 13. <i>Micorriza extraída de humus del bosque.</i>	54
Figure 14. <i>Parte de micorriza de Carpinus betulus.</i>	59
Figure 15. <i>Parte de Una micorriza Fagus Sylvatica.</i>	59
Figure 16. <i>Grandes idesas de las micorrizas</i>	65

Anexo 1. Ilustraciones de TCH “ <i>Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze</i> ”	70
Anexo 2. Ilustraciones de TCH “ <i>Ueber neue Mycorhiza –Formen</i> ”	70
Anexo 3. Ilustraciones de TCH “ <i>Ueber die physiologische Bedeutung der Mycorhiza</i> ”. ..	70

Actualmente, la investigación en enseñanza de la ciencia, ha optado por reconocer los aportes de la denominada Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias (HFEC). Sus diferentes aportes se relacionan con ofrecer elementos y orientaciones que permitan enriquecer la formación docente, promover las practicas experimentales, elaborar unidades didácticas, desarrollar competencias de pensamiento científico en los estudiantes, facilitar el reconocimiento de la diversidad de género en la actividad científica y contribuir a la reflexión de los contenidos científicos movilizados en los diferentes espacios educativos (Izquierdo, García-Martínez, Quintanilla, & Adúriz-Bravo, 2016; Solsona, 2015).

Para explorar los diferentes aportes mencionados anteriormente, se puede acudir a diferentes perspectivas y recursos histórico-filosóficos. En lo correspondiente a este trabajo de grado, la revisión de los Textos Científico Históricos (TCH) constituye un recurso para recuperar información científica que ha sido olvidada. Pero, ¿Qué tipo de información se recupera? La respuesta se relaciona con todos aquellos conceptos y teorías de la ciencia que han sido relegados a lo largo del tiempo, siendo subyugados a otros y perdiendo ante la sociedad y la comunidad científica su valor transcendental.

En ese sentido, se resalta un concepto de la biología, denominado *micorriza*, que hace referencia a un caso particular de la simbiosis; es decir, una relación mutualista entre dos especies diferentes (hongo y plantas), un concepto fundamental, para la comprensión de las diferentes interacciones entre organismos y que desempeña un rol importante en la nutrición de plantas superiores, las cuales, sobreviven gracias a los cientos de simbioses que se entretajan en sus raíces y que les permiten obtener nutrientes del suelo.

A continuación, se explicita la estructura del presente documento. Para la elaboración de este trabajo de grado, fue necesario en primera medida realizar una búsqueda de antecedentes con el propósito de identificar y reconocer diferentes proyectos, investigaciones y propuestas desarrolladas en base a los elementos estructurales del trabajo de grado, es decir, los estudios histórico - filosóficos y la enseñanza de la micorriza.

De igual manera, se realizó un proceso de justificación y caracterización de la problemática, lo cual consistió en determinar y delimitar los aspectos particulares que debían ser investigados y analizados a lo largo del estudio histórico filosófico. Asimismo, se realizó la formulación de una pregunta problema, con el propósito de guiar y estructurar el documento; dando coherencia a la investigación.

En ese sentido, para dar respuesta a la pregunta problema planteada, fue necesario fundamentar la investigación a través de un marco teórico que permitió profundizar sobre cada uno de los elementos que constituyen el trabajo. Para ello, el marco teórico se estructuró a partir de los elementos relacionados con la HFEC, indagando acerca de la función complementaria de la historia y filosofía de la ciencia y sobre el uso de textos científicos históricos como fuente de información. Del mismo modo, se realizó una fundamentación histórico-conceptual sobre las micorrizas, identificando los diferentes aportes elaborados por científicos sobre este concepto y especificando, sobre los aportes de Albert Bernhard Frank.

Igualmente, se incluyeron el objetivo general y los específicos, los cuales se instauraron como las metas del trabajo de grado. Para cumplirlos, se desarrolló una metodología adscrita al enfoque descriptivo-interpretativo. Todo ello, permitió la identificación de grandes ideas y de elementos para la enseñanza de las micorrizas derivados del análisis de los TCH.

Finalmente, se realizaron las conclusiones las cuales se constituyeron a partir de las reflexiones en base a los objetivos, el planteamiento del problema, la metodología y los resultados obtenidos del análisis de los TCH.

La revisión de antecedentes permite establecer una base referencial para la investigación, de igual forma, permite reconocer y profundizar sobre aspectos concernientes con los intereses particulares de este documento. A continuación, se expone brevemente algunos de los trabajos e investigaciones relacionadas en base a los dos grandes elementos estructurales del presente trabajo de grado. Primero, las investigaciones y consideraciones sobre los estudios histórico – filosóficos desde visiones educativas y, segundo, la importancia de la enseñanza de la simbiosis desde el estudio particular de las *micorrizas*.

2.1. Estudios Histórico-filosóficos desde una visión educativa: Investigaciones y consideraciones

Los estudios Históricos desde visiones educativas, han logrado instituirse favorablemente en el campo de la Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias, por tal motivo, se mencionan y resaltan varias de las propuestas realizadas bajo este enfoque. Inicialmente, se resaltan los aportes de Álvarez-Lires (2014) quien realiza un primer acercamiento sobre los aportes y dificultades de la Historia y la filosofía de las Ciencias (HFC) en el campo educativo. La revisión de dicho documento y la importancia del mismo para esta tesis, radica en el énfasis que la autora adjudica a la Historia de las Ciencias, como elemento didáctico para la reflexión del conocimiento, la tecnología, la sociedad y los diversos discursos planteados sobre *el hacer* de la ciencia. En ese sentido, el acercamiento a dicho documento permite comprender a groso modo que *el estudio de textos histórico-científicos* originales y la realización de experimentaciones plasmadas en los mismos, puede ser un medio eficaz para introducir y movilizar la Historia de la ciencia y las técnicas en la educación.

Los anteriores aportes sobre los estudios histórico-filosóficos plasmados por Álvarez-Lires (2014) a través de su documento, se consolidaron como una primera base referencial del trabajo investigativo, sin embargo, fue necesario delimitar aún más, la revisión de antecedentes sobre el estudio Histórico-Filosófico de las Ciencias, ya que el campo disciplinar se relaciona particularmente con la biología.

El primero de los antecedentes seleccionados, enmarcado en el estudio histórico-filosófico de la biología, es el documento realizado por Gonzales (2017), quien escribe un capítulo acerca de dos casos históricos que vinculan directamente a Charles Darwin con dos naturalistas del Plata. El primero de esos casos tiene relación un debate científico entre Charles y un científico de la época y, el otro se refiere a la cooperación entre científicos sobre una temática de investigación en particular. A partir de la selección de dichos casos, el autor realiza un análisis metacientífico y sociológico. En ese sentido, la importancia de dicho antecedente de investigación radica en dos elementos concretamente, los cuales son, primero, la realización de un estudio histórico-filosófico en el campo de la biología, ya que los referentes conceptuales en este ámbito son escasos; y, segundo, la utilización de algunas preguntas que sirven de base para el uso de estos casos en la enseñanza de la biología evolutiva; ya que esto permite identificar elementos que pueden ser tenidos en cuenta para la realización de propuestas de enseñanza.

Del mismo modo, es necesario reconocer los aportes de Hernández & Cabrera, (2017), quienes elaboran un documento sobre la importancia de la historia y la filosofía de la ciencia en la Enseñanza de las Ciencias, especificando que a través de los estudios histórico-filosóficos se puede identificar contribuciones valiosas a la Enseñanza de las Ciencias y a la investigación didáctica. En este sentido, la relevancia de dicho trabajo para la presente investigación, se relaciona con el hecho de que al igual que en este documento, los autores realizan el estudio histórico-filosófico de un concepto de la biología (la homeostasis); y, determinan algunos aportes derivados del estudio de su desarrollo histórico. Otro de los elementos de gran relevancia identificados en este antecedente, hace referencia a la formulación de preguntas para guiar el estudio histórico; dicho aspecto metodológico se considera de especial relevancia, para ser retomado en el presente trabajo, ya que permite clarificar, estructurar y ordenar el análisis o el estudio histórico.

2.2. La importancia de la enseñanza de la simbiosis desde el estudio particular de las micorrizas.

En este último apartado, se presentan algunos documentos enfocados el campo de la biología y 5 de su enseñanza; particularmente, aquellos avances e investigaciones que destacan la importancia de la simbiosis y de las micorrizas. Inicialmente se resaltan los aportes de Stock et al., (2010) quienes realizan una recopilación de diferentes experiencias y métodos de enseñanza de la simbiosis; ejemplificados y caracterizados a través de cursos y recursos para la enseñanza asociadas a temáticas como las micorrizas, los líquenes, entre otros. Todo ello expuesto en el marco del Taller de Educación que tuvo lugar en la 6ª Reunión de la Sociedad Internacional de Simbiosis en el año 2009. En concordancia con lo anterior, se especifica que la motivación de la elaboración de este documento se relaciona con el hecho de poder compartir con la comunidad científica y educativa *experiencias de enseñanza simbiótica* y a su vez, promover aún más el desarrollo y la movilización de conceptos de las ciencias en auge como el de la simbiosis.

Del mismo modo, dicho artículo deja en evidencia una problemática latente en la educación, relacionada con el desconocimiento de la simbiosis como un concepto fundamental para la enseñanza de las ciencias, particularmente, de la biología. Por otra parte, los autores respaldan la idea de que integrar la simbiosis en sus enseñanzas sobre nutrición, ecología, evolución, desarrollo, permite a su vez, promover una comprensión sistémica sobre la biología. Finalmente, proponen el uso de recursos de fácil acceso como protocolos, videos y software para la enseñanza de la simbiosis con el objetivo de materializar y representar acertadamente dicho concepto.

Otro de los estudios que fue de gran importancia para la realización de este trabajo es el elaborado por Lucio Llantén, (2016) quien realiza la construcción e implementación de un prototipo experimental (microscopio estereoscópico) para la enseñanza de la simbiosis, sin embargo, realiza específicamente un acercamiento al concepto de líquenes. La importancia de este trabajo para la presente investigación, se relaciona particularmente con identificar los avances en el ámbito nacional acerca de la enseñanza de temáticas emergentes como la de la simbiosis. Del mismo modo, permite reconocer avances en el campo de la enseñanza de la biología a partir del uso de experimentaciones sobre la simbiosis que favorecen el aprendizaje de contenidos de tipo conceptual y procedimental.

En ese orden de ideas, el siguiente antecedente referenciado fue seleccionado debido a que presenta una propuesta educativa para la enseñanza de las relaciones simbióticas, a partir de la investigación guiada. Los autores Suwa y Williamson (2014); innovan en el campo de la enseñanza de la biología, a partir de la enseñanza de las simbiosis, entendida como una gran idea de la biología. Del mismo modo, realizan un experimento de aula piloto que permite probar una variedad de hipótesis ecológicas y evolutivas interesantes relacionadas con la simbiosis. La revisión de este documento, más allá de ejemplificar propuestas y estrategias de enseñanza de la simbiosis, permite vislumbrar los avances realizados en cuanto a la movilización de conceptos como el de la simbiosis y, a su vez, como el de la micorriza en la enseñanza, identificando de esta manera, cuales son los aspectos que deben ser potencializados en este campo y cuáles son las dificultades que requieren ser trabajadas. 6

En ese sentido, uno de los textos que permite identificar las dificultades referentes a la Enseñanza de las Ciencias, es el elaborado por Zapata Villamil (2014), quien realiza una investigación sobre los modelos explicativos y los obstáculos frente a la enseñanza- aprendizaje del concepto de bacteria y las diferentes relaciones inter e intraespecíficas relacionadas con estas. La relevancia de dicha investigación para la realización de este trabajo, radica esencialmente en el tipo de dificultades encontradas respecto a la concepción de la simbiosis, ya que la autora menciona que los estudiantes no hablan propiamente de relaciones de simbiosis, y que a pesar de que los estudiantes emplean el término en sus explicaciones, no son conscientes de su significado y relevancia. De esta manera, este documento se consolida como un soporte base para la realización de este trabajo, ya que da luz de las dificultades de enseñanza relacionadas con la simbiosis.

Finalmente, el último de los documentos que se consolida como una base referencial de gran importancia para la investigación, es el realizado por Suárez, (2006) sobre las diferentes interacciones entre las poblaciones y su vocabulario científico; nuevamente, la importancia de la selección de este documento radica en el hecho de que a lo largo de esa investigación se indaga acerca del tipo de concepciones e interpretaciones que tienen los estudiantes sobre la simbiosis, a través del cual se identifica la falta de conocimiento acerca del mismo.

En términos generales, la retroalimentación realizada a partir de la búsqueda de antecedentes sobre la importancia de la enseñanza de las micorrizas, permite identificar que además de que este concepto es una temática emergente y con grandes posibilidades de exploración, es, del mismo modo, un concepto olvidado y que presenta dificultades de enseñanza que se espera puedan ser afrontadas a partir de la realización de los estudios histórico-filosóficos.

Para comprender las razones por las cuales se elabora este trabajo de grado, es necesario profundizar sobre los elementos que lo constituyen y estructuran. Estos son: I. Importancia de la enseñanza de las micorrizas. II. Los estudios Histórico-Filosóficos de las Ciencias desde visiones educativas.

En la Enseñanza de las Ciencias, se destaca algunas líneas de investigación tales como la relación entre la teoría y la práctica de las ciencias experimentales, el desarrollo curricular, los contextos culturales y la educación ambiental, que pretenden dar respuesta a cuestiones referentes al qué, cómo y para qué enseñar, aprender y evaluar las ciencias; todo ello, con la finalidad de plantear soluciones a las mismas (Zambrano, Salazar, Candela, & Villa, 2013). Particularmente, en la enseñanza de la biología se identifica que el conocimiento científico carece de significado y es presentado como una colección de hechos, principios, leyes y reglas frente a las cuales no hay lugar para la comprensión sino simplemente para la memorización; en relación a la formación inicial de educadores en ciencias, se ha identificado que poseen conocimiento limitado y contradictorio sobre los modelos pedagógicos y su aplicación en el aula, además, su inadecuada apropiación del conocimiento disciplinar refuerza la fragmentación de las ideas en los estudiantes (Fernández, Bertran, Ibarra, & Pacheco, 2009; Núñez, Pereira, Maturano, & Mazzitelli, 2007; Tacca Huamán, 2010).

Las dificultades de la enseñanza de la biología anteriormente mencionadas, repercuten profusamente en el tipo de conceptos, teorías y modelos científicos que se movilizan en las aulas de clase, es decir, el conocimiento científico que se enseña es preestablecido, conduciendo a los docentes a la replicación desmesurada de conceptos carentes de significado. Lo anterior implica que se olviden o ignoren conceptos científicos de gran interés, induciendo a visiones o imágenes de ciencia sesgadas. Uno de estos conceptos que han quedado subyugados en los depósitos del pasado de la enseñanza de la ciencia, hace referencia a uno de los ejes estructurales del presente trabajo de grado: las micorrizas.

Las micorrizas, hacen referencia a un caso particular de la *simbiosis*; reconocido por su importancia en la nutrición de árboles como mezquites, arce y roble, entre muchos otros, que no

podrían sobrevivir sino tuvieran entretejidos en sus raíces cientos de simbioses, que les permiten obtener nutrientes del suelo. Dicho concepto, se caracteriza por su naturaleza divergente e integradora, ya que el estudio de las micorrizas como organismos simbioses, se realiza a través de los visores de la microbiología, la ecología, la botánica y la fisiología vegetal, lo cual permite que exista una diversificación en cuanto a la producción de conocimiento sobre el mismo (Bradford & Schwab, 2012; Ezcurra, 2003; Margulis, 2002; Stock et al., 2010).

Aunque este concepto es de gran relevancia para la comprensión del mundo biológico, se le ha prestado poca atención en los libros de texto de ciencias escolares, así como en los libros de texto de biología y ecología de la universidad. Igualmente, se evidencia que la mayoría de los estudiantes desconocen el significado del concepto, al igual que la importancia del mismo para las diversas relaciones sistémicas. A pesar de instaurarse como indispensable para el funcionamiento del mundo biológico, bien sea en términos macroscópicos o microscópicos, la simbiosis, o incluso, su particular, las micorrizas, es ignorado ante los ojos de científicos, educadores y estudiantes; convirtiéndose en un concepto adyacente a otros que carece de un sentido real y trascendental (Cherif, 1990; Suárez, 2006; Zapata Villamil, 2014).

Cuando se olvida un concepto tan relevante en las aulas de clases, en los libros de texto, e incluso, en la ciencia misma, se desconoce de igual forma, su fundamentación científica, la actividad experimental que lo subyace, los diferentes contextos y tiempos que incentivaron la investigación sobre el concepto, los avances que produjeron dichas investigaciones, la divergencia de ideas y los innumerables debates científicos que emergieron a causa del mismo. La enseñanza de la biología olvidó un contenido fundamental en las ciencias, pero a través de la función complementaria de la Historia y Filosofía de las Ciencias se espera que pueda ser recuperado y realizado (Chang, 2016).

En concordancia con lo anterior, se hace necesario realizar aportes significativos a la enseñanza de las micorrizas, con el objetivo de evitar sesgos conceptuales, que puedan llegar a inducir ideas inadecuadas sobre la actividad científica. En ese sentido, cabe resaltar la importancia del segundo elemento estructurador seleccionado, es decir, el estudio histórico-filosófico relevante debido a que aporta sustancialmente a aspectos relacionados con: I. La disciplina científica

específica, bien sea química, física o biología; II. A las reflexiones mismas sobre la Historia y 10 la Filosofía de las Ciencias y, III. Al ámbito pedagógico y didáctico. Este tipo de análisis, que tiene como objeto de estudio las producciones científicas teórico-experimentales, se propone como un puente para acercar la actividad científica, su contexto, tiempo de producción y demás aspectos relevantes a los entornos educativos; promoviendo así, la imagen de ciencia como una actividad sociocultural (Ayala, 2006; Cabrera-Castillo & Quintanilla, 2014; E. G. García, 2014).

La realización de estudios histórico-filosóficos ha permeado las diferentes áreas de conocimiento. Los análisis se han orientado en la mecánica de los fluidos, la teoría de la electroquímica, la combustión, el fenómeno eléctrico, la tabla periódica, de tal manera, que los aportes materializados por esta línea de investigación han sido amplios (Brito, Rodríguez, & Niaz, 2005; Cabrera-Castillo & Quintanilla, 2014; Cabrera, 2012; Camacho, 2011; E. G. García, 2009, 2014). No obstante, para el caso particular de este trabajo de grado, el estudio histórico-filosófico se centrará en el concepto de las micorrizas. Es necesario destacar que actualmente, no se encuentra literatura referente a los estudios histórico-filosóficos sobre las micorrizas; posiblemente debido a la falta de interés sobre este concepto o al reconocimiento del mismo como un eje integrador de la biología.

En los párrafos anteriores se problematizó y justificó acerca de los ejes estructuradores que constituyen este trabajo de grado, haciendo hincapié en la relevancia de su estudio. Así pues, se resalta nuevamente la importancia de los estudios histórico-filosóficos desde visiones educativas debido a su carácter transformador de la imagen de la actividad científica y sus distintos contextos de producción; y las micorrizas y su enseñanza; debido a su naturaleza dinámica y diversificada en la biología. Estos dos ejes, integrados, representan el desarrollo de una investigación sobre la actividad científica, su naturaleza y su enseñanza. En concordancia con lo anterior, se plantea la siguiente pregunta problema, con el fin de orientar la investigación:

¿De qué manera contribuye el estudio histórico-filosófico de las micorrizas a su enseñanza?

4.1. General

Contribuir a la enseñanza del concepto *micorriza* a través del estudio histórico-filosófico de textos científico históricos.

4.2. Específicos

1. Recopilar TCH publicados por Albert B. Frank que incluyan el concepto micorrizas.
2. Analizar los TCH recopilados que incluyen el concepto micorrizas.
3. Proponer elementos para la enseñanza de las micorrizas derivados del estudio histórico-filosófico de los TCH.

5.1. Perspectivas, aportes y relación de la historia de la ciencia y filosofía de la ciencia

A continuación, se esboza brevemente acerca de algunas perspectivas de la Historia de la Ciencia (HC); igualmente, se abordarán las referenciadas sobre la Filosofía de las Ciencias (FC) y, finalmente, se expondrán argumentos que relacionan la HC y la FC.

El interés de los historiadores por exaltar sucesos y personajes científicos de diferentes épocas, permitió que a mediados del siglo XX la HC se consolidara como una disciplina autónoma constituida de diversas perspectivas de análisis de la actividad científica denominadas historiografía diacrónica y anacrónica. La *historiografía anacrónica*, es aquella que estudia la ciencia del pasado en función de la actualidad; denominada también *presentista*, este tipo de historiografía, puede conllevar a la construcción de una visión distorsionada de la historia de la ciencia. Su contraria, la *historiografía diacrónica* estudia los acontecimientos del pasado, teniendo en cuenta su contexto social de producción, es decir, el historiador no será un observador sino que deberá analizar el pasado como si estuviera en él (Kragh, 1989; Lombardi, 1997).

Algunas otras perspectivas hacen referencia a la denominada historia recurrente y a la historia sancionada. En cuanto a la *historia recurrente*, es posible afirmar que es aquella que se ilumina a partir del presente, es decir, una historia con criterios de evaluación fundamentados en la ciencia actual; implicando que sea reescrita y reestructurada continuamente. Dicha perspectiva de la historia, se relaciona profusamente con la denominada historia sancionada, la cual se refiere a los pensamientos, conocimientos y modelos científicos que siguen siendo vigentes o que podrían llegar a considerarse de esta manera si son sometidos a evaluaciones a partir de la ciencia actual (Lombardi, 1997).

Finalmente, es posible destacar dos perspectivas defendidas por Lakatos, (1982) aluden a la historia interna y a la historia externa de la ciencia; la primera de ellas, es decir, *la historia*

interna, hace referencia a la reconstrucción racional; una historia primaria y autónoma que da 13 explicación a los diferentes procesos de sustitución de teorías. Por su parte, a la *historia externa*, a diferencia de la anterior, se le adjudica un papel secundario y carente de autonomía y hace alusión a la caracterización del contexto social, político y económico, influyente en la producción de conocimiento científico; de esta manera, la historia externa se hace dependiente de la historia interna.

En el caso de las perspectivas sobre FC, se debe destacar el *falsacionismo* de Karl Popper, este autor sugiere que las teorías son conjeturas o suposiciones provisionales que intentan explicar los fenómenos del mundo; también, expone que deben ser comprobadas rigurosamente y, dependiendo de la evaluación a la cual son sometidas se determina si prevalecen o no. Otra de las perspectivas que es necesario resaltar es el *anarquismo epistemológico* de Feyerabend, quien sugiere que no existe un único método científico y que la ciencia no posee ninguna característica que la haga superior a otras formas de conocimiento; en ese sentido, este autor realiza fuertes críticas frente a las concepciones de que la ciencia se conduzca según reglas universales y ahistóricas que propenden el dogmatismo (Chalmers, 2000).

Por su parte, Bachelard (2000) hace alusión a la ciencia progresista a través de los *obstáculos epistemológicos*, dichos obstáculos son entendidos como limitaciones, confusiones e impedimentos que entorpecen los procesos de construcción de conocimiento. Otra de las perspectivas sobre la filosofía de la ciencia, es presentada por Toulmin (1977) quien sustenta que las ideas científicas están en desarrollo y cambian continuamente por *evolución selectiva*; también, propone el concepto de ecología intelectual y a partir de él, explica la construcción del conocimiento científico.

Ahora bien, algunos investigadores que han sido denominados filósofos historicistas de la ciencia, han vislumbrado la relación intrínseca entre Historia de la Ciencia y Filosofía de la Ciencia (HFC), realizando aportes significativos en este campo. Un primer aporte, es realizado por Kuhn, quien a través de los *paradigmas* y las revoluciones científicas caracteriza la ciencia como un proceso contrariado y sujeto a continuas evaluaciones; de esta manera, Kuhn explica

que las revoluciones científicas promueven la creación y establecimiento de nuevos paradigmas científicos y la relegan u olvidan los antiguos (Cabrera, 2010).

14

Otra perspectiva basada en la historia y la filosofía de la ciencia es la de Lakatos, hace uso de algunos fundamentos popperianos y avanza hacia los denominados *programas de investigación*; constituidos por el núcleo central y el cinturón protector junto con sus hipótesis auxiliares. El núcleo central, hace referencia los principios fundamentales del programa de investigación, es decir algunas hipótesis generales que tienen funciones orientadoras. El cinturón protector se constituye a partir de hipótesis adicionales que complementan y protegen de falsaciones el núcleo central; todo ello basado en heurísticas positivas y negativas (Chalmers, 2000).

En los últimos años, se resaltan los aportes de Hasok Chang, quien caracteriza la relación entre la HC y la FC a través de la denominada *función complementaria* de la HFC; dada la relevancia de los postulados de Chang para este trabajo de grado, se profundizará algunos elementos de su postura en el siguiente apartado.

5.1.1. La función complementaria de la historia y filosofía de la ciencia

La función complementaria de la HFC, es la perspectiva presentada y defendida por Chang (2016), y consiste en generar y mejorar el conocimiento de la ciencia, en donde la ciencia misma no logra hacerlo. De esta manera, se rescatan ideas científicas que han quedado en el pasado y que son de gran utilidad en la actualidad. Así mismo, permite explorar sistemas conceptuales y líneas de investigación experimentales alternas para contribuir a la actividad científica futura. Desde esta perspectiva, tanto la historia como la Filosofía de las Ciencias se complementan y entrelazan íntegramente, contribuyendo al cuerpo de conocimiento científico e impidiendo que exista yuxtaposición entre los aportes de estas disciplinas (Boido & Lombardi, 2012).

En un sentido más estricto, Chang (2004, 2016) postuló que hay tres maneras de alcanzar la función complementaria de la HFC. Tal como se observa en la Figura 1, estas hacen referencia a la conciencia crítica, la recuperación y la extensión; dichos elementos completamente articulados, permiten realizar aportes significativos a la ciencia y a la enseñanza de la misma.

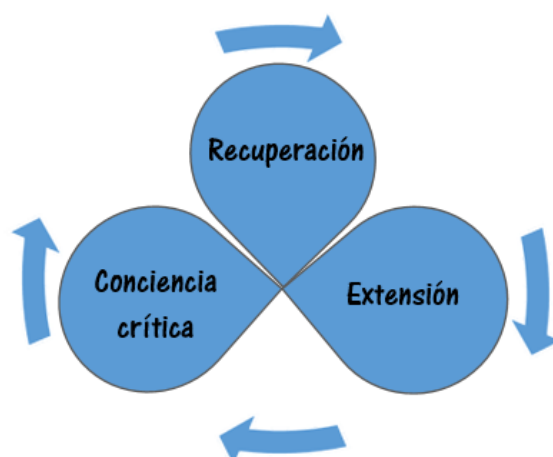


Figure 1. Función complementaria de la Historia y Filosofía de las Ciencias. Fuente: elaboración propia.

En concordancia con lo anterior, se puede definir la *conciencia crítica*, como aquel proceso que hace referencia a la ampliación de las estructuras conceptuales a través del análisis del pasado científico y cómo ello, puede incidir favorablemente en la comprensión de la ciencia actual. De esta manera, se promueve la realización de reflexiones sobre la actividad científica y sus distintos métodos desde una visión amplia que responda significativamente a los modelos actuales, sin desvirtuar los antiguos. En ese sentido, la conciencia crítica permite avanzar hacia la construcción de nuevas interpretaciones de la ciencia y profundizar sobre horizontes conceptuales nuevos y diversos.

Por otra parte, se destaca la *recuperación*, como su nombre lo dice, consiste en extraer y destacar elementos de la actividad científica que quedaron relegados u olvidados en los depósitos de la ciencia del pasado; de manera específica, se pueden recuperar conceptos, teorías, modelos, actividades experimentales e imágenes, que puedan llegar a considerarse científica, social y educativamente valiosos. Este proceso de recordación y recuperación de conocimientos científicos olvidados, además de consolidarse como un elemento promotor de la curiosidad, desenlaza en un proceso de análisis, reflexión y cuestionamiento del conocimiento científico con índices altamente productivos.

Finalmente, cabe resaltar el papel de la *extensión*, cuyo significado hace referencia a la prolongación de aquellos conocimientos recuperados, en otras palabras, darle vida útil, llenar de sentido y significado las teorías o experimentos que han sido extraídos del olvido de la ciencia y que son potencialmente significativos en la actualidad. 16

En ese sentido, reconocer y utilizar los tres elementos constituyentes de la función complementaria de la HFC, facilita el acercamiento consciente a la actividad científica y a su contexto de producción. Una manera de llevar a cabo la función complementaria de la HFC es por medio de los estudios histórico-filosóficos de TCH, cuya ventaja reside principalmente en realizar análisis de documentos primarios y recuperar información y experimentación científica de primera mano.

5.1.2. Uso de textos científicos históricos como fuente de información

Los textos científicos históricos (TCH), son fuente primaria de información y de referencia conceptual tales como libros, artículos, comunicaciones, cartas elaboradas por la comunidad científica, entre otros (Muñoz, Valencia, & Cabrera-Castillo, 2017). El estudio de los TCH evita las interpretaciones inadecuadas sobre el conocimiento científico y, en general, la actividad científica; impidiendo que se repliquen contenidos descontextualizados y equívocos. Según Granés & Caicedo (1997), el estudio de los TCH tiene cuatro ventajas o aportes esenciales que requieren ser resaltados:

- En primer lugar, permite reconocer que los conocimientos que en muchos casos se presentan de manera acabada, en realidad, tuvieron un proceso de construcción continuo y constante; enfatizando en que los aportes al cuerpo del conocimiento científico nunca se agotan y deben ser evaluados constantemente.
- En segundo lugar, la *aproximación contextualizada de los textos originales, -esto es, estudiar los TCH desde su contexto cultural y científico-* permite tener una visión globalizadora de las diferentes situaciones contextuales que motivaron la elaboración del conocimiento en particular.
- En tercer lugar, este recurso histórico-filosófico potencializa la enseñanza-aprendizaje de

las disciplinas científicas, permitiendo aclarar dudas conceptuales sobre fundamentaciones teóricas y principios básicos de la ciencia misma.

- Finalmente, el uso de los TCH permite la elaboración de estructuras mentales sobre la significancia de los conceptos y sus relaciones con el lenguaje, la argumentación y la coherencia en la formulación y resolución de problemas.

De esta manera, el uso de los TCH en la educación en ciencias se convierte en un recurso formativo que clarifica los diferentes procesos llevados a cabo durante la actividad científica, a partir de una serie de reflexiones históricas y filosóficas; que impiden la replicación de conocimientos simplistas sobre la actividad científica y sus diferentes constituyentes. Es decir, la utilización de los TCH trasciende favorablemente en los espacios de formación y se instaura como un recurso pedagógico que facilita la reflexión y la apropiación del conocimiento; logrando movilizar nuevas formas de comprensión del mundo científico.

5.1.3. Contribuciones de los estudios Histórico-Filosóficos de las Ciencias a la Enseñanza de las Ciencias

Las investigaciones sobre la HFEC, han contribuido en la elaboración de reflexiones sobre la actividad científica que promueven la comprensión de la naturaleza de las ciencias e incitan la valuación de la actividad científica como un proceso controversial y sociocultural (Rebollo, 1996; Vallverdú, 2005). De esta manera, la HFEC permite cuestionar imágenes de ciencia simplificadas transmitidas deliberadamente en las aulas de clase e incentiva la reevaluación de conceptos como la *verdad* y la *validez* que inmoderadamente se le han adjudicado a la actividad científica.

Otra de las contribuciones de la HFEC, se relaciona con brindar elementos y orientaciones que permitan enriquecer la formación docente (Álvarez-Lires, 2014). Dichos aportes tienen el objetivo de disminuir en los docentes en formación inicial, las posibles concepciones obsoletas y anacrónicas sobre la ciencia, que pueden llegar a consolidarse como obstáculos que entorpecen la Enseñanza de las Ciencias. En ese sentido, este tipo de aportes sugeridos desde la HFEC,

promueven en docentes y estudiantes las reflexiones sobre la actividad científica y derrocan las prácticas tradicionales de enseñanza. 18

De igual modo, los estudios histórico-filosóficos han permeado las practicas experimentales educativas, al respecto, Chang, (2011) realizó reflexiones sobre la utilidad de los *experimentos históricos complementarios* en la Enseñanza en Ciencias. La recuperación y utilización de técnicas e instrumentos históricos olvidados por la ciencia actual en donde no hay explicaciones preestablecidas, inducen al estudiante a desarrollar habilidades argumentativas, fortalecer el pensamiento crítico y cultivar la curiosidad, duda e imaginación científica. Igualmente, desde esta función complementaria de la HFC se promueve en las aulas de clase el aprendizaje sobre la naturaleza de la investigación científica y se suscita al análisis de posibles limitaciones de las técnicas empleadas por la ciencia moderna (Cabrera, 2016; Cavicchi, 2015; Lewowicz, 2010; Tolvanen, Jansson, Vesterinen, & Aksela, 2014).

Así mismo, otros de los aportes de los estudios histórico-filosóficos se relacionan con la elaboración de unidades didácticas. Por ejemplo, en trabajos como los de Camacho (2011), se resalta que por medio de las reflexiones sobre la HFC se promueven y desarrollan la explicación a fenómenos y conceptos científicos en los estudiantes, dicha competencia es imprescindible para el aprendizaje de las ciencias. En otros trabajos como los recopilados por Quintanilla, Merino, & Rosales (2010); se exploran las potencialidades de la realización de estudios históricos en la química para el desarrollo de competencias de pensamiento científico en los estudiantes; dichas competencias pueden ser de tipo cognitivo lingüístico como argumentar, explicar o justificar; o de tipo procedimental y actitudinal.

Por otra parte, se destaca que la elaboración de estudios histórico-filosóficos contribuye al reconocimiento y diversidad de género en la actividad científica; al respecto Solsona (2014) mencionó que estas reflexiones sobre la HFC contribuyen a que los estudiantes, se familiaricen con una visión más real de la tradición científica en la cual es importante tener en cuenta los esfuerzos y contribuciones que han hecho tanto las mujeres como los hombres.

Finalmente, es válido resaltar los aportes de la HFEC, relacionados con impactar directamente 19 sobre los contenidos conceptuales movilizados en los espacios educativos, esto es, aportar directamente a las disciplinas científicas (biología, química o física). Por ejemplo, en el campo de la enseñanza en física, García (2014) argumenta que los estudios histórico-filosóficos permiten mirar con nuevos ojos los problemas antiguos del conocimiento, promoviendo diálogos de sentido y valor con el científico; destacando hechos y problemáticas del pasado que potencializan el aprendizaje de los fenómenos físicos e indirectamente, se consolidan como propuestas de enseñanza alternas.

En pocas palabras, la HFEC contribuye a la reflexión y análisis de las teorías, modelos, experimentos y sucesos históricos (Frechina Andreu, 1996). En el caso particular de este trabajo de grado, se pretende realizar un estudio histórico – filosófico sobre un concepto extraído directamente desde la biología: la micorriza, un caso particular de la simbiosis.

5.2. Un acercamiento a la micorriza: caso particular de la simbiosis

Interpretaciones y conceptualizaciones del término “Micorriza”

La construcción de conocimiento científico respecto al concepto “micorriza” fue consolidado gracias a los aportes colectivos de diferentes científicos pertenecientes a distintas épocas, quienes, por medio de sus observaciones, hipótesis, experimentos, resultados, métodos y demás elementos constituyentes de la actividad científica, conceptualizaron a través del tiempo, este término de gran significancia biológica. De esta manera, la multiplicidad de metodologías empleadas, la experimentación desarrollada en diferentes épocas, la formulación de teorías e incluso la diversidad de científicos y científicas que han realizado aportes sobre este concepto ha sido muy amplio, por ejemplo, Vittadini (1800-1865), Tulasne (1815-1885) y Tulasne (1816-1884), Hartig (1839-1901), Boudier (1824-1920), Gibelli (1831-1898) y Albert Berhhard Frank (1839-1900) (Andrade-Torres, 2010).

En ese orden de ideas, surgen cuestionamientos tales como: ¿de qué manera contribuyó cada uno de estos científicos en la conceptualización de las micorrizas? ¿Cuáles fueron los métodos o estrategias empleadas durante su actividad científica? ¿Existían diferencias significativas entre

los pensamientos de dichos científicos? ¿Cuáles fueron las motivaciones e intereses que promovieron dicha actividad científica? Estas y otras preguntas, tienen funciones direccionales que permiten acercarse consciente y significativamente a la actividad científica, su producción teórico-experimental, su contexto e historia. 20

De esta manera, es posible destacar los aportes de Vittadini, un médico italiano, que en 1831 realizó una publicación en la cual expone la existencia de asociaciones entre algunas especies de trufas y ciertas especies de *encinos*¹ (*Quercus* sp.) y otras plantas vasculares (Andrade-Torres, 2010; García & López, 2002). Pese a que este científico no caracterizo específicamente el tipo de relación que desarrollaban estos organismos, su contribución fue altamente significativa debido a que, hacer énfasis meramente en la existencia de relaciones o asociaciones entre algunas especies de hongo y la raíz de ciertos árboles, propendía una nueva forma de comprender la biología. Ahora bien, profundizar acerca de los métodos y las motivaciones de este científico, permiten explicitar que los intereses de Vittadini por estudiar las trufas, fueron en gran medida potenciados por la importancia económica y gastronómica de dichos hongos; y los métodos de investigación empleados por Vittadini, estuvieron enfocados en la realización de observaciones cuidadosas y la descripción detallada de las mismas; permitiéndole obtener resultados con gran especificidad.

Los aportes o contribuciones realizadas por Vittadini, incentivaron los estudios sobre este tipo de relaciones, permitiendo que en 1840 el naturalista alemán Hartig, estudiará e ilustrará claramente lo que hoy conocemos como una ectomicorriza. La significancia de los aportes de este científico, pueden materializarse en el hecho de que gracias a sus observaciones, representaciones e ilustraciones se caracterizó la denominada *red de Hartig*² (Andrade-Torres, 2010; García & López, 2002). Hasta este momento, es posible apreciar que la diferencia de visiones o perspectivas sobre un mismo fenómeno, permitió que existiera un desarrollo plural respecto a las micorrizas; es decir, Vittadini, observo aspectos generales que le permitieron identificar la

¹ Familia del género *Quercus* sp en donde se reúnen los robles; ubicados usualmente en climas neotropicales (Galindo, 2013).

² Una red de hifas de hongos que se extiende por toda la raíz de la planta; propia de ectomicorrizas.

existencia de una relación propia entre dos organismos; mientras que Hartig, gracias a su especificidad, logro caracterizar una estructura morfológica de gran relevancia ante la comprensión del sistema de nutrición entre las micorrizas y la raíz de los hongos. Dos maneras de acercarse a un mismo fenómeno, dos visiones diferentes llevadas a cabo en periodos distintos, pero que aportan significativa y colectivamente a un mismo campo de conocimiento.

Por otra parte, es válido resaltar los aportes de Tulasne y Tulasne, quienes, en 1841, describieron cómo las hifas o filamentos tubulares estructurales del hongo *Elaphomyces*³ y algunas de sus estructuras reproductoras, se asociaban a pequeñas raicillas de ciertos árboles, envolviéndolas por completo. Sin embargo, todas estas observaciones fueron interpretadas como una asociación negativa, un tipo de parasitismo impulsado por el hongo, que afectaba a la raíz pues aún no se tenía idea alguna del proceso ni su función (Andrade-Torres, 2010; J. García & López, 2002; Koide & Mosse, 2004). Posteriormente, se reportaron estudios como los del micólogo francés Boudier quien en 1876 describió con extremo detalle infecciones de raíces causadas por *Elaphomyces* a ciertas plantas, aportando una primera evidencia de la conexión anatómica entre estos dos organismos. Además del estudio con los *Elaphomyces*, Boudier realiza un acercamiento a los hongos *Cenococcum geophilum*, aportando más evidencia científica que corroborarla existencia de interacciones entre hongos y raíces (Andrade-Torres, 2010; Trappe, 2005). Tan solo cuatro años después de estos aportes, en Alemania el botánico Reese, realiza un informe detallado de las conexiones u asociaciones entre *Elaphomyces granulatus* y *Pinus Sylvestris* (Trappe, 1971).

Otro de los estudios concretos y específicos sobre estas organismos y sus relaciones fue realizado por Gibelli en el año 1882, este botánico italiano describió e ilustro las micorrizas y la estructura de manto fúngico de ciertas especies de *Elaphomyces* (Andrade-Torres, 2010; Trappe, 2005). De esta manera, se confirma que desde ese tiempo se llevó a cabo las primeras observaciones de las estructuras micorrícicas y, aunque aún no se acuñaba el famoso término, se empezó a formar una idea de la naturaleza de dicha asociación simbiótica. Gibelli se destacó de sus predecesores, por

³ Primera especie de hongo reportada como inductora de cambios en la morfología de las raíces de los árboles (Trappe, 2005)

ilustrar finamente cada una de las estructuras de los hongos implicadas en la asociación, junto 22 con descripciones que clarificaron y apoyaron firmemente sus observaciones.

Poco tiempo después de que Gibelli presentara sus hallazgos, el botánico alemán Albert Bernhard Frank en 1885, a través de su artículo “*Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze*”⁴ describió e ilustro la estructura y el funcionamiento de la asociación hongo-raíz y la caracterizó como un caso particular de la simbiosis; acuñando así el termino micorriza. En ese sentido, Frank es considerado pionero no solo en la utilización del término, sino en determinar la naturaleza mutualista de una relación que durante muchos años pasó desapercibida. De tal manera, que, en la realización de este trabajo de grado, se enfatizará en los aportes y perspectivas elaboradas por A.B. Frank en base a su estudio de las micorrizas.

5.2.1. Perspectiva y aportes de Albert Bernhard Frank

Los intereses del profesor y botánico alemán Albert Bernhard Frank (figura 2) nunca estuvieron enfocados hacia el estudio de las relaciones entre los hongos y las plantas; fue el contexto social, económico y científico en el cual estaba inmerso este científico, el motivo principal que lo impulso indirectamente al estudio de estas asociaciones y a la posterior caracterización de las mismas.

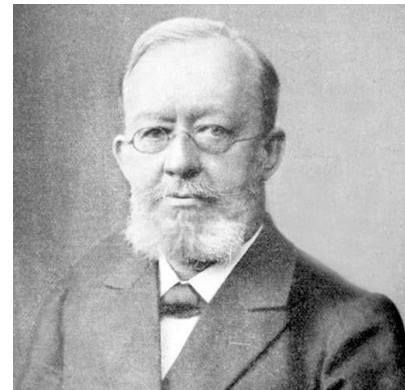


Figure 2. Albert Bernhard Frank, 1839–1900.

En concordancia con lo anterior, en el año 1880 el gobierno de Prusia estaba interesado en el cultivo de trufas, las cuales eran consideradas un alimento de gran demanda en toda Europa. Por ello, el Departamento de Agricultura y Silvicultura de dicho país, encargó a Frank realizar estudios científicos sobre la

⁴ Traducción (Esp): Sobre la dependencia nutricional de ciertos árboles en simbiosis radicular con hongos subterráneos.

aparición y el desarrollo de estos hongos; con el objetivo de determinar aspectos de gran relevancia que mejoraran la producción y calidad de las trufas (Andrade-Torres, 2010; Frank, 2005; Koide & Mosse, 2004; Trappe, 2005). En ese entonces, la idea más común sobre la nutrición de los hongos, sugería que estas trufas crecerían en ambientes abundantes de materia orgánica en descomposición, sin embargo, el panorama encontrado por Frank fue totalmente diferente, notó que las trufas crecían casi exclusivamente alrededor de las raíces de árboles vivos. Un hecho aún más curioso, era que tanto los árboles como las trufas se encontraban en perfecto estado, lo que condujo a Frank a cuestionarse sobre el tipo de relación existente entre ambos organismos y de esta manera, inició un estudio que, sin saberlo, cambiaría drásticamente la forma de entender el mundo biológico.

De esta manera, Frank realizó estudios morfológicos de las raicillas de especies arbóreas como el roble, haya, caracolas y avellanos; de igual manera, estudio detalladamente las estructuras fúngicas de las trufas. El gran acierto de este científico, fue tener en cuenta los avances y estudios realizados previamente por sus colegas botánicos, específicamente, las observaciones sobre trufas y pinos realizadas por Reess; quien logró identificar una extraña relación entre los micelios y las raíces de cada uno de estos organismos. Gracias a sus observaciones, estudios morfológicos y análisis ecológicos, Frank caracterizó la relación observada por Vittadini, los hermanos Tulasne, Hartig, Boudier y Gibelli, como una relación simbiótica y no parasitaria. Lo anterior le permitió a Frank acuñar el término micorriza; una palabra de origen griego que hace referencia al hongo (mycos) y las raíces (rhizos) (Ryan, 2015; Trappe, 2005).

A.B. Frank además de ser pionero en la utilización de este concepto para definir y caracterizar dicha relación simbiótica; se destacó de sus contemporáneos por llevar a cabo un estudio morfológico extremadamente detallado y preciso, acompañando de ilustraciones de micorrizas que incluso hasta hoy, aproximadamente 130 años después, siguen siendo insuperables (Trappe, 2005). Frank fue el primero en detallar las etapas de desarrollo de las ectomicorrizas y a pesar de que en la actualidad se ha profundizado mucho más en este campo, fue este científico el que desarrolló los pilares y sentó las bases de estos estudios biológicos.

La evidencia experimental a lo largo de los años apoyó la perspectiva simbiótica de las micorrizas desarrollada por Frank, diversos científicos por medio de sus experimentaciones comprobaron las ideas de Frank, casi 65 años después de que este realizara sus estudios.

5.2.2. Conceptualización sobre las Micorrizas

25

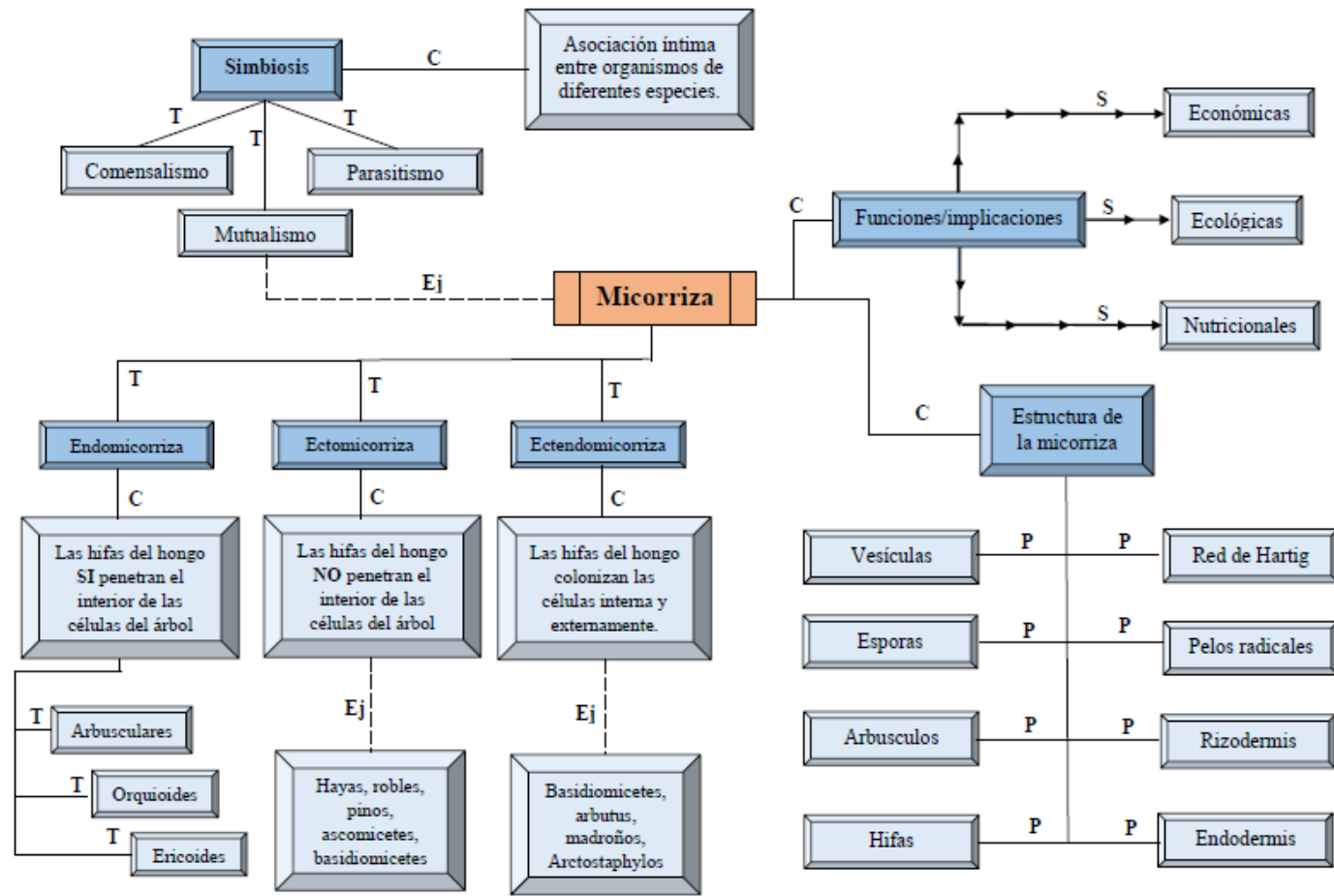


Figure 3. Mapa del conocimiento sobre las micorrizas; donde P es parte, C es característica, S es conlleva y T es tipo. Fuente: elaboración propia.

Tal como se observa en la Figura 3, Uno de los principales aspectos que deben ser estudiados sobre las micorrizas, hace referencia a que estas, son un ejemplo o un caso particular de una simbiosis mutualista entre hongos y raíces de diversos tipos de plantas. La característica de dicha asociación consiste principalmente en que ambos organismos participantes resultan favorecidos; por una parte, la planta obtiene incremento en la disponibilidad y captación de nutrientes (tales como P, Cu, K, Fe), debido a que el micelio del hongo permite aumentar el volumen del suelo explotable; así mismo, el hongo, recibe hidratos de carbono derivados de los procesos fotosintéticos de la planta. De esta manera, dicha asociación simbiótica, tiene implicaciones directas en la nutrición tanto de los hongos como de las plantas, logrando potencializar estos procesos, en donde los organismos implicados obtienen mayores beneficios, con menor esfuerzo y en poco tiempo (Campbell, 2001; Redes microbianas, 2011).

Por otra parte, es posible resaltar las implicaciones ecológicas de las micorrizas, las cuales se relacionan con el hecho de que, gracias a las estructuras simbióticas, se pueden llegar a controlar plagas que afecten a las plantas o, pueden potencializar procesos de reforestación en zonas áridas, gracias a que las micorrizas, tienen mayor capacidad de absorción de nutrientes y aumentan la resistencia y la adaptación en suelos erosionados o desérticos (Franco Navarro, 2008).

En cuanto a las funciones económicas de las micorrizas, se evidencia que dichas asociaciones tienen ventajas positivas en la agroindustria, ya que gracias a la facilidad que presentan para la absorción de nutrientes, estas, pueden ser utilizadas como biofertilizantes, aumentando la producción de frutos y otros materiales derivados de algunas especies arbóreas (Campbell, 2001).

Hasta el momento, se reconocen tres tipos de micorrizas: ectomicorrizas, endomicorrizas y ectendomicorrizas. Las primeras, es decir las ectomicorrizas, o micorrizas ectotróficas, son aquellas que forman un manto alrededor de la raíz de la planta, es decir, las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, sino que las rodean, formando así una red de hifas intercelulares (red de Hartig). Algunos de los árboles participantes en dicha asociación son los pertenecientes a familias como fagáceas, pináceas y salíceas; mientras que los hongos

responsables pueden ser ascomicetos, basidiomicetos o zigomicetos (Redes microbianas, 2011; Trappe & Fogel, 1977).

27

El segundo tipo de micorrizas, son las endomicorrizas, o micorrizas endotróficas, en este grupo se incluyen las formas micorrícicas que, si penetran el interior de las células, es decir, no forman un manto fúngico ni red de Hartig en la raíz. Dentro de este grupo, se distinguen las Micorrizas vesículo-arbusculares (MVA), reconocidas porque forman estructuras especializadas denominadas arbusculos, los cuales permiten la transferencia de nutrientes; en las estructuras de las MVA, también es posible identificar vesículas u órganos de reserva. El otro subgrupo son las micorrizas Orquíoides, en las cuales el hongo suele formar ovillos en las células de la raíz. Se dan entre orquídeas y basidiomicetos. Estas plantas carecen de clorofila en alguna fase de su vida, por lo que necesitan obligatoriamente al hongo para sobrevivir. Finalmente, se encuentran las micorrizas Ericoides; en este caso, el hongo forma en las células de la raíz estructuras sin organización aparente, como masas compactas.

El tercer y último tipo de micorrizas, son aquellas denominadas Ectendomicorrizas, o micorrizas ectendotróficas, las cuales presentan manto, red de Hartig y penetración intracelular

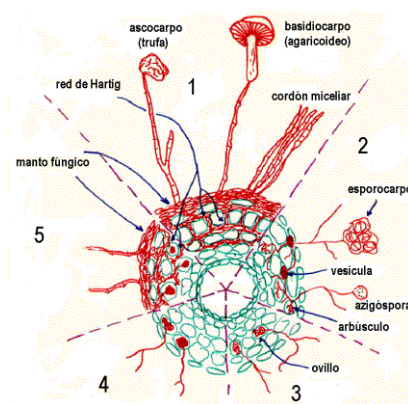


Figure 4. Principales tipos de micorrizas.

Tomado de:

form; <https://w3.ual.es/GruposIn/v/myco-ual/micorr.htm>

similar a las ericoides. Dicha asociación, puede darse en especies de plantas como las ericáceas, piroláceas y cistáceas; y los hongos implicados en su mayoría son basidiomicetos. En ese sentido, se resalta el hecho de que existe una gran diversidad en cuanto a las especies de hongos y de plantas implicadas en la asociación simbiótica al igual que se identifican diferentes tipos de micorrizas (ver figura 4); 1.

Ectomicorrizas, 2. Micorriza versículo-arbúscula, 3.

Micorriza orquíoide, 4. Micorriza ericoide, 5.

Ectendomicorriza cada una de ellas con su propia estructura y

Algunos de las otras estructuras de las micorrizas, son las hifas, las cuales son una red de filamentos cilíndricos que conforman la estructura del cuerpo de los hongos multicelulares. Estas hifas se relacionan estrechamente con las raíces de los árboles y crean conexiones

importantes para la nutrición de ambas especies (hongo y árbol). Las hifas son las que transportan los nutrientes y el agua hasta las plantas, y las que forman los arbuscúlos (en la raíz) y los arbuscúlos externos en el suelo. 28

Otra estructura micorrizica a destacar la raíz son las estructuras denominadas vesículas, encontradas específicamente en las denominadas micorriza vesículo-arbuscular. En términos coloquiales, la vesícula es una especie de semilla que algunas endomicorrizas forman en el interior de las raíces. Suelen servir para almacenaje de nutrientes para el hongo, algunas de ellas pueden llegar a convertirse en esporas.

El micelio externo forma esporas asexuales, aisladas o en esporocarpos según la especie, que podrán germinar y formar nuevas hifas que colonicen nuevas plantas. Las micorrizas tienen dos tipos de micelio: el intrarradical, que es el que vive en el interior de la raíz y el extrarradical, que es el que se extiende en el suelo como una tela de araña.

En este apartado, se expondrán aspectos metodológicos del presente trabajo de grado. En ese sentido, se conceptualizará el enfoque, el tipo, el diseño y el contexto metodológico.

6.1. Enfoque metodológico de la investigación

De acuerdo a la pregunta problema ¿De qué manera contribuye el estudio histórico-filosófico de las micorrizas a su enseñanza? Y los ejes estructurales de este estudio (la importancia de la enseñanza de las micorrizas y los estudios histórico-filosóficos de los TCH), es fundamental identificar y seleccionar el enfoque metodológico de investigación que permitirá dar respuesta al mismo.

Con base a lo anterior, y reconociendo los planteamientos de Cerda (1991) y Flick (2007), este trabajo se adscribe al enfoque cualitativo. Esta se caracteriza por constituirse a partir de una serie de reflexiones e interpretaciones de los objetos, fenómenos y hechos estudiados, que no pueden expresarse eficazmente a través de expresiones matemáticas; también, se resalta la pluralidad de métodos, formas y técnicas adscritas a este tipo de investigación. Se reconoce las potencialidades de la utilización de un enfoque cualitativo, ya que da respuesta a los objetivos planteados y facilita las contribuciones a la enseñanza, a través de métodos y enfoques reflexivos, alejados de los esquemas cuadriculados y cuantificados convencionales.

6.2. Tipología metodológica de la investigación

Teniendo en cuenta que el objetivo general consiste en “contribuir a la enseñanza del concepto *micorriza* a través del estudio histórico-filosófico de textos científico históricos”, este trabajo de grado estará asociado a dos tipos: el descriptivo y el interpretativo. El tipo de investigación descriptivo, es relevante porque permite exponer detalladamente el objeto analizado (TCH), especificando y recuperando información, características, propiedades, conceptos y procesos que usualmente no son reconocidos (Sampieri, 2014). En cuanto al tipo de investigación interpretativo, se considera de gran importancia ya que una vez se ha detallado y descrito la

información, será necesario avanzar hacia procesos que aclaren, expliquen y den significado y 30 significancia a dichas descripciones. En términos concretos, para el caso particular de este trabajo de grado, el tipo será descriptivo-interpretativo.

6.3. Contexto metodológico de la investigación

El contexto de investigación, hace referencia al objeto de estudio en particular, es decir, a los TCH analizados bajo la mirada de la Historia y la Filosofía de las Ciencias. Estos objetos de estudio, caracterizados por presentar una riqueza conceptual extensa, permiten el reconocimiento de experiencias, metodologías, experimentaciones y procesos realizados por una comunidad científica o un científico en una época particular. También, se resalta que el análisis de los TCH permite contrastar información y explicaciones científicas del pasado con las empleadas en la actualidad; logrando así, recuperar conceptos y teorías que posiblemente han quedado olvidadas (Álvarez-Lires, 2014). Por otra parte, es válido afirmar que el acercamiento directo a cada uno de los TCH lleva consigo un proceso de lectura detallada, ya que el lenguaje empleado por el científico en cada uno de estos textos es diverso, creativo y único; por tanto, para reconocer elementos conceptuales y procedimentales de interés esbozados en estos documentos, se requiere estudiar y analizar conscientemente dichos objetos de análisis (García-Belmar & Bertomeu, 1999).

Realizar el análisis de los TCH además de conllevar la previa determinación de un propósito, debe considerar la aplicación de criterios de delimitación, que permitan posteriormente direccionar, dimensionar y clarificar el análisis de los mismos. En ese sentido retomo y adapto los criterios expuestos por (Cabrera, 2016), los cuales contribuyen eficazmente en la identificación y selección de los TCH:

- I. Reconocer la importancia del estudio de caso que se va analizar.
- II. Acudir a la Historia de la Micorriza para identificar en sus referencias bibliográficas aquellos TCH que son pertinentes consultar.
- III. Inspeccionar en las bases especializadas de materiales históricos la disponibilidad de los TCH.

IV. Incluir TCH en los cuales se identifique y se desarrolle explícitamente el concepto de interés de la biología.

31

6.4. Aspectos procedimentales de la investigación

En este elemento metodológico, se expondrán las diferentes etapas metodológicas (ver figura 5) que se desarrollaron en este trabajo, explicando en qué consistieron y profundizando acerca de la importancia de cada una de ellas.

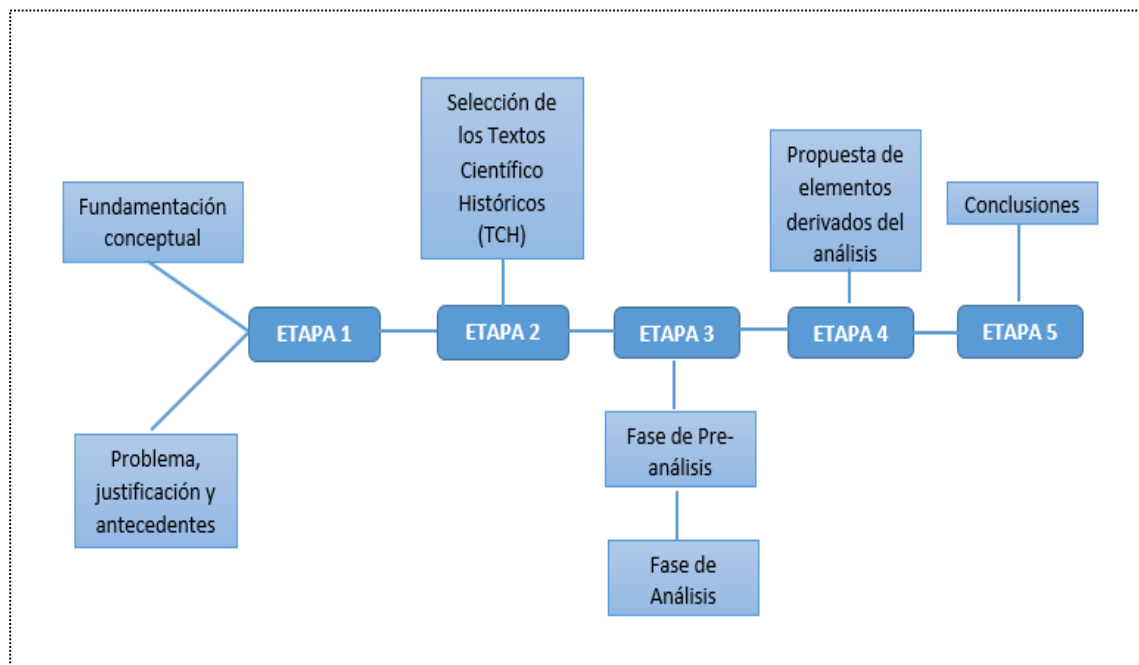


Figure 5. Diseño metodológico y sus etapas constituyentes. Fuente: elaboración propia.

6.4.1. Etapa 1. Preliminares

Lo concerniente a esta etapa, expondrá los aspectos metodológicos previos a la selección y análisis de los TCH, es decir, en esta primera etapa se desarrollaron procesos relacionados con:

- **Fundamentación conceptual:** Durante la fundamentación conceptual se realizó una búsqueda de referentes y fundamentos teórico-conceptuales de los dos ejes estructurantes de la investigación, i. La enseñanza de la biología y, ii. Los estudios científico-históricos.

El acercamiento a las diferentes fuentes teóricas fue relevante debido a que permitió la 32 construcción de una estructura conceptual coherente y cohesiva que facilitara la identificación de problemáticas y la posterior delimitación y selección del caso de estudio.

- **Identificación del problema, justificación y antecedentes:** Posteriormente, se avanzó hacia la identificación de una problemática relacionada con los dos ejes estructurales del trabajo; relacionada con la poca relevancia educativa actual del concepto *micorriza*. De esa manera, se avanzó hacia la búsqueda de antecedentes y la justificación del problema, el primero, fue imprescindible porque se consolidó como punto de apoyo, referencia conceptual y metodológica; el segundo, porque permitió dar sentido y significancia a la investigación.

6.4.2. Etapa 2. Selección de los textos científico históricos

En lo concerniente a esta etapa metodología, es preciso mencionar que consistió en la selección de los objetos de análisis, es decir, en la realización de un proceso de delimitación de las publicaciones del científico o de los Textos Científico Históricos (TCH), teniendo en cuenta los criterios expuestos en el apartado de contexto metodológico de la investigación.

A partir de dichos criterios, se realizó una consulta de los científicos contribuyentes en el desarrollo del concepto de las micorrizas, todo ello, se realizó a través de la lectura de documentos como los de Andrade-Torres (2010); García & López (2002); Koide & Mosse (2004); Trappe, (2005); por medio de los cuales, se pudo identificar científicos tales como; Vittadini, Tulasne y Tulasne, Hartig, Boudier, Gibelli y Albert Berhhard Frank. De los cuales, en efecto, se seleccionó a Albert B. Frank debido a su reconocimiento en la interpretación y caracterización de las micorrizas como un caso particular de simbiosis.

Posterior a este proceso, se realizó una búsqueda de la producción académica del científico en diferentes bases de datos, y luego, se realizó el debido proceso de selección de los TCH objeto de

análisis. Los criterios específicos que se tuvieron en cuenta para la selección y delimitación de los TCH fueron:

1. Documentos científicos originales con autoría de Albert B. Frank.
2. Documentos que abordaran como temática o eje de estudio principal las micorrizas.
3. Documentos con facilidad de acceso digital, es decir, que pudieran ser descargados para su posterior preparación (traducción).

Los anteriores criterios de delimitación, permitieron la identificación, selección y adquisición de tres TCH, los cuales se constituyeron como el material u objeto de estudio histórico-filosófico (ver tabla 1).

Table 1. Producción académica de Albert B. Frank. Fuente: elaboración propia.

Producción académica (PA)	Año	Revista/Libro	Título de la publicación
	1877	Cohn Beitr Biol Pflanz	Über die biologischen Verhältnisse des Thallus einiger Krustflechten
	1879	Bot Ztg	Ueber den Parasiten in denWurzelanschwellungen der Papilionaceen.
	1885	Ber Dtsch Bot Ges 3:128–145	Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.
	1885	Gart Ztg 4:423–426	Ueber den gegenwärtigen Stand der Trüffelfrage und die damit zusammenhängende Ernährung gewisser Bäume durch Wurzelpilze
	1885	Ber Dtsch Bot Ges 3: XXVII–XXXIII	Neue Mittheilungen über die Mycorhiza der Bäume und der Monotropa hypopitys.
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:50–58	Sind die Wurzelanschwellungen der Erlen und Eläagnaceen Pilzgallen
	1887	Ber Dstch Bot Ges	Ueber neue Mykorrhiza-Formen

		5:395–409	
	1888	Ber Dtsch Bot Ges 6:248–269	Ueber die physiologische Bedeutung der Mykorrhiza.
	1889	Forstl Blätt Ser 3 13:1–7	Was nützen den Waldbäumen die Wurzelpilze?
	1891	Ber Dtsch Bot Ges 9:244– 253	Ueber die auf Verdauung von Pilzen abzielende Symbiose der mit endotrophen Mykorrhizen begabten Pflanzen, sowie der Leguminosen und Erlen.
	1892	Ann Sci Agron France Étrang 9:351– 361	Sur l’importance des mycorhizes dans la nutrition des plantes humicoles.
PA con enfoque sobre las micorrizas	1885	Ber Dtsch Bot Ges 3:128–145	Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.
	1885	Gart Ztg 4:423–426	Ueber den gegenwärtigen Stand der Trüffelfrage und die damit zusammenhängende Ernährung gewisser Bäume durch Wurzelpilze
	1885	Ber Dtsch Bot Ges 3: XXVII–XXXIII	Neue Mittheilungen über die Mycorhiza der Bäume und der Monotropa hypopitys.
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:50–58	Sind die Wurzelanschwellungen der Erlen und Eläagnaceen Pilzgallen
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:395–409	Ueber neue Mykorrhiza-Formen
	1888	Ber Dtsch Bot Ges 6:248–269	Ueber die physiologische Bedeutung der Mykorrhiza.
	1889	Forstl Blätt Ser 3 13:1–7	Was nützen den Waldbäumen die Wurzelpilze

	1891	Ber Dtsch Bot Ges 9:244– 253	Ueber die auf Verdauung von Pilzen abzielende Symbiose der mit endotrophen Mykorrhizen begabten Pflanzen, sowie der Leguminosen und Erlen.
	1892	Ann Sci Agron France Étrang 9:351– 361	Sur l'importance des mycorhizes dans la nutrition des plantes humicoles.
PA seleccionados	1885	Ber Dtsch Bot Ges 3:128–145	Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:395–409	Ueber neue Mykorrhiza-Formen
	1888	Ber Dtsch Bot Ges 6:248–269	Ueber die physiologische Bedeutung der Mykorrhiza.

6.4.3. Etapa 3. Análisis y procesamiento de los textos científico históricos (TCH)

En esta etapa metodológica, se analizó las publicaciones científicas seleccionadas o los TCH, para ello, se tuvieron en cuenta, la función complementaria de la Historia y la Filosofía de las Ciencias, logrando así, recuperar, extender y pensar críticamente cada uno de los elementos presentes en el TCH. De igual manera, se retomaron y adaptaron aspectos metodológicos desarrollados por Muñoz, Valencia, & Cabrera-Castillo, (2017) representados a través de la figura 1.

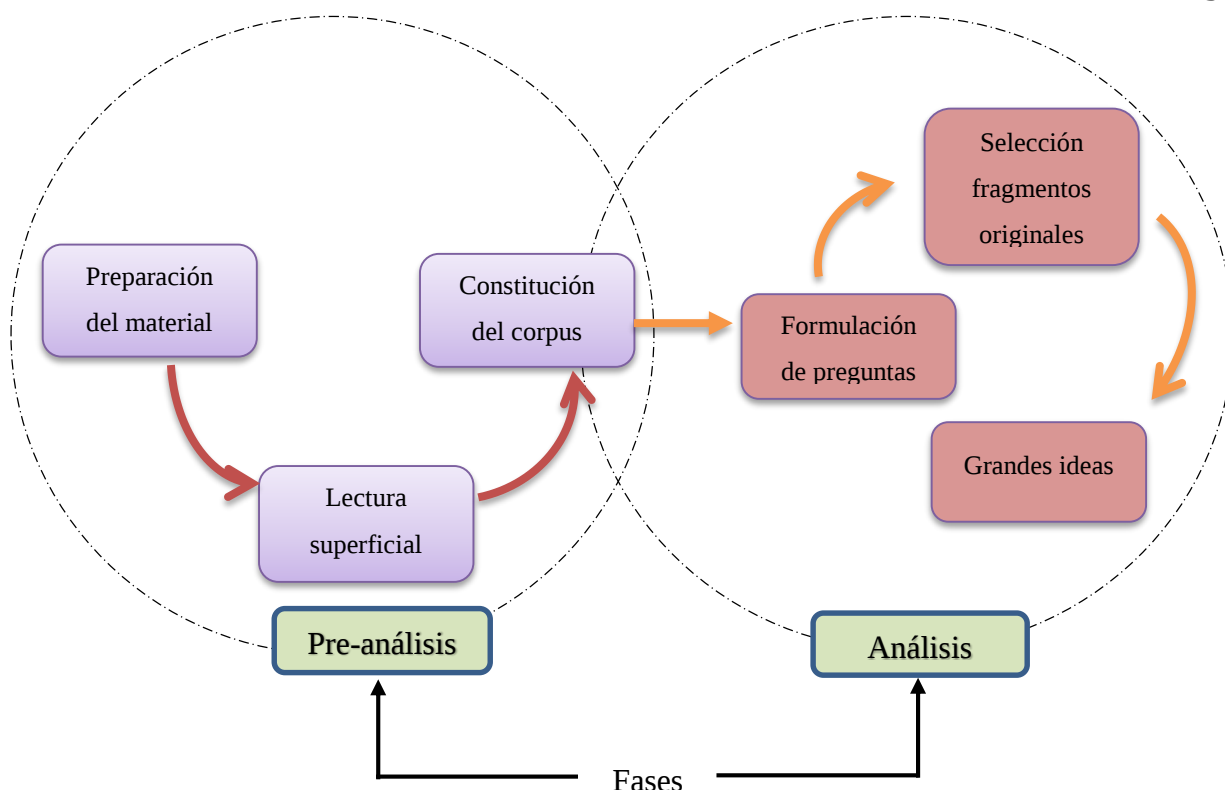


Figure 6. Procesamiento de análisis de los TCH. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 6, es posible explicitar que el procesamiento de la información está constituido de dos fases: pre-análisis y análisis. La primera fase, referida al pre-análisis, consiste inicialmente en la preparación del material o TCH, los cuales, debido a que se encontraban en su formato original, es decir, en el idioma nativo del científico (alemán), fue necesario realizar un proceso de preparación, lo cual consistió en traducir al español estos textos, con el objetivo de facilitar la lectura, comprensión y análisis. Posteriormente, se realizó una lectura inicial de cada uno de los TCH u objetos de estudio, este primer acercamiento, fue realizado de manera superficial, ya que se pretendía identificar propósitos, ideas principales, características y algunos otros elementos sobre los cuales el científico hubiera enfatizado. Ambos procesos metodológicos, constituyen el corpus de los datos.

En cuanto a la segunda fase, correspondida al análisis, consistió en un proceso de profundización en el cual, se retomó algunos procesos analíticos de gran relevancia para el análisis de texto expuestos por Hernández (2011); Cabrera-Castillo & Quintanilla (2014); Hernández & Cabrera

(2017), quienes presentan aspectos metodológicos de gran importancia ya que resaltan la *formulación de preguntas orientadoras* como un elemento metodológico relevante en la lectura y análisis de los TCH, incentivando la realización de los procesos descriptivos e interpretativos de los textos. De acuerdo con lo anterior, el primer proceso metodológico realizado consistió en formular preguntas que acompañaran y dirigieran la lectura sistemática de cada uno de los TCH seleccionados, con el propósito de facilitar la comprensión, descripción e interpretación de los mismos. 37

Del mismo modo, otro de los procesos metodológicos, correspondientes a la etapa de análisis consistió en la identificación y *selección fragmentos originales* de gran relevancia para el estudio histórico-filosófico y que fueran consecuentes con las preguntas previamente formuladas, es decir, que estuvieran correlacionadas con dichas cuestiones y su contenido permitiera profundizar o dar respuesta a las mismas. Una vez se realizó la selección de dichos fragmentos, se procedió a la lectura y relectura de los fragmentos previamente identificados, de tal manera que se permitiera caracterizar el sentido o propósito del fragmento seleccionado.

Finalmente, se realizó la identificación y conceptualización de las *grandes ideas* presentes en los tres diferentes TCH. Este proceso metodológico fue clave para el estudio histórico-filosófico, ya que permitió analizar a mayor profundidad características y elementos presentes en los documentos que fueron de gran utilidad para aportar a la enseñanza de las micorrizas. La constitución de estas grandes ideas, se desarrolló a partir de la descripción e interpretación de los diferentes fragmentos originales seleccionados, es decir, que dichas grandes ideas no solo eran el eje de los TCH sino que también, se constituyeron como el eje principal del análisis histórico-filosófico realizado en el presente trabajo de grado.

6.4.4. Etapa 4. Identificación de elementos la enseñanza de las Micorrizas

El objetivo de esta etapa metodológica consistió en interrelacionar y entretelar los diferentes resultados, ideas e interpretaciones derivadas de las etapas metodológicas anteriores; de tal manera, que se pudiera materializar y proponer algunos de elementos de gran aporte para la enseñanza de las micorrizas. En otras palabras, en esta etapa metodológica se reúnen, organizan

y presentan los diferentes elementos (históricos, científicos, pedagógicos y didácticos) recuperados a través del estudio histórico-filosófico de los TCH y se materializan en una serie de aportes que pretenden proporcionar un mayor significado y significancia al estudio de las micorrizas y su enseñanza. 38

6.4.5. Etapa 5. Conclusiones

En esta última etapa metodológica, se realizaron las conclusiones del presente trabajo de grado, esto fue realizado, a partir de la reflexión continúa sobre los diferentes procesos de búsqueda de información, indagación y escritura; respondiendo así, a cada uno de los objetivos propuestos.

7.1. Preanálisis

Los resultados del pre análisis, permiten se relacionan en primera medida, con los aspectos concernientes a la preparación del material, es decir, la traducción del alemán-español de los tres TCH seleccionados. Este primer aspecto metodológico, requirió de gran rigurosidad, ya que la coherencia y cohesión de los diferentes textos, debía quedar intacta, para poder realizar un análisis transparente de los mismos. La traducción de dichos textos se efectuó utilizando diferentes recursos electrónicos (traductor de textos PONS, Google traductor y diccionario Dix) y, de igual manera, se realizó con el acompañamiento de un especialista en el idioma alemán. Es necesario aclarar que la traducción de los diferentes TCH se realizó en su totalidad, sin embargo, por efectos de la presentación de este documento, se presenta solamente la traducción de algunos fragmentos. A continuación, en la tabla 2 se presenta y ejemplifica dicho proceso metodológico.

Table 2. Preparación del material (ejemplificación de la traducción alemán-español). Fuente: elaboración propia.

TCH	FRAGMENTO ORIGINAL	TRADUCCIÓN
Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze	“ <i>Se. Excellenz der Herr Minister für Landwirtschaft, Domänen und Forsten hat, um die Zucht der Trüffel im Königreiche Preussen nach Möglichkeit zu fördern, mich beauftragt zunächst durch wissenschaftliche Untersuchungen über die Bedingungen des. Vorkommens und der Entwicklung dieser Pilze der Angelegenheit planmässig näher zu treten.</i> ”	“Para promover la posibilidad del cultivo de la trufa en el Reino de Prusia, Su Excelencia, el Ministro de Agricultura, Dominios y Silvicultura, me encargó abordar el tema de manera sistemática. Debía comenzar con estudios científicos sobre las condiciones de aparición y desarrollo de estos hongos.” (Frank, 1885, p. 128)

	(Frank, 1885, p. 128)	
Ueber neue Mycorrhiza-Formen	<i>“In meiner ersten Mittheilung über die Mycorrhiza der Bäume im 4. Hefte des Jahrganges 1885 dieser Berichte habe ich diejenige Form dieses Organes näher beschrieben, welche für unsere einheimischen Coniferen, Cupuliferen und verwandten Pflanzenfamilien sowie für Monotropa hypopitys die gewöhnliche und charakteristische ist. Ueber andere Formen der Pilzwurzel, die ich theils damals schon kannte ohne über sie zu berichten, theils inzwischen kennen gelernt habe, will ich heute Mittheilung machen.”</i> (Frank, 1887, p. 395)	“En mi primer relato de la Micorriza de los árboles en los cuatro volúmenes del año 1885, he descrito la forma de este órgano que es ordinario y característico para nuestras Coníferas nativas, Cupulíferas, y familias de plantas relacionadas, así como como para Monotropa hypopitys. Voy a hacer una comunicación hoy en día acerca de otras formas de hongos de raíz, que ya conocía, sin haber podido informar sobre ellas, o haber estado familiarizado con ellas.” (Frank, 1887, p. 395)
Ueber die physiologische Bedeutung der Mycorrhiza.	<i>“Seitdem ich nachgewiesen habe, dass die zur Nahrungsaufnahme bestimmten Saugwurzeln gewisser Pflanzen an ihren natürlichen Standorten in einer Constanten Symbiose mit Pilzmycelien sich befinden, stehen wir vor der Frage, welche Beziehungen zwischen beiden Symbionten obwalten,</i>	“Desde que demostré que las raíces lactantes de ciertas plantas, encargadas de la ingesta de alimentos, se encuentran en una simbiosis constante con micelios de hongos en sus hábitats naturales, nos enfrentamos a la cuestión sobre la relación que existe entre los dos simbios y el papel de las micorrizas.” (Frank, 1888, p. 248)

	<i>welche Rolle die Mycorhiza spielt.</i> ” (Frank, 1888, p. 248)	
--	---	--

El siguiente proceso metodológico que se llevó a cabo consistió en la realización de la “lectura superficial” de cada uno de los textos. La lectura realizada se constituyó como un proceso de acercamiento y reconocimiento de estos textos, por medio de los cuales se logró identificar elementos referidos a la macroestructura u organización, lo que a su vez, permite identificar algunas de las ideas conceptuales más relevantes desarrolladas en los mismos, entre ellas se destacan las estructuras de las micorrizas, la distribución general de la micorriza, los cambios inducidos por los hongos en la raíz, los tipos de micorrizas (ectotróficas y endotróficas) y, la importancia biológica y fisiológica de las micorrizas (Frank 1885;1887;1888).

Finalmente, el último proceso metodológico de la etapa del pre análisis de los textos, hizo referencia a la constitución del corpus, el cual está compuesto por los tres TCH seleccionados, que fueron previamente traducidos y sometidos a la lectura superficial (ver tabla 3).

Table 3. Constitución del corpus. Fuente: elaboración propia.

Texos Científico Historicos seleccionados de Albert. B. Frank

21. B. Frank: Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.

(Mit Tafel X.)

Eingegangen am 17. April 1885.

Se. Excellenz der Herr Minister für Landwirthschaft, Domänen und Forsten hat, um die Zucht der Trüffeln im Königreiche Preussen nach Möglichkeit zu fördern, mich beauftragt zunächst durch wissenschaftliche Untersuchungen über die Bedingungen des Vorkommens und der Entwicklung dieser Pilze der Angelegenheit planmässig näher zu treten. Gewisse durch Beobachtung und Erfahrung schon festgestellte Thatsachen, wie das stete Zusammenvorkommen der echten Trüffeln mit lebenden Bäumen, die namentlich auch bei den bis jetzt vorgenommenen Erhebungen in den preussischen Trüffelgegenden hervorgetretene Beziehung des Trüffelvorkommens zu bestimmten Baumarten, nämlich Buche, Hainbuche und Eiche, vor allen Dingen auch die von Reess¹⁾ erkannte an Parasitismus erinnernde Verbindung des Myceliums von *Elophomyces* mit den Kiefernwurzeln, richten die Untersuchungen von vornherein auf die Frage, ob auch bei den echten Trüffeln ein Zusammenhang des Myceliums mit lebenden Baumwurzeln besteht. Wie die folgenden Mittheilungen zeigen werden, muss diese Frage aber noch viel weiter ausholen, weil sie die Kenntniss von Dingen hinsichtlich der Natur und der Ernährung der Pflanzen voraussetzt, von welchen die Wissenschaft bis jetzt keine Ahnung gehabt hat. Von diesen soll in meiner heutigen Mittheilung zunächst allein nur die Rede sein. Es betrifft die Thatsache, dass gewisse Baumarten, vor allen die Cupuliferen ganz regelmässig sich im Boden nicht selbst

1) Sitzungsber. d. physik-med. Soc. zu Erlangen, 10. Mai 1880.

46. B. Frank: Ueber neue Mycorhiza-Formen.

(Mit Tafel XIX.)

Eingegangen am 21. October 1887.

In meiner ersten Mittheilung über die Mycorhiza der Bäume im 4. Hefte des Jahrganges 1885 dieser Berichte habe ich diejenige Form dieses Organes näher beschrieben, welche für unsere einheimischen Coniferen, Cupuliferen und verwandten Pflanzenfamilien sowie für *Monotropa hypopitys* die gewöhnliche und charakteristische ist. Ueber andere Formen der Pilzwurzel, die ich theils damals schon kannte ohne über sie zu berichten, theils inzwischen kennen gelernt habe, will ich heute Mittheilung machen.

Die Charakteristik der Mycorhiza setzt sich aus anatomischen und morphologischen Merkmalen zusammen, und um hier zunächst noch einmal an die bis jetzt bekannte Mycorhizaform zu erinnern, fasse

Figure 8. Texto Científico Original de A.B. Frank (1887).

37. B. Frank: Ueber die physiologische Bedeutung der Mycorhiza.

(Mit Tafel XIII.)

Eingegangen am 18. Juli 1888.

Seitdem ich nachgewiesen habe, dass die zur Nahrungsaufnahme bestimmten Saugwurzeln gewisser Pflanzen an ihren natürlichen Standorten in einer constanten Symbiose mit Pilzmycelien sich befinden, stehen wir vor der Frage, welche Beziehungen zwischen beiden Symbionten obwalten, welche Rolle die Mycorhiza spielt.

Schon in meiner ersten Mittheilung in diesen Berichten¹⁾ über die Mycorhiza habe ich auf so viele Thatsachen hingewiesen, welche übereinstimmend auf Vermittelung der Ernährung der betreffenden Pflanzen durch ihre Wurzelpilze hindeuten, dass ich damals bereits in bestimmter Weise von den mit verpilzten Wurzeln versehenen Bäumen behauptete, dass ihnen Wasser und alle aus dem Boden zu beziehenden Nährstoffe durch die Mycorhizen zugeführt werden. Weitere Beobachtungen veranlassten mich, ebendasselbst kurz nachher²⁾ eine Reihe von Thesen bezüglich der Mycorhiza der Bäume aufzustellen, unter denen auch die

1) Jahrgang 1885. III. Heft 4.
2) Jahrgang 1885. III. Heft 11.

Figure 9. Texto Científico Original de A.B. Frank (1888).

Figure 7. Texto Científico Original de A.B. Frank (1885).

Los anteriores procesos metodológicos, correspondientes a la etapa de pre análisis, permitieron la elaboración de una estructura básica que facilitó y guió el análisis posterior de los tres textos. 43

7.2. Análisis general de los TCH

Para exponer los resultados e interpretaciones derivados de esta etapa metodológica, es necesario explicitar nuevamente los tres diferentes procesos metodológicos que la constituyen y, a partir de ellos, exponer los diferentes resultados:

7.2.1. Formulación de preguntas:

En cuanto a este primer proceso, es posible resaltar la formulación de cuestiones o preguntas guiadoras, las cuales, tal como su nombre lo indica, tuvieron el propósito de acompañar el análisis de los TCH, promoviendo la realización de descripciones e interpretaciones. Estas preguntas fueron validadas a través de un proceso de revisión con experto en el campo de la educación en ciencias y adscrito a la línea de investigación Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias. Las preguntas construidas, pueden apreciarse en la figura 10 presentada a continuación:

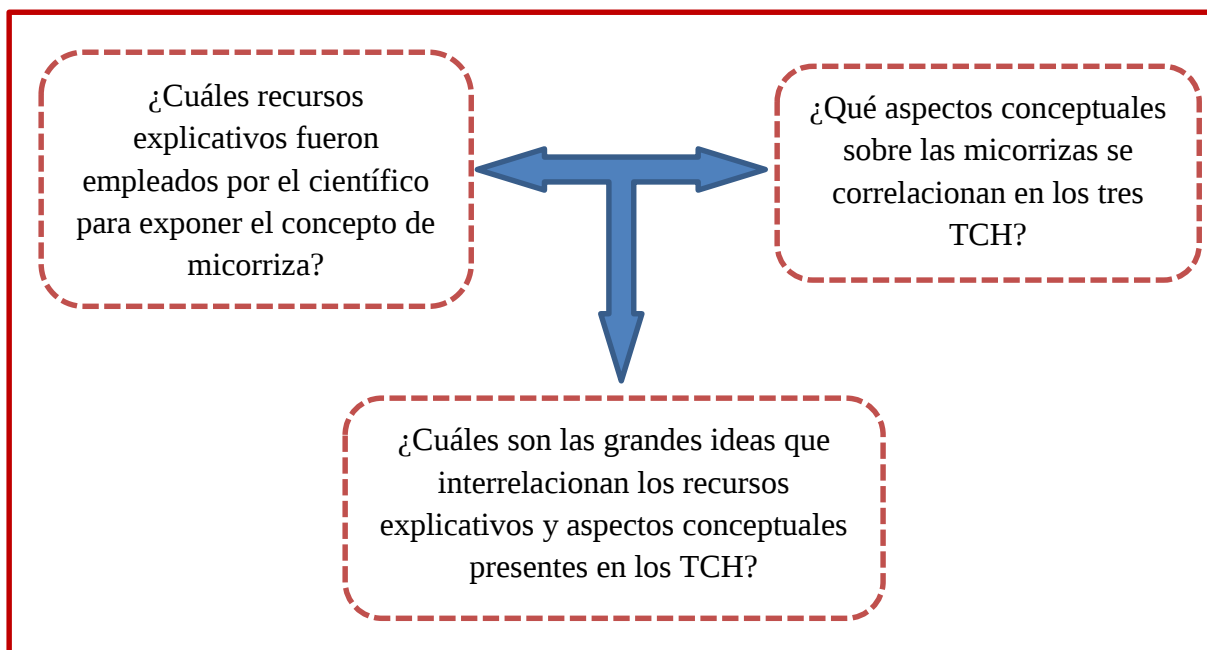


Figure 10. Preguntas orientadoras del análisis. Fuente: elaboración propia.

Tal como se presentó en la anterior figura, las preguntas orientadoras hacen referencia en términos generales a tres aspectos: 1. La identificación de elementos conceptuales en los diferentes TCH 2. La identificación de recursos explicativos en los TCH y 3. La identificación de grandes ideas que permiten relacionar los elementos de las preguntas 1 y 2.

7.2.2. Identificación de Fragmentos

La construcción de dichas preguntas guiadoras, se retroalimenta a través de la selección de fragmentos que tuvieran estrecha relación con el contenido de cada una de las preguntas. Algunos de los resultados de este proceso metodológico, pueden ser evidenciados en la tabla 4, presentada a continuación:

Tabla 4. Identificación de fragmentos en base a las preguntas guiadoras. Fuente: elaboración propia.

Pregunta	FRAGMENTO
¿Cuáles recursos son empleados por el autor para exponer, justificar y argumentar el concepto de micorriza?	<i>“Ahora, <u>la cuestión de gran interés debe ser, ¿está el árbol dañado por el parasitismo fúngico de sus radículas?</u> Sabemos por una multitud de casos que los hongos parásitos dañan sus plantas huésped. Los cambios morfológicos asumidos por las raicillas del árbol bajo influencia del parásito pueden caracterizarse como hipertrofia o formación de hiel, aunque relativamente débil.” Frank (1885).</i>
¿Cuáles son los aspectos conceptuales sobre las micorrizas consistentes en los tres TCH?	<i>“Las raíces de las Cupuliferae y el micelio fúngico se unen orgánicamente en un órgano morfológicamente único. La dependencia íntima y recíproca que sigue al crecimiento de ambos compañeros y las estrechas interrelaciones de las funciones fisiológicas que deben existir entre los dos parecen ser un nuevo ejemplo de simbiosis en el reino vegetal” (Frank, 1885, p. 141).</i>

En la anterior tabla, se han registrado algunos fragmentos que se identificaron tienen relación con las preguntas orientadoras planteadas. Cabe resaltar que, en esta tabla, solo fueron incluidas las preguntas orientadoras de base, ya que la tercera pregunta, fue desarrollada a partir de los

fragmentos seleccionados. Este proceso, puede ser vislumbrado de manera más completa a 45 continuación.

7.2.3. Conceptualización de grandes ideas

Finalmente, en cuanto a la conceptualización de las grandes ideas, se presentan algunos fragmentos e imágenes extraídos de los textos originales del científico, los cuales se acompañan con aspectos descriptivos e interpretativos, que pretenden dar respuesta al tipo de metodología seleccionada. En ese sentido, la organización de dichos fragmentos e imágenes son consecuentes con la identificación de cuatro grandes ideas, las cuales se identifican explícita e implícitamente en cada uno de los textos originales, estas ideas son:

1. La Micorriza es una relación simbiótica, a la que todos los árboles son capaces bajo ciertas condiciones.
2. La micorriza se caracteriza por aspectos fisiológicos y morfológicos particulares.
3. El hongo aporta al árbol, nutrientes y agua.
4. La micorriza se forma sólo en un suelo rico en humus.

A continuación, se explicitan cada una de estas ideas a partir de la constitución de diversos fragmentos.

7.2.3.1. La Micorriza es una relación simbiótica, a la que tal vez todos los árboles son capaces bajo ciertas condiciones.

Dentro de esta primera gran idea se abordan dos elementos de gran relevancia, el primero de ellos, referente a la caracterización de las micorizas como una relación simbiótica, y el segundo, a la distribución de las micorizas en diferentes tipos de árboles teniendo en cuenta condiciones particulares. De esta manera, se avanza a la profundización de uno de los primeros conceptos representativos empleados por Frank para referirse a las Micorizas, es el de simbiosis. A través de sus estudios reconoció que la relación entre estos organismos era beneficiosa, Frank (1885) lo expresa de la siguiente manera:

46

“[...] ciertas especies arbóreas, sobre todo las Cupuliferae, no se alimentan de forma independiente en el suelo, sino que establecen regularmente una simbiosis con micelio fúngico sobre todo su sistema radicular. Este micelio realiza una función de "enfermera húmeda" y realiza la nutrición completa del árbol desde el suelo” (p. 128).⁵

Aunque Frank no fue el primero en estudiar las micorrizas, si fue uno de los primeros científicos en interpretarlas y caracterizarlas adecuadamente como otro ejemplo de simbiosis. Dichas interpretaciones fueron sometidas a debates y controversias por más de 40 años en diferentes comunidades científicas, representadas por científicos como Hartig, Boudier y Gibelli; sin embargo, los argumentos, descripciones, observaciones y experimentaciones llevadas a cabo por este científico salieron triunfantes y permitieron que la sociedad en general conociera la belleza de dicho mutualismo (Trappe, 2005).

En concordancia con lo anterior, para soportar sus afirmaciones sobre el carácter simbiótico de las micorrizas Frank se vale de analogías a lo largo de sus textos; que le permiten mejorar sus argumentos eficazmente. De esta manera, A.B. Frank hace uso de formas de explicar y representar sus observaciones con claridad y simplicidad, relacionándolas con la cotidianidad y comparándolos con otros ejemplos de simbiosis previamente reconocidos; Frank (1885) expone:

“La simbiosis de las Cupuliferae es más parecida a la de los líquenes, específicamente en su carácter biológico, incluso teniendo en cuenta las diferencias, es decir, la asociación cumple tanto los requisitos como los resultados para la alimentación de ambos compañeros. De hecho, el hongo de la raíz es análogo a las hifas del liquen y el árbol al alga del liquen; La comparación no necesita ser más elaborada” (p.143).⁶

⁵ Fragmento original: *Es betrifft die Tatsache, dass gewisse Baumarten, vor allen die Cupuliferen ganz regelmässig sich im Boden nicht selbständig ernähren, sondern überall in ihrem gesammten Wurzelsystem mit einem Pilzmycelium in Symbiose stehen welches ihnen Ammen dienste leistet und die ganze Ernährung des Baumes aus dem Boden übernimmt.*

⁶ Fragmento original: *Mit dieser Symbiose der Flechten ist aber diejenige der Cupuliferen in der That mutatis mutandis in genaueste Parallele zu stellen, nämlich was den biologischen Charakter, d. h. sowohl die Bedürfnisse wie die Leistungen, die aus dieser Lebensgenossenschaft für die Ernährung beider Theile erwachsen, anbetrifft, und*

A partir de estos fragmentos, se puede interpretar que el uso de analogías y comparaciones de los hechos observados, se consolida como una estrategia relevante para argumentar y exponer los estudios, conclusiones y tesis llevadas a cabo durante la actividad científica. Dicho elemento de orden conceptual expuesto por A.B. Frank, es decir la similitud entre los líquenes y las micorrizas, aún permanece vigente en el campo científico e incluso, es usual encontrar este elemento en libros de texto universitarios; por ejemplo, Curtis (2008), “los líquenes y micorrizas son ejemplos análogos de simbiosis que involucran hongos. Un liquen es la asociación simbiótica entre un hongo específico y un alga verde o cianobacterias y las micorrizas son asociaciones simbióticas entre los hongos y las raíces de plantas vasculares (p. 534)”.

Por otra parte, en cuanto al hecho de que dicha relación simbiótica puede estar presente en diversas especies arbóreas y en condiciones particulares, Frank (1888) afirma:

“...esta simbiosis es un fenómeno universal que ocurre por todas partes en el ambiente natural y es constante en cada individuo, le da el carácter de una adaptación de la planta a la actividad fúngica, que obtiene un beneficio definitivo de ésta, es sin duda un caso de distribución general” (p.251).⁷

Dicha distribución de las micorrizas pudo ser evidenciada gracias a el estudio de muestras de plantas de diversas localidades, entre las cuales Frank (1887) destaca: *Berlin (Grunewaldmoor)*; *Erzgebirge*; análisis de especies pertenecientes a los páramos que se encuentran entre *Weser y Ems*; *américa del norte*. Los estudios llevados a cabo por Frank y sus conclusiones sobre la distribución general de la micorriza, no pudieron ser más certeros; en la actualidad, se reconoce que las micorrizas están presentes en el 90% de las especies arbóreas, presentando un patrón de distribución mundial, es decir, están presentes en todos y cada uno de los diferentes ecosistemas (Camargo-Ricalde, Montaña, De la Rosa Mera, & Montaña Arias, 2012).

zwar ist der Wurzel - pilz den Flechtenbyphen, der Baum den Flechtengonidien analog; der Vergleich braucht nicht näher erläutert zu werden.

⁷ Fragmento original: *Aber der Umstand, dass diese Symbiose an den natürlichen Standorten eine allgemein verbreitete, überall und an jedem Individuum constant auftretende Erscheinung ist, giebt derselben den Charakter einer Anpassung der Pflanze an die Pilzthätigkeit, wobei diese von der letzteren einen bestimmten Nutzen zieht.*

Para complementar la idea anterior, Frank (1888) profundizó acerca de las condiciones requeridas para la formación de micorrizas o el establecimiento de la relación simbiótica entre los hongos y las raíces de las plantas vasculares, haciendo énfasis en el papel del suelo con abundante humus:

“En suelo forestal rico en humus, estos hongos están presentes y desarrollan simbiosis rápidamente con las raíces de algodón. Están ausentes en el suelo sin cultivar, libre de humus, y por lo tanto, toma mucho más tiempo que se formen las micorrizas (p.252)”.⁸

En concordancia con lo anterior, se identificó que la principal condición o restricción para la aparición de micorrizas en un sustrato determinado es la presencia de humus. Este elemento conceptual, identificado por A. B. Frank estuvo presente en los TCH analizados y, por ende, se profundizará sobre el mismo en el ítem 5.2.3 de este mismo apartado.

7.2.3.2. La micorriza se caracteriza por aspectos fisiológicos y morfológicos particulares.

Las cuestiones que merecen ser realizadas cuando se hace la lectura de textos como los escritos por A. B. Frank o incluso, otro tipo de textos sobre las micorrizas es, ¿Cuál es la naturaleza de la micorriza? ¿Cuáles son las características que permiten identificar y diferenciar una micorriza de aquello que no lo es? Pues bien, en los TCH analizados, fue posible determinar un aspecto de orden conceptual que permite clarificar y dar respuesta a las anteriores cuestiones, relacionado con las características morfológicas y fisiológicas de las micorrizas.

*“Las raíces de las Cupuliferae y el micelio fúngico se unen orgánicamente en un órgano **morfológicamente** único. La dependencia íntima y recíproca que sigue al crecimiento de ambos compañeros y las estrechas*

⁸ Fragmento Original: Im humushaltigen Waldboden sind diese Pilze vorhanden und treten sehr bald mit den Baumwurzeln in Symbiose. In unkultivirtem, humuslosen Boden fehlen sie, und es dauert daher viel länger, bis sich hier Mycorrhizen bilden.

interrelaciones de las funciones **fisiológicas** que deben existir entre los dos parecen ser un nuevo ejemplo de 49 simbiosis en el reino vegetal”⁹ (Frank, 1885, p. 141).

Frank presentó ante la comunidad de biólogos y, en general, ante la sociedad, una nueva forma de comprender las interacciones biológicas, y dio pasos sobre el conocimiento de la nutrición en especies vegetales. Del mismo modo, a partir del fragmento anterior, es posible interpretar que Frank tuvo que realizar estudios *morfológicos* y *fisiológicos* para clarificar este tipo de simbiosis vegetal; y que fue gracias a dichos estudios que pudo concluir con tanta precisión y certeza sus teorías.

En cuanto a las características morfológicas, la micorriza se asemeja a muchos esclerosos fúngicos en estructura fina, ya que Muestra unseudoparénquima construido de hifas irregulares y muy estrechamente entretejidas. Elseudoparénquima suele ser de múltiples capas, formando un manto bastante grueso. Este manto se relaciona íntimamente con la epidermis de la raíz. La corteza, incluyendo la epidermis, generalmente consta de aproximadamente cuatro capas celulares. Como regla general, sólo la epidermis está entrelazada con hifas. Las células corticales internas siempre permanecen libres (Frank, 1885). A continuación, una imagen extraída del artículo de Frank (1885) *Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze*” acompañada de su respectiva descripción, la cual ilustra la morfología de la micorriza.

⁹ Fragmento original: *Die organische Verbindung zwischen der Cupuliferenwurzel und dem Pilzmycelium zu einem morphologisch selbständigen Organ, sowie das in inniger gegenseitiger Abhängigkeit erfolgende Wachsthum beider Theile und die engen Beziehungen physiologischer Functionen, welche zwischen beiden bestehen müssen, lassen*
Recuperado de Texto Original de on Symbiose im Pflanzenreiche erscheinen.
A. B. Frank (1885)

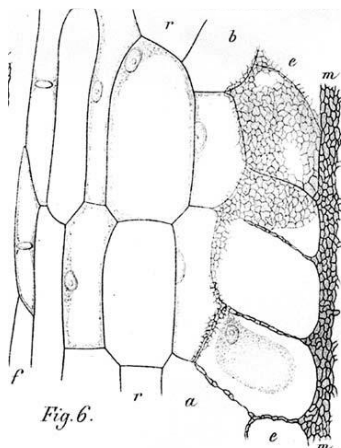


Figure 11. Sección longitudinal de la micorriza.

“Parte de una sección longitudinal de una porción de una micorriza de *Carpinus betulus*, que atraviesa la epidermis (e), la corteza (r) y las células que bordean la hebra fibrovascular (f). La dirección hacia la punta de la raíz (a), (b) la base de la raíz, (m) el manto fúngico, forma la superficie de la micorriza y desde la cual una capa celular pseudoparenquimática continúa hacia adentro para tejer alrededor de las paredes de las células epidérmicas. En la parte inferior de se ve lo mismo en sección transversal de la pared celular epidérmica, en la parte superior una vista superficial, no muy diferente de un espesamiento reticulado fino de la pared.” (P.145).¹⁰

El hecho de que Frank hiciera uso de ilustraciones que representaran sus diferentes observaciones, permitió que la comunidad científica y la sociedad en general, percibieran con mayor facilidad las distintas características morfológicas representativas de las micorrizas. Dichas ilustraciones, al ser realizadas con tanta rigurosidad y detalle, siguen vigentes en la actualidad, siendo un referente para el campo científico y educativo (Ryan, 2015; Trappe, 2005).

En otro de sus textos, describe la fisiología de la micorriza, o lo que el plantea como función de enfermera húmeda:

“Otras observaciones me hicieron erigir una serie de tesis sobre la micorriza de los árboles poco después, entre las cuales las micorrizas no sólo suministraron agua y nutrientes minerales al árbol, sino también toman prestada materia orgánica del humus y de los restos de plantas en

¹⁰ **Fragmento original:** Fig. 6. Stück eines Längsschnittes durch einen älteren Theil einer Mycorrhiza von *Carpinus Betulu&-*, welcher durch die Epidermis e, die Wurzelrinde r und die angrenzenden Zellen des Fibrovasalstranges f geführt ist; a die Richtung nach der Wurzelspitze, b nach der Wurzelbasis, m die Pilzhülle, welche die Oberfläche der Mycorrhiza bildet, und von welcher eine pseudoparenchymatische Zellschicht sich als Umspinnung der Epidermiszellmembranen nach innen fortsetzt; im unteren Theile der Figur sieht man dieselben im Querschnitt der Epidermismembran, weiter oben in der Flächenansicht derselben, einer feinen netzförmigen Verdickung der Membran nicht unähnlich. 480 fach vergrößert.

descomposición, y lo hacen directamente reciclable al árbol, por lo que la importancia de la nutrición de las plantas aparece bajo una nueva luz.” (Frank, 1888, p. 248)¹¹. 51

De lo anterior, es posible interpretar que A.B. Frank logro interrelacionar los resultados de sus estudios morfológicos y fisiológicos, sobre la nutrición de las plantas que rompe con todos los esquemas científicos y tradicionales de su época. De igual forma, la lectura de los anteriores fragmentos, permite vislumbrar cualidades de este científico, tales como la rigurosidad de sus explicaciones y descripciones, la gran capacidad interpretativa de los hechos y la adquisición de una mente abierta o un pensamiento poco convencional, lo cual lo llevo, a caracterizar un concepto de gran incidencia científica.

7.2.3.3. La micorriza se forma sólo en un suelo rico en humus.

Tal como se mencionó anteriormente, la siguiente idea identificada en los TCH, hace referencia a la relación intrínseca entre la aparición de las micorrizas y el suelo rico en humus. En ese sentido, Frank es cuidadoso al estudiar la relación entre la aparición de las micorrizas y el Humus; para ello, realizó observaciones en las diferentes capas del suelo, Frank (1888), menciona:

“He observado el perfil del suelo de diferentes bosques de hayas en estas condiciones y lo describiré aquí con un ejemplo. En un Buchenhochwald de 60 años de edad, completamente preservado, sobre un suelo calcáreo masivo bastante fresco y con humus, la capa superior del suelo de unos 22cm se oscurece por el humus (A), seguido por una capa de transición de unos 13 cm de grosor, (B); Y finalmente, sigue la caliza calcárea gris pura, sin humus, que todavía se encuentra en el comienzo de la intemperie, que he examinado en 15 cm de espesor (C) [...] Las micorrizas, que tienen menos de 5 centímetros de diámetro, se encuentran en el suelo que contiene humus, pero a partir de esta profundidad hacia abajo su frecuencia disminuye; Incluso

¹¹**Fragmento original:** Weitere Beobachtungen veranlassten mich, ebendasselbst kurz nachher eine Reihe von Thesen bezüglich der Mycorhiza der Bäume aufzustellen, unter denen auch die war, dass die Mycorhizapilze nicht bloss Wasser und mineralische Nährstoffe dem Baume zuführen, sondern namentlich auch organische aus dem Humus und den verwesenden Pflanzenresten entlehnte Stoffe assimiliren und für den Baum direkt wieder verwerthbar machen, und dass somit die Bedeutung des Humus für die Pflanzenernährung in einem neuen Lichte erscheint.

en B todavía se pueden encontrar, junto con fibras miceliales pardas, que penetran en el suelo,⁵² pero no tanto como en la capa más rica en humus. En C sólo hay una sola raíz, y rara vez lleva unas cuantas raíces chupadoras; Estos son, sin embargo, muestran sólo ligera confusión condición fúngica” (p.256)¹².

En concordancia con el fragmento anterior, es posible identificar que Frank, hace uso de una habilidad indispensable para la comprensión del mundo, la observación, la cual le permite adquirir conocimiento sobre las características y el comportamiento de la relación Micorriza-Humus. Indudablemente, acompaña sus observaciones de aspectos descriptivos que le permiten organizar sus ideas y dar cuenta ante los lectores y la comunidad científica sus observaciones. Del mismo modo, Frank realiza una representación, es decir, ilustra detalladamente cada una de sus observaciones y nuevamente la acompaña de elementos descriptivos o explicativos:

¹² Fragmento original: *Ich habe aus verschiedenen Buchenwäldern das Bodenprofil auf diese Verhältnisse untersucht und will dies hier an einem Beispiele beschreiben. In einem vollbestandenen 60jährigen BuchenHochwald auf einem massig gründigen, ziemlich frischen und humoscn Muschelkalkboden besteht die obere ca. 22 cm tiefe Schicht aus durch Humus dunkel gefärbtem Verwitterungsboden (A), dann folgt eine Uebergangsschicht von ca. 13 cm Mächtigkeit, die noch viele unverwitterte Kalksteine in einer schon halb erdigen Masse von mehr heller Farbe, also geringem Humusgehalt, enthält (B), und endlich folgt der reine graue im Beginn der Verwitterung befindliche Kalkfels ohne Humus, den ich noch in 15 cm Mächtigkeit untersuchte (C).(...) Auch tiefer als 5 cm findet man in der humushaltigen Erde Mycorhizen von den Streichwurzeln ausgehen, doch nimmt von dieser Tiefe an ihre Häufigkeit nach unten mehr und mehr ab; selbst in B' kann man sie noch finden, nebst braunen Mycelfasern, welche von ihnen aus in den Boden dringen, doch ungleich weniger als in der obersten humusreichsten Schicht.*

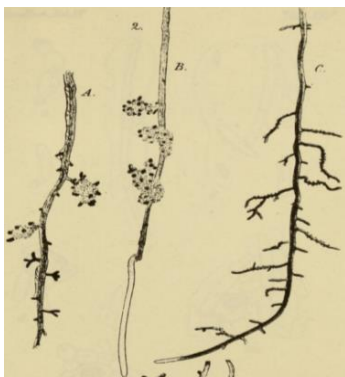


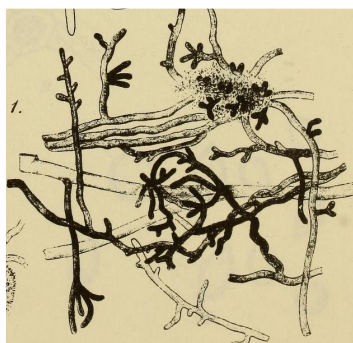
Figure 12. Raíces de cepillo de pino.

Recuperado de TCH de A.B. Frank de 1888

“Figura. 2. Dependencia de la Micorriza sobre el contenido de humus del suelo. Tres diferentes distancias de las raíces de cepillo horizontales de un pino de 5 años de edad, A. 50 cm de la planta, con algunos arbustos micorriza, que poco a poco mueren, como el más viejo, en el que hebras fúngicas marrones más gruesas separan del tallo entero de la raíz. B. 80 cm de la planta, con algunos Micorrizas arbustos aún vivos ocupados. C. 100 cm de la planta, sin raíces de succión sin hongos. Ligeramente agrandada” (Frank, 1888, p.268)¹³

Las ilustraciones y descripciones realizadas por Frank para representar sus observaciones sobre la dependencia de las micorrizas, fueron diversas, a continuación, se presenta otra ilustración y fragmentos extraídos de sus textos:

¹³ Fig. 2. Abhängigkeit der Mycorhiza vom Humusgehalt des Bodens. Drei in verschiedenen Entfernungen aus den horizontalen Streichwurzeln einer auf ganz hellem sterilen Sande stehenden 5jährigen Kiefer entspringende Saugwurzeltämmchen. A 50 cm von der Pflanze, mit einigen Mycorhizenbüscheln besetzt, die als älteste allmählich absterben, wobei braune dickere Pilzstränge von den Mycorhizen aus über das ganze Wurzelstämmchen sich verbreiten. B 80 cm von der Pflanze, mit einigen noch lebenden Mycorhizenbüscheln besetzt. C 100 cm von der Pflanze entfernt, mit lauter pilzfreien Saugwurzeln. Schwach vergrößert.



“Figura. 1. Dependencia de la Micorriza sobre el contenido de humus del suelo. Muestra seleccionada de la cubierta de humus del bosque de pinos, donde muchas micorrizas surgen de pequeñas raíces de succión. Ampliación débil” (Frank, 1888, p. 268)¹⁴

Figure 13. Micorriza extraída de humus del bosque.

Recuperado de Texto original de A.B. Frank de 1888.

Gracias a las anteriores representaciones y descripciones realizadas por Frank, fue posible identificar la importancia del humus como un factor condicionante de la presencia de las micorrizas. Al mismo tiempo, se resalta la capacidad del científico de describir e ilustrar sus observaciones, las cuales, gracias a su gran detalle, casi 40 años después aún siguen siendo un ejemplo genuino de rigurosidad.

7.3.3.4. El hongo conduce al árbol, nutrientes y agua.

Finalmente, la última gran idea hace referencia a la profundización de la relación simbiótica realizada entre el hongo y la raíz del árbol, es decir, hace referencia al tipo de ayuda o cooperación existente entre ambos organismos. En ese sentido, para poder acercarse a la comprensión de dicha relación Frank tuvo que ser crítico y reflexivo frente a los diferentes fenómenos que observaba, de tal manera, que optó por realizar cuestiones que le permitieran comprender a profundidad la naturaleza de la relación hongo-raíz que estudiaba.

¹⁴ Fig. 1. Abhängigkeit der Mycorrhiza vom Humusgehalt des Bodens. Beliebige herausgegriffene Stelle aus der Humusdecke des Waldbodens von Kiefernhochwald, wo auf kleinem Raum eine Menge Mycorrhizen aus kreuzend querwachsenden Saugwurzelstämmchen entspringen. Schwach vergrößert.

El uso de preguntas a lo largo de los diferentes textos de A.B. Frank, representa un hallazgo 55 significativo, ya que permite deducir que una de las habilidades de los científicos, consiste en cuestionar los hechos y fenómenos observados en el mundo biológico. Del mismo modo, el uso de preguntas durante el proceso de escritura del científico, demuestra que posee estructuras conceptuales coherentes, que lo inducen a presentar la información a través de ideas, o preguntas claves que le permitan direccionar y guiar la presentación de sus resultados. A continuación, se recuperan algunas de las cuestiones realizadas por Frank en los TCH estudiados, que se relacionan específicamente con el servicio que brinda el hongo al árbol:

“Pero, puesto que el hongo mismo es activo en la producción del Micorriza, no hay parasitismo ordinario, sino una relación mutualista, una simbiosis real, y surge la pregunta de ¿cuál es el servicio que el hongo recibe la raíz del árbol? En este punto, todavía no se puede establecer una idea definida; Pero no es probable que se relacione con solo necesidades nutricionales.” (Frank, 1888, p. 268).¹⁵

Otro ejemplo del uso de preguntas o cuestiones para direccionar la investigación, puede evidenciarse en el siguiente fragmento:

Ahora, la cuestión de gran interés debe ser, ¿el árbol es dañado por el parasitismo fúngico de sus raicillas? Sabemos por una multitud de casos que los hongos parásitos dañan sus plantas huésped... Sin embargo, la raíz no muere de ninguna manera a causa del hongo, ya que a pesar de su cambio no pierde la capacidad de funcionar, la prosperidad de este último, lo demuestra adecuadamente. Por la misma razón, la idea de que el hongo prive el árbol de los nutrientes minerales carece de peso... Se concluye de todo esto, que el hongo raíz, al menos en el estado micelial, no puede infligir absolutamente ninguna desventaja en el árbol (Frank, 1885, p. 142).¹⁶

¹⁵ Allein da der Pilz selbst activ sich bei der Herstellung der Mycorrhiza verhält, so liegt eben kein gewöhnlicher Parasitismus, sondern ein mutualistisches Verhältniss, eine wirkliche Symbiose vor, und es drängt sich daher auch die Frage auf, welche Gegengabe für seinen Dienst der Pilz von der Baumwurzel empfängt. Hierüber lässt sich gegenwärtig noch keine bestimmte Vorstellung begründen; dass es reine Ernährungsbedürfnisse des Pilzes sein sollten, ist nicht wahrscheinlich.

¹⁶ Fragmento original: Von hohem Interesse muss jetzt die Frage sein, ob durch den Pilzparasitismus auf den

La realización de cuestiones y análisis sobre los hechos observados, quedaría vacía sin una interpretación o respuesta a las mismas, por ende, a lo largo de sus textos, Frank es claro al dar solución a las diferentes preguntas guiadoras planteadas y, específicamente, la reciprocidad nutricional del hongo-raíz, veamos:

“Este hecho impone el sello de simbiosis sobre esta relación, porque ambos organismos unidos viven juntos en ayuda recíproca sin dañarse entre sí. Que el agua del suelo y los nutrientes necesarios para el árbol se suministran sólo a través de la mediación del hongo no puede ser cuestionado: envuelve toda la superficie de las raicillas de alimentación, y sus hifas desempeñan el papel que los pelos de raíz para otras plantas en contacto íntimo con el suelo. El hongo absorbe los minerales del suelo no sólo para su propia nutrición, sino también para el árbol, por lo que debemos considerar que el hongo de la raíz es el único órgano para la absorción de agua y nutrientes del suelo por robles, hayas, etc. Nodrizas del árbol en este sentido (Frank, 1885, p. 142)”.¹⁷

En ese sentido, la capacidad de realizar cuestiones sobre la naturaleza de los hechos, además de ser una cualidad evidente en Frank, que lo llevo a postular una importante teoría sobre la nutrición en las plantas; es, de igual modo, una estrategia para dar soporte y coherencia a su investigación, logrando evidenciar ante sus lectores, el dominio riguroso del tema en cuestión.

Wurzein dem Baume ein Schaden erwächst, da wir ja aus tausend Fällen wissen, dass parasitische Pilze ihren Nährpflanzen verderblich sind. Allein die Wurzel wird durch den Pilz keineswegs getötet und sie verliert auch trotz ihrer Veränderung nicht die Fähigkeit für den Baum zu functioniren, wie ja das Gedeihen des letzteren zur Genüge beweist. Aus demselben Grunde kann auch die Entziehung von assimilirten Nährstoffen durch den Pilz für den Baum nicht ins Gewicht fallen.

¹⁷ Fragmento original: *Schon dieser Umstand drückt eben diesem Verhältnisse den Stempel der Symbiose auf, wo die beiden vereinigten Wesen, ohne gegenseitige Schädigung, vielmehr zur wechselseitigen Hülfeleistung zusammenleben. Denn für das, was der Pilz von der Pflanze empfängt, leistet er ihr auch einen Gegendienst, einen Dienst von eminenter Bedeutung, denn dieser stellt sich als der wichtigste Factor in der Ernährung des Baumes dar. Es kann nicht bestritten werden, dass das ganze für den Baum erforderliche Quantum von Wasser und Nährstoffen aus dem Boden nur durch Vermittlung des Pilzes demselben zugeführt wird,*

En este apartado, se presentarán los elementos para la enseñanza de las micorrizas, recuperados a partir del análisis de los TCH, de tal manera, que puedan ser tomados en cuenta en un futuro por docentes en formación inicial o en ejercicio, en el momento de realizar sus propuestas educativas de enseñanza.

El análisis de los TCH permitió la identificación de tres (3) elementos fundamentales, que están presentes de manera consistente en los diferentes textos y, que de acuerdo con Chang (2011, 2016), requieren procesos de recuperación, conciencia crítica y extensión. Dichos elementos fueron identificados en los diferentes aspectos de orden conceptual, que estructuraron el análisis de los TCH y son: i. Uso de imágenes; ii. Uso de analogías y iii. Contenido Científico.

A continuación, se caracterizarán cada uno de los anteriores elementos y, se profundizará sobre la importancia de los mismos para la enseñanza de la biología, haciendo énfasis, en la enseñanza de la micorriza.

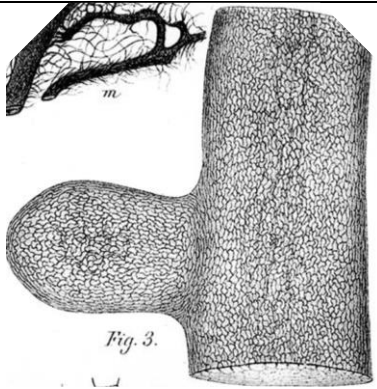
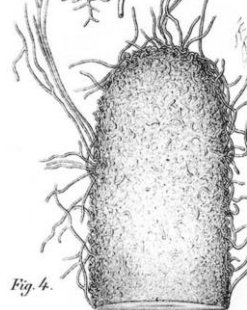
8.1. Uso de ilustraciones

Una de las mayores problemáticas de la Enseñanza de las Ciencias es la dificultad para representar y materializar a los estudiantes aquellas temáticas, fenómenos y conceptos que no pueden ser fácilmente observados. Por tanto, es común encontrar en diferentes recursos educativos como libros de texto, cartillas, software, entre otros, la presencia de imágenes e ilustraciones. Pero, ¿Cuál es la diferencia entre ambos términos? Perales (2002) afirma, la imagen es la representación de seres, objetos o fenómenos, ya sea con un carácter gráfico (en soporte papel o audiovisual, fundamentalmente) o mental (a partir de un proceso de abstracción más o menos complejo); mientras que la ilustración se trata de una imagen más específica, de carácter exclusivamente gráfico, y que acompaña a los textos escritos con la intención de complementar la información que suministran.

Para el presente trabajo de grado, se hizo uso del término ilustración, ya que, a partir del análisis de los TCH, se encuentra que son las ilustraciones las que acompañan, representan y complementan los diferentes conceptos desarrollados. De acuerdo con lo anterior, se destaca el

uso de más de 15 ilustraciones (ver anexo 1, 2 y 3) realizadas por Albert B. Frank en los tres 59 diferentes TCH seleccionados. Algunas de estas ilustraciones y su correspondiente descripción, pudieron ser apreciadas en el apartado del análisis de los TCH, a continuación, en la tabla 5 se destacan algunas otras ilustraciones, enfatizando en la importancia de las mismas para la enseñanza de las micorrizas.

Table 5. Uso de ilustraciones en los TCH. Elaboración propia.

Ilustración	Descripción original de A.B. Frank
 Figure 14. Parte de micorriza de <i>Carpinus betulus</i>.	“Parte de una micorriza de <i>Carpinus betulus</i> con una rama lateral corta; La vista de la superficie ilustra la estructura del manto fúngico externo, suave, compuesto por un tejido pseudoparenquimatoso de células pequeñas, a través del cual se pueden ver los contornos de la epidermis de raíz subyacente. X 145” (Frank, 1885, p.145).
 Figure 15. Parte de una micorriza <i>Fagus Sylvatica</i>.	“Punta de una micorriza de <i>Fagus sylvatica</i>, que muestra la forma del manto fúngico con hifas superficiales superficialmente sueltas que crecen irregularmente en el suelo. X 145” (Frank, 1885, p.145).

Las anteriores ilustraciones acompañadas de su correspondiente descripción, facilitan al lector la comprensión y representación de diferentes estructuras morfológicas presentes en las micorrizas. En ese sentido, la funcionalidad de las ilustraciones se relaciona en gran medida con materializar conceptos que pueden llegar a presentarse como abstractos en la biología.

Ahora bien, es preciso ahondar sobre las bases teóricas que soportan el uso de ilustraciones como un elemento fundamental en la Enseñanza de las Ciencias, para ello, es necesario cuestionarse acerca de ¿Cuál es la importancia de dichas ilustraciones en la enseñanza? ¿Cuáles son las implicaciones de las mismas en la enseñanza? En ese sentido, la importancia de las ilustraciones se enfoca en que estas favorecen en los lectores la construcción de un modelo mental mientras leen, aportando a mejorar la comprensión y memorización de la disciplina, construyendo un modelo mental óptimo para el aprendizaje, permitiendo una lectura superficial, es decir, no está limitada por la lectura secuencial característica del lenguaje verbal (Perales y Jiménez, 2002).

Es posible identificar que algunas de las implicaciones que se pueden destacar para la enseñanza de la ciencia, podrían ser las determinadas por Levie y Lentz (1982) y retomadas por Perales y Jiménez (2002):

1. En las situaciones habituales en las que se desarrolla la educación, la introducción de ilustraciones que embellecen el texto y permiten atraer su atención, provocan reacciones afectivas y hacen más atractivos los documentos.
2. Cuando las ilustraciones redundan la información contenida en el texto, se produce un efecto positivo sobre el aprendizaje.
3. Las ilustraciones adecuadas ayudan a comprender el texto ilustrado, facilitan su memorización, especialmente a largo plazo, y permiten una gran variedad de funciones instructivas necesarias para la Enseñanza de las Ciencias.
4. Facilitan el aprendizaje aportando un contexto en el que se organiza la información contenida en el texto.
5. En algunas ocasiones, las ilustraciones pueden sustituir muy bien a las palabras aportando con mayor eficacia información extralingüística.
6. Las investigaciones en las que se ha incentivado a los alumnos a crear sus propias imágenes mentales, o incluso sus propios dibujos, muestran resultados positivos en algunos casos, pero con complejas interacciones.

7. Las ilustraciones mejoran el recuerdo y facilitan la comprensión de textos en los que se describen las relaciones entre diversos elementos siempre que aquéllas muestren esas relaciones.

Finalmente, es posible destacar que, particularmente el uso de ilustraciones en la enseñanza de las micorrizas, es un elemento relevante para la representación de aquello que no es visible a simple vista, pero que tiene gran significancia para la comprensión del mundo biológico.

8.2. Uso de analogías

Para comprender la importancia del uso de las analogías en la Enseñanza de las Ciencias, es necesario en primera medida, acercarnos a la definición de las mismas; “las analogías comprenden (a) una determinada cuestión desconocida o no familiar (objetivo, objeto), (b) una cuestión conocida (análogo, base) que resulta familiar para el sujeto que intenta aprender y (c) un conjunto de relaciones que se establecen entre (a) y (b) o serie de procesos de correspondencia entre los componentes de ambos. Además, existen atributos no compartidos que constituyen las limitaciones de la analogía” (Raviolo 2009, p. 55).

De esta manera, el uso de analogías por parte de Albert B. Frank en sus diferentes textos, se consolida como una manera práctica de construir de nuevas representaciones científicas y comunicar las mismas a otros dentro de la comunidad científica (González González & Jiménez, 1998). Sin embargo, además de consolidarse como un recurso relevante en el momento de exponer diferentes hallazgos científicos, también se puede explorar las potencialidades de dicho elemento en la Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias.

Una de las potencialidades de este recurso se relaciona con proporcionar a los estudiantes medios para desarrollar sus ideas, utilizando la analogía como punto de referencia para explicar o expresar sus ideas en el aula de clases (Brown y Clement, 1989). En ese sentido, los estudiantes exploran sus conocimientos previos y a partir de ellos construyen relaciones para poder dar sentido y significancia a las ideas científicas que desean expresar.

Algunas otras potencialidades identificadas por González-González & Jiménez, (1998) a través de una revisión de diferentes documentos y artículos sobre el uso de las analogías en la Enseñanza de las Ciencias, son las siguientes: 62

- Desempeñan un rol importante en la representación de las nuevas ideas científicas y en la comunicación de las mismas a otros miembros de la comunidad científica, por lo que se caracterizan como herramientas fundamentales en el aprendizaje de conceptos, ideas y teóricas científicas.
- La analogía puede a veces servir como propósito para resaltar lo que ya es conocido.
- Promueven la imaginación y la creatividad desde diferentes ámbitos.
- Aumentan la habilidad de los estudiantes para resolver problemas relacionados con las ciencias y otras áreas, al igual que facilita la comprensión de textos.

En concordancia con lo anterior, se ratifica la necesidad de que los docentes de ciencias puedan presentar los contenidos disciplinares relacionándolos con los conocimientos cotidianos, empleando para ello, el uso de analogías que permitan al estudiante comprender con mayor facilidad la temática en cuestión.

A continuación, se destacan una de las analogías¹⁸ más claras empleadas por A. B Frank, que son consistentes con los elementos expuestos hasta este momento, y que, es posible que al ser empleadas faciliten en gran medida la enseñanza- aprendizaje de las micorrizas. Esta, fue empleada por Frank (1887) al hacer referencia a una micorriza encontrada exclusivamente en ciudad del cabo, específicamente, menciona:

“Las raíces son bastante ricas en ramificaciones y tienen un aspecto muy peculiar, porque a simple vista está muy densamente cubierto de filamentos radiculares, bastante gruesos, todos de la misma longitud. Parecen demasiado gruesos para las raíces; pero se vuelven cada vez más

¹⁸ Otro ejemplo de analogía puede evidenciarse en el apartado 7.2.1.

cortos cerca del ápice de la raíz, para desaparecer un poco antes de la punta. La raíz parece con este aspecto a la cola de un zorro.” (P. 399).¹⁹

A pesar de que las descripciones de Albert B. Frank acerca de sus observaciones sean claras, fue necesario hacer uso de un elemento que permitiera relacionar la nueva información con ideas presentes en la cotidianidad, como lo fue, relacionar la estructura y organización de las raicillas de la micorriza, con la organización de los pelos de la cola de un zorro. Una analogía que a través de su simplicidad permite comprender aspectos de orden conceptual de gran relevancia.

En ese sentido, se destaca el uso de analogías como un elemento funcional y aplicable en la enseñanza de la biología y, específicamente, en la enseñanza de las micorrizas, ya que permite la construcción de relaciones entre lo conocido y lo nuevo.

8.3. Contenido científico

Es posible destacar que la investigación en Enseñanza de las Ciencias, se enfoca en la resolución de tres diferentes cuestiones, ¿Qué enseñar? ¿Cómo enseñar? ¿Para qué enseñar? La primera de estas preguntas, hace referencia al tipo de contenidos (temas, ideas, teorías, modelos de las ciencias) que se movilizan en las aulas de clase. La segunda pregunta, se relaciona con las diferentes herramientas y recursos empleados en el proceso de enseñanza- aprendizaje. Finalmente, la última cuestión, se relaciona con los propósitos u objetivos que fundamentan los procesos de enseñanza.

Teniendo en cuenta lo anterior, el último de los elementos que se recupera a través del estudio histórico-filosófico de los TCH de Albert B. Frank, se relaciona con la identificación de

¹⁹ Fragmento Original: Für Wurzelhaare erscheinen sie fast zu grob; aber so dicht und gleichmässig wie jene bekleiden sie die Wurzel, und wie jene so werden sie in der Nähe der Wurzelspitze immer kürzer um ein Stück vor der Spitze ganz zu verschwinden. Die Wurzel erinnert mit dieser Bekleidung in ihrem Aussehen etwa an einen Fuchsschwanz.

64

contenidos científicos y su organización a través de cuatro grandes ideas inmersas consistentemente en cada uno de estos textos. Estas cuatro grandes ideas, pueden ser profundizadas a través de diferentes contenidos de la actualidad. En la figura 16, se presentan dichas ideas y su relación con los contenidos en ciencias aplicables al desarrollo de estas ideas.

La selección y organización consciente de los contenidos científicos relacionados con las micorrizas a través de estas grandes ideas, permitirá establecer bases conceptuales claras para la enseñanza de este concepto; ya que permite construir un panorama amplio de las temáticas estructuran el aprendizaje de las micorrizas. Del mismo modo, facilita adquisición de estructuras mentales coherentes de las temáticas, ya que todas estas, se relacionan implícita o explícitamente a través de las grandes ideas.

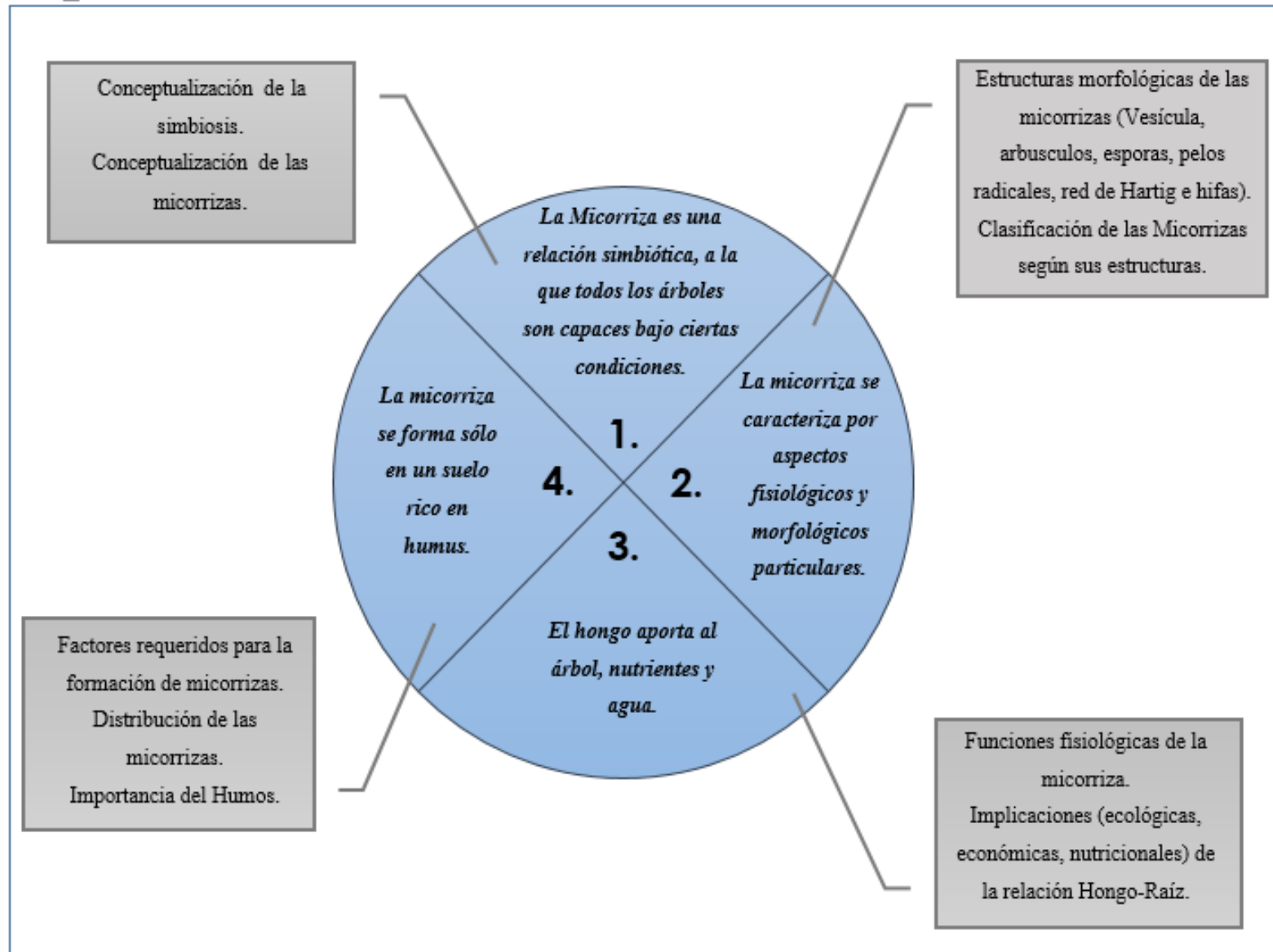


Figure 16. Grandes ideas de las micorrizas. Elaboración propia.

Las conclusiones de este trabajo de grado, son el resultado de las reflexiones y análisis realizados durante los diferentes procesos metodológicos que constituyen esta investigación.

Es preciso mencionar en primera medida, las diferentes ventajas que aportó la realización del estudio histórico-filosófico para la enseñanza de las micorrizas. Este tipo de recursos, enfocados específicamente, en el análisis de los TCH, permitió el acercamiento al conocimiento científico de las micorrizas. Dicha profundidad conceptual hace referencia a la posibilidad de identificar, reconocer y recuperar ideas, teorías, modelos y conceptos inmersos en los TCH, tal como la identificación de grandes ideas relacionadas con los aspectos morfológicos y fisiológicos de las micorrizas. Todo ello, se hace posible a través de la lectura y reflexión de las fuentes originales, es decir, del artículo (s) realizado por el científico; evitando así, sesgos conceptuales o interpretaciones inadecuadas.

Del mismo modo, este estudio histórico-filosófico, permitió acercarse a la actividad científica y a su contexto de producción. Se evidencia que la construcción e investigación de un concepto como lo es el de la micorriza, se basa en un proceso plurificado, en el que diversos científicos pertenecientes a múltiples comunidades contribuyen en la construcción del conocimiento científico, cada uno de ellos aportando desde el producto de su contexto cultural, social, religioso y político al que pertenecen o pertenecieron. Dicha diversidad, favorece la construcción de una visión de la actividad científica que es mucho más consecuente con la realidad, alejándose de simplificaciones en las cuales la construcción del conocimiento científico se hace de manera individual y no se somete a cambios o transformaciones.

Por otra parte, respecto a la selección de los TCH de Albert B. Frank es posible concluir que dicho proceso metodológico es indispensable para filtrar y recolectar información histórica y científica concerniente a las micorrizas. Así mismo, se concluye que la selección de este material, debe basarse necesariamente en criterios de selección que permitan delimitar la documentación histórica disponible y, a su vez, determinar la relevancia de dichos documentos para la investigación.

Respecto al análisis realizado de los TCH recopilados sobre el concepto *micorrizas*, es posible ⁶⁷ concluir que se presentó como una herramienta de recuperación y conciencia crítica y reflexiva sobre la ciencia; gracias a que dicho análisis, fue acompañado desde un enfoque complementario de la ciencia. El análisis adquirió un enfoque descriptivo-interpretativo, lo cual permitió que se profundizara detalladamente sobre la información consignada en cada uno de los TCH y, a su vez, facilitó identificar elementos que fueran significativamente importantes para la enseñanza de las micorrizas. Así mismo, el análisis de los TCH, se instaura como un recurso de organización y profundización conceptual e histórica; que facilitó la comprensión de los TCH.

En cuanto a los elementos para la enseñanza de las micorrizas, los cuales surgieron a partir del estudio histórico-filosófico de los TCH, es posible explicitar que a pesar de que son elementos que actualmente se encuentran presentes en gran parte de los procesos de Enseñanza de las Ciencias, se sugiere que sean empleados los elementos específicos encontrados en los TCH, es decir, las ilustraciones, analogías y la estructura de contenido científico elaborado por Albert B. Frank, ya que la utilización consciente de estos elementos históricos en la enseñanza puede llegar a promover habilidades cognitivo-lingüísticas y facilitar el aprendizaje de las micorrizas.

Es decir, se espera que el uso de los elementos para la Enseñanza de las micorrizas mencionados previamente, potencie en el aula habilidades lingüísticas como la argumentación, la justificación y la explicación. Todo ello, siempre y cuando ser materilizado por el docente a cargo a través de una unidad didáctica o una secuencia de actividades elaboradas de manera consciente y consistente con las necesidades contextuales de los estudiantes y teniendo en cuenta la profundidad conceptual, histórica y filosófica que se requiere para abordar la temática.

Otro de los elementos que es necesario descatar, hace referencia a la importancia de las micorrizas y la simbiosis como dos conceptos que necesitan ser movilizados mucho más en los entornos educativos; debido a que poseen características integradoras que pueden llegar a promover en los estudiantes nuevas formas de comprender el mundo biológico y las interacciones que lo componen. En ese sentido, se hace un llamado a los docentes en formación y en ejercicio para que exploren y profundicen sobre dichas ideas y aporten significativamente a

través de recursos, materiales e investigaciones que faciliten la enseñanza y aprendizaje de las micorrizas y de la simbiosis. 68

Finalmente, en cuando a las proyecciones de investigaciones futuras que surgen a partir de este trabajo de grado, se relacionan con profundizar acerca de la micorriza como un concepto transformador de la teoría de nutrición en las plantas, ya que tal como se explicitó durante este documento, la significancia de dicho concepto modifica las formas de comprender la naturaleza y las interacciones biológicas inmersas en él. Del mismo modo, se espera poder materializar cada uno de los elementos identificados a partir del análisis, por medio de la elaboración de una unidad didáctica para la enseñanza de la micorriza.

- Álvarez-Lires, M. (2014). Algunas orientaciones para la formación docente en historia de las ciencias. En M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «nueva aula de ciencias» promotora de ciudadanía y valores*. (pp. 52-65). Santiago de Chile: Bellaterra.
- Andrade-Torres, A. (2010). Micorrizas: Antigua Interacción Entre Plantas Y Hongos. *Ciencia*, 84-86. Recuperado a partir de https://www.academia.edu/653234/Micorrizas_Antigua_interacción_entre_plantas_y_hongos
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19-37.
- Bachelard, G. (2000). *La formación del espíritu científico* (Siglo Vein). México.
- Boido, G., & Lombardi, O. (2012). Las relaciones entre historia y filosofía de la ciencia. *Revista exactamente*, 50, 17. Recuperado a partir de <http://exactas.uba.ar/extension/index.php>
- Bradford, M. D., & Schwab, E. (2012). Current Usage of Symbiosis and Associated Terminology. *International Journal of Biology*, 5(1), 32-45. <https://doi.org/10.5539/ijb.v5n1p32>
- Brito, A., Rodriguez, M. A., & Niaz, M. (2005). A reconstruction of development of the periodic table based on history and philosophy of science and its implications for general chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 84-111. <https://doi.org/10.1002/tea.20044>
- Cabrera-Castillo, H. G., & Quintanilla, M. (2014). Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente en ciencias naturales. En M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «nueva aula de ciencias» promotora de ciudadanía y valores*. (pp. 202-216). Santiago de Chile: Bellaterra.
- Cabrera, H. G. (2010). Elementos históricos epistemológicos desde Kuhn que permiten la identificación de aportes para la enseñanza de la combustión, 1-111.
- Cabrera, H. G. (2012). Análisis descriptivo sobre el concepto combustión en libros de texto universitarios. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(3), 311-328.
- Cabrera, H. G. (2016). *Aportes a la enseñanza de la química a partir de un estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión para profesores en formación inicial*. Universidad del Valle.
- Camacho, J. (2011). La historia de la teoría electroquímica y su contribución a la promoción de la explicación científica en la química escolar. *Revista Científica*, 14(1242253), 08-20.

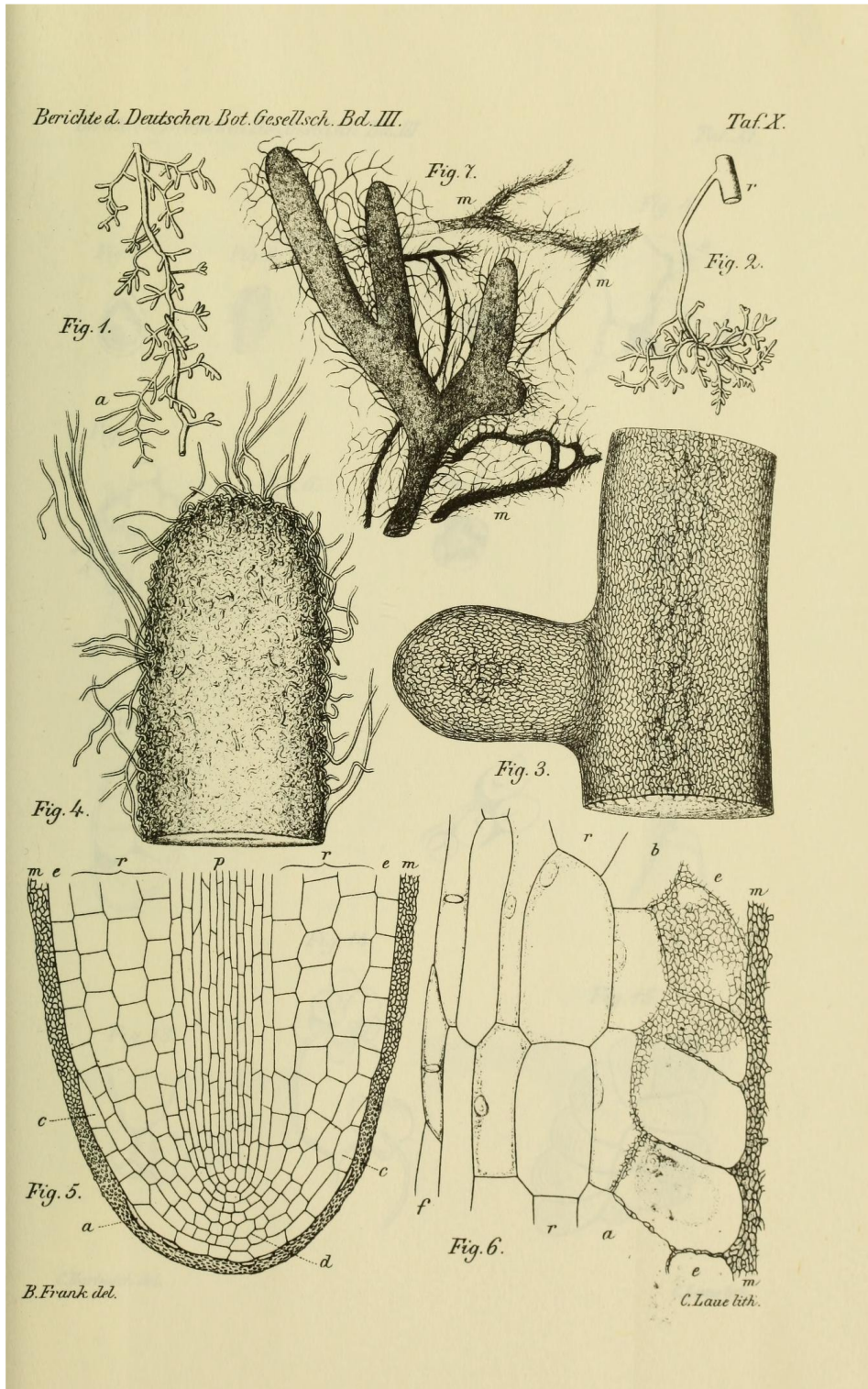
- Camargo-Ricalde, S. L., Montaña, N. M., De la Rosa Mera, C. J., & Montaña Arias, S. A. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13(7), 19. Recuperado a partir de <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf> 70
- Campbell, N. (2001). *Biología: conceptos y relaciones*. Pearson Educación.
- Cavicchi, E. (2015). Learning Science as Explorers: Historical Resonances, Inventive Instruments, Evolving Community. *Interchange*, 45(3-4), 185-204. <https://doi.org/10.1007/s10780-015-9235-9>
- Chalmers, A. F. (2000). *¿Qué es la cosa llamada ciencia? Siglo XXI editores*. Recuperado a partir de <https://ulagos.files.wordpress.com/2012/03/libro-que-es-esa-cosa-llamada-ciencia.pdf>
- Chang, H. (2004). Complementary Science-History and Philosophy of Science as a continuation of Science by other Means. En *Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress* (pp. 235-249). <https://doi.org/10.1093/0195171276.001.0001>
- Chang, H. (2011). How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry. *Science and Education*, 20(3), 317-341. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9301-8>
- Chang, H. (2016). Who cares about the history of science? *Notes Rec*, 1-17.
- Cherif, A. H. (1990). Mutualism The Forgotten Concept in Teaching Science. *The American Biology Teacher*, 52(4), 206-208. <https://doi.org/10.2307/4449085>
- Curtis, H., & Schnek, A. (2008). Curtis. Biología. Ed. Médica Panamericana.
- Ezcurra, E. (2003). Pasión y simbiosis. *Ciencias* 71, 76-79.
- Fernández, M. T., Bertran, A. M., Ibarra, R. E., & Pacheco, A. C. (2009). Concepciones de los maestros sobre la enseñanza y el aprendizaje y sus prácticas educativas en clases de ciencias naturales. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 27(2), 287-298. Recuperado a partir de <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/132243/182111>
- Franco Navarro, J. D. (2008). Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas.
- Frank, A.B. (1885). *Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze*. Ber Dtsch Bot Ges 3:128-145
- Frank, A.B. (1887). *Ueber neue Mykorrhiza-Formen*. Ber Dtsch Bot Ges 5:395-409
- Frank, A.B. (1888). *Ueber die physiologische Bedeutung der Mykorrhiza*. Ber Dtsch Bot Ges 6:248-269
- Galindo, L. (2013). *Dinámica de los bosques neotropicales de Pinus-Quercus: Importancia de la*

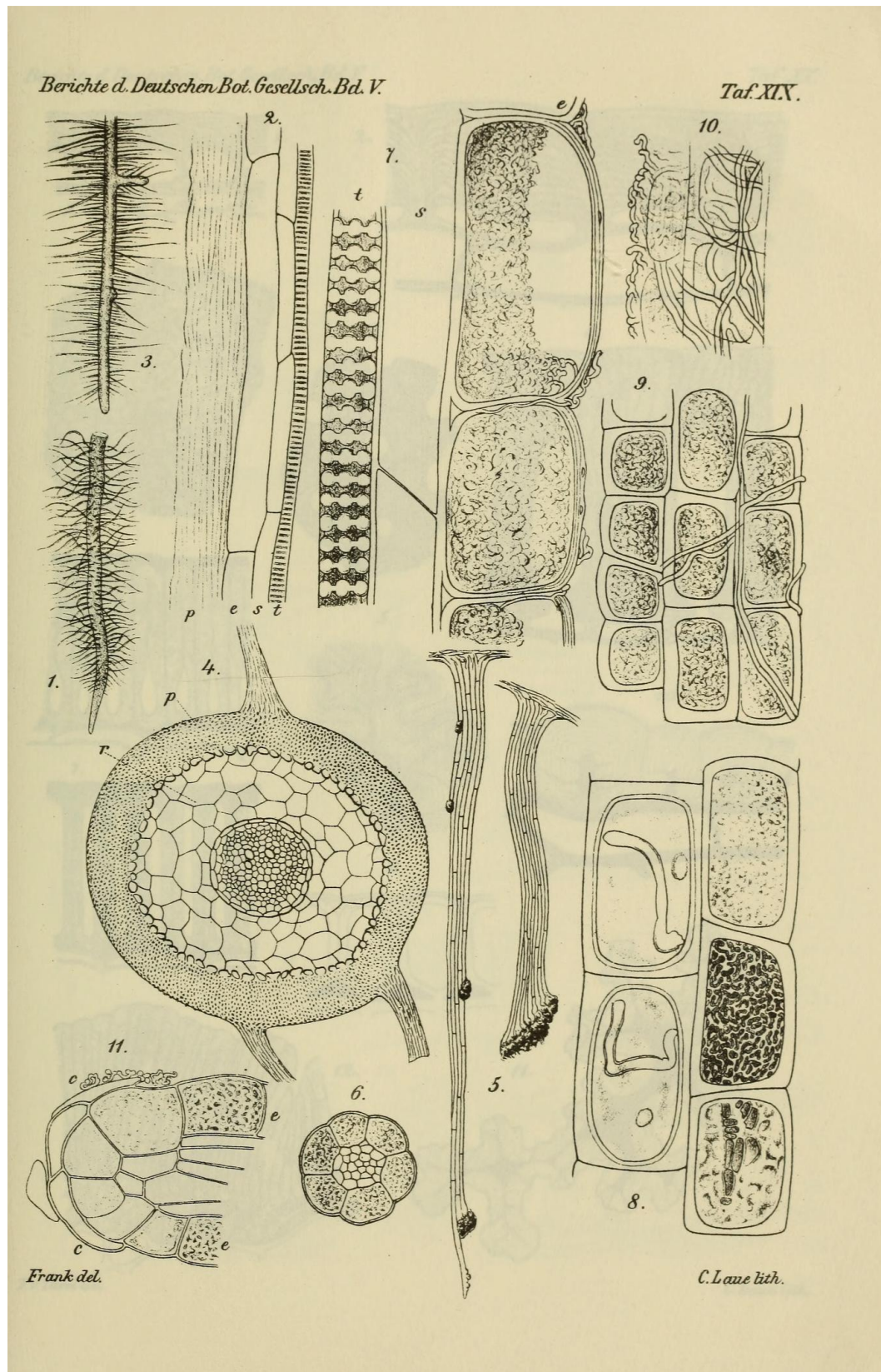
- García, E. G. (2009). Historia, epistemología y enseñanza de las ciencias; caso mecánica de fluidos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 1256-1260.
- García, E. G. (2014). Análisis histórico-crítico del fenómeno eléctrico . Hacia una visión de campo. *Física y Cultura: Cuadernos Sobre Historia y Enseñanza de las Ciencias*, (8), 73-92. Recuperado a partir de <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/RFC/article/view/2524/2345>
- García, J., & López, A. (2002). *Las micorrizas no son hongos*. México.
- Gonzales L.G. (2017). Darwin y los naturalistas del Plata: una propuesta para la utilización de la historia y la sociología de la ciencia en la enseñanza de la teoría de la evolución Leonardo. En M. Quintanilla, C. Agudelo, H. Cabrera, M. Cerquera, C. Garrido, O. Godoy, ... N. Solsona (Eds.), *La historia de la ciencia en la investigación didáctica, aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias* (1a edición, pp. 34-59). Santiago de Chile: Bellaterra.
- González González, B. M., & Jiménez, T. (1998). Las analogías en la enseñanza de las ciencias, 204-206.
- Granés, J., & Caicedo, L. M. (1997). Del contexto de la producción de conocimientos al contexto de la enseñanza. Análisis de una experiencia pedagógica. *Revista colombiana de educación*, 34.
- Hernández, M. G., & Cabrera, H. G. (2017). Aportes para la enseñanza del concepto homeostasis derivados de su análisis histórico. En M. Quintanilla, C. Agudelo, H. Cabrera, M. Cerquera, C. Garrido, O. Godoy, ... N. Solsona (Eds.), *La historia de la ciencia en la investigación didáctica, aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias* (1a edición, pp. 60-73). Santiago de Chile: Bellaterra.
- Izquierdo, M., García-Martínez, A., Quintanilla, M., & Adúriz-Bravo, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias* (Primera ed). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Koide, R. T., & Mosse, B. (2004). A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 14(3), 145-163. <https://doi.org/10.1007/s00572-004-0307-4>
- Kragh, H. (1989). Algunos Aspectos Del Desarrollo De La historia de la ciencia. En *Introducción a la historia de la ciencia* (pp. 1-28).
- Lakatos, I. (1982). Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales. Recuperado a partir de <http://users.dcc.uchile.cl/~cguiter/cursos/cts/articulos/lakatos.pdf>

- Levie, W. y Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: a review. *Research Educational Communications and Technology Journal*, 30(4), pp. 195-232. 72
- Lewowicz, L. (2010). Precisión e imaginación, claridad y rigor. *Ludus Vitalis*, XVIII, 309-312.
- Lombardi, O. . (1997). La Pertinencia De La Historia En La Enseñanza De Ciencias: Argumentos Y Contraargumentos. *Enseñanza de las ciencias*, 15(3), 343-349.
- Lucio Llantén, G. (2016). *Diseño y construcción de un prototipo experimental para la enseñanza de los líquenes como bioindicadores en la educación básica*. Universidad de valle.
- Margulis, L. (2002). Simbiosis por todas partes. En *Planeta simbiótico. Un nuevo punto de vista sobre la evolución* (pp. 15-22). Editorial Debate S.A. Recuperado a partir de <http://www.medicinayarte.com/img/margulis-lynn-planeta-simbiotico.pdf>
- Muñoz, F., Valencia, E., & Cabrera-Castillo, H. G. (2017). Situaciones Científicas Escolares Problematicadoras a partir del análisis del Experimento V de Robert Boyle. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 115-125.
- Núñez, G., Pereira, R., Maturano, C., & Mazzitelli, C. (2007). Dificultades en la formación disciplinar de docentes de ciencias naturales, 1-6.
- Perales, F. J., & Jiménez, J. de D. (2002). Las Ilustraciones En La Enseñanza-Aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 369-386.
- Quintanilla, M., Merino, C., & Rosales, S. D. (2010). *Unidades didácticas en química. Su contribución a a promocion de competencias de pensamiento científico*.
- Rebollo, M. (1996). Una aproximación didáctica a la naturaleza de la ciencia a través de los textos históricos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(1), 53-58. Recuperado a partir de <https://ulagos.files.wordpress.com/2012/03/libro-que-es-esa-cosa-llamada-ciencia.pdf>
- Redes microbianas. (2011). Concepto de Micorriza. Recuperado a partir de <http://www.redesmicrobianas.com/concepto-de-micorriza/>
- Ryan, F. (2015). *Darwin's Blind Spot. The role of living intractions in Evolution*. Swift Publishers.
- Solsona, N. (2014). Las Mujeres en la Historia de la Ciencia. En *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «nueva aula de ciencias» promotora de ciudadanía y valores*. (pp. 155-177). Santiago de Chile: Bellaterra.
- Solsona, N. (2015). Análisis de las estrategias de autorización de mujeres científicas en la Ilustración. *Revista Física Y Cultura*, (9), 25-40.
- Stock, S. P., Bordenstein, S. R., Odden, J., Oldenburg, D., Reznikoff, W., Werren, J. H., & Selosse, M. A. (2010). Symbiosis instruction: Considerations from the education workshop

- Suárez, M. C. (2006). *Propuesta de enseñanza-aprendizaje sobre las interacciones entre las poblaciones y su vocabulario científico*. Universidad de Antioquia.
- Tacca Huamán, D. R. (2010). La enseñanza de las Ciencias Naturales en la Educación Básica. *Investigación Educativa*, 14(26), 139-152.
- Tolvanen, S., Jansson, J., Vesterinen, V. M., & Aksela, M. (2014). How to Use Historical Approach to Teach Nature of Science in Chemistry Education? *Science and Education*, 23(8), 1605-1636. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9646-x>
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana Vol. I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.
- Trappe, J. M. (1971). Mycorrhiza-forming ascomycetes. En E. HacsKaylo (Ed.), *Mycorrhizae: proceedings of the First North American Conference on Mycorrhizae* (pp. 19-37). US Dept. of Agriculture.
- Trappe, J. M. (2005). A.B. Frank and mycorrhizae: The challenge to evolutionary and ecologic theory. *Mycorrhiza*, 15(4), 277-281. <https://doi.org/10.1007/s00572-004-0330-5>
- Trappe, J. M., & Fogel, R. D. (1977). Ecosystematic functions of mycorrhizae. En *The belowground ecosystem: a synthesis of plant-associated processes* (Vol. 26, pp. 205-214). Recuperado a partir de <http://andrewsforest.oregonstate.edu/pubs/pdf/pub2044.pdf>
- Vallverdú, J. (2005). ¿Cómo finalizan las controversias? Un nuevo modelo de análisis: la controvertida historia de la sacarina. *Revista CTS*, 2, 19-50.
- Zambrano, A. C., Salazar, T. I., Candela, B. F., & Villa, L. Y. (2013). LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS EN COLOMBIA. *Revista EDUCyT*, 7(Junio-Diciembre). <https://doi.org/ISSN: 2215 - 8227>
- Zapata Villamil, C. S. (2014). *Enseñanza-Aprendizaje del concepto de bacteria en estudiantes de segundo de primaria de zona rural*. Universidad Nacional de Colombia.

Anexo 1. Ilustraciones de TCH “Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze”.





Anexo 3. Ilustraciones de TCH "Ueber die physiologische Bedeutung der Mycorrhiza".

