

Aportes del análisis de A. B. Frank para la enseñanza de las micorrizas

María Daniela Villa Henao¹
Henry Giovany Cabrera Castillo¹

Recibido: 11 de marzo de 2021

Aceptado: 14 de abril de 2021

Resumen: Este documento presenta un análisis de textos científicos históricos (TCH) de Albert B. Frank sobre las micorrizas. El análisis permitió la identificación de tres grandes ideas del estudio de la micorriza y de aspectos conceptuales clave y recursos explicativos. Para la investigación se empleó una metodología cualitativa de tipo descriptivo-interpretativo, constituida de cuatro etapas, que fueron: seleccionar, constituir, analizar y proponer. Se concluye que la realización de estudios históricos facilita la identificación y recuperación de ideas, conceptos y recursos explicativos inmersos en los TCH, que suelen pasar desapercibidos en los currículos actuales y que pueden llegar a adquirir un gran valor en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, en particular, de las micorrizas.

Palabras clave: enseñanza de la micorriza; textos científicos históricos; grandes ideas.

Title: Contributions of A. B. Frank to the teaching of mycorrhiza

Abstract: This paper presents an analysis of historical scientific texts TCH (from Spanish Textos Científicos Históricos) by Albert B. Frank on mycorrhiza. The analysis allowed the identification of three major ideas from the study of mycorrhiza while allowing the identification of conceptual aspects and explanatory resources. For the research, a qualitative methodology of a descriptive-interpretive type was used, consisting of four stages, which were: select, constitute, analyze, and propose. It is concluded that the realization of historical studies facilitates the identification and recovery of ideas, concepts, and explanatory resources immersed in the TCH, which tend to go unnoticed in current curricula and that can acquire great value in the teaching and learning processes of the sciences of mycorrhiza.

Keywords: teaching of mycorrhiza; historical scientific texts; major ideas.

1. Introducción

En la actualidad, es frecuente encontrar investigaciones que reconocen la importancia de la historia, filosofía y enseñanza de las ciencias (HFEC). Por ejemplo, se destacan aportes de la HFEC en cuanto a enriquecer la formación docente, promover el desarrollo de prácticas experimentales, desarrollar competencias de pensamiento científico en los

¹ Universidad del Valle. Cali, Valle del Cauca, Colombia.

✉ maria.daniela.villa@correounivalle.edu.co |  0000-0003-0931-8106

✉ henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co |  0000-0003-4476-4427

Villa Henao, María Daniela y Cabrera Castillo, Henry Giovany. (2021). Aportes del análisis de A. B. Frank para la enseñanza de las micorrizas. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 5(2), 20–41. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/article/view/31853>



estudiantes, facilitar el reconocimiento de la diversidad de género en la actividad científica y contribuir a la reflexión de los contenidos científicos en espacios educativos (Izquierdo, García-Martínez, Quintanilla & Adúriz-Bravo, 2016; Solsona, 2015).

La HFEC es estudiada a través de diferentes recursos y perspectivas, en este caso particular se acude a la revisión de textos científico-históricos (TCH), entendidos estos como libros, artículos, comunicaciones, cartas elaboradas por la comunidad científica y otras fuentes primarias de conocimiento científico. De esta manera, estudiar las fuentes primarias del conocimiento, y no las secundarias o terciarias, evita sesgos conceptuales e impide la réplica de contenidos imprecisos, permitiendo recuperar contenido, por ejemplo, conceptos y teorías de la ciencia que han sido olvidados a lo largo del tiempo (Chang, 2016).

En el presente trabajo investigativo se empleó el análisis de TCH para recuperar un concepto de la biología que ha perdido notoriedad a través del tiempo: la micorriza. Este término hace referencia a la relación simbiótica entre dos especies diferentes, los hongos y las raíces de plantas; los cuales, a través de una interacción beneficiosa logran nutrirse y subsistir. Por tanto, el estudio de las micorrizas se hace fundamental, por ejemplo, en aquellos casos en los que se aprende sobre la nutrición de las plantas. No obstante, la presencia de este concepto en los libros de texto de ciencias escolares y universitarios es secundario, logrando pasar desapercibido ante los ojos de estudiosos del mundo biológico (Cherif, 1990; Suárez, 2006; Zapata Villamil, 2014).

En concordancia con lo anterior, la realización de esta investigación se centra en el análisis de los estudios de A. B. Frank sobre las micorrizas. El estudio de los artículos de Frank se justifica para la enseñanza y aprendizaje porque sus investigaciones fueron una de las precursoras en la caracterización simbiótica de la relación hongo-raíz. El análisis de sus textos permite la identificación de ideas fundamentales que podrán retomarse como un insumo para el diseño de actividades que permitan a los estudiantes acercarse paulatinamente al establecimiento de relaciones entre organismos de diferentes especies. Por otra parte, las ilustraciones empleadas en sus documentos sirven para representar y caracterizar de manera inicial las estructuras de la asociación hongo-raíz. De acuerdo con lo anterior, el propósito de este estudio fue contribuir a la enseñanza y aprendizaje de la micorriza, a través del esbozo de una propuesta didáctica, que incluye los aportes del análisis de TCH de Albert B. Frank.

2. Un acercamiento al estudio de las micorrizas de Albert. B. Frank

La construcción de conocimiento científico respecto al concepto micorriza fue consolidado gracias a los aportes colectivos de diferentes científicos quienes lograron estudiar, caracterizar y conceptualizar 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 Bernhard Frank (1839-1900).

Las contribuciones de cada uno de estos científicos son innegables; sus métodos y estrategias de análisis, observación y recopilación de datos permitieron obtener

grandes avances en cuanto a la consolidación del concepto micorriza (Trappe, 2005; Andrade-Torres, 2010). Sin embargo, en cuanto a lo que compete a esta investigación, el centro de interés se estableció en los aportes del botánico alemán Albert B. Frank quien, en 1885, a través de su artículo *Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze* describió e ilustró la estructura y el funcionamiento de la asociación hongo-raíz y la caracterizó como un caso particular de simbiosis; acuñando así el término micorriza. No obstante, sus estudios nunca estuvieron focalizados en las relaciones mutualistas, sino que fueron las necesidades sociales y económicas del momento, las que obligaron a que en 1880 el gobierno de Prusia, Alemania, se interesara ávidamente en la producción de trufas, para lo cual, requirieron la ayuda del experto botánico A. B. Frank.

En ese sentido, se hace necesario echar un vistazo al pasado con el propósito de reflexionar y ampliar nuestra visión sobre las motivaciones sociales, económicas y políticas que promovieron las investigaciones de Albert B. Frank sobre las micorrizas. Así pues, nos encontramos en el decenio de 1880, en medio de la segunda revolución industrial; la sociedad entera se encuentra perplejamente extasiada ante los inicios del desarrollo de la iluminación eléctrica, la construcción del canal de Panamá y el reconocimiento del efecto fotoeléctrico (Béjar, 2015). En los comercios y mercados se respira un auge económico incomparable, el intercambio de productos y servicios está en frenesí; y en el Reino de Prusia, Alemania, encuentran especial interés en la producción y comercialización del *diamante de la cocina*, la trufa. De esta manera, motivado por el gran valor comercial que representan las trufas, el Ministro de Agricultura, encarga a Albert B. Frank la realización de estudios científicos sobre las condiciones de aparición y desarrollo de estos hongos, con el fin de fortalecer el comercio de estos en Alemania (Frank, 1885).

Los anteriores hechos históricos y muchos otros, que por motivos de la presentación de este documento es imposible profundizar, permiten esbozar a grandes rasgos los intereses económicos y políticos del decenio de 1880; un decenio que como se expuso anteriormente, coincide con el inicio de los estudios sobre hongos de Albert B. Frank; quien hasta ese momento, ignoraba que sus observaciones le permitirían identificar y acuñar el término *micorriza*, cambiando para siempre la manera de comprender las relaciones entre hongo-raíz y, en general, el mundo biológico (Frank, 1885; Trappe & Fogel, 1977; Koide & Mosse, 2004; Trappe, 2005).

3. Metodología de la investigación

La presente investigación se adscribe al enfoque cualitativo de tipo descriptivo-interpretativo, debido a que se constituye a partir de reflexiones e interpretaciones, de las cuales, sus resultados no pueden expresarse eficazmente por medio de expresiones matemáticas (Cerdeña, 1991; Flick, 2007).

En ese sentido, la metodología de esta investigación se constituyó a partir de cuatro etapas metodológicas: I) delimitación del objeto de estudio, II) constitución del corpus, III) análisis de los TCH y IV) propuesta de aportes a la enseñanza de la micorriza. Los procedimientos llevados a cabo durante cada una de las etapas metodológicas, así como los resultados de estas, se presentan en los siguientes apartados.

Etapa 1. Delimitar

La primera etapa metodológica consistió en la selección de los TCH, para ello se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de delimitación: 1) identificar documentos científicos originales de Albert B. Frank cuya temática o eje de estudio principal fueran las micorrizas, y 2) seleccionar documentos con facilidad de acceso físico y/o digital, es decir, que pudieran ser descargados o adquiridos 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 objeto de estudio histórico, correspondientes a las tres últimas filas de la tabla 1 que se presenta a continuación:

Tabla 1: Producción académica de Albert B. Frank.

	Año	Revista/Libro	Título de la publicación
Producción académica (PA)	1877	Cohn Beitr Biol Pflanz	Über die biologischen Verhältnisse des Thallus einiger Krustflechten.
	1879	Bot Ztg	Über den Parasiten in den Wurzelanschwellungen der Papilionaceen.
	1885	Ber Dtsch Bot Ges 3:128–145	Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.
	1885	Gart Ztg 4:423–426	Über 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 <i>Monotropa hypopitys</i> .
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:50–58	Sind die Wurzelanschwellungen der Erlen und Eläagnaceen Pilzgallen?
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:395–409	Über neue Mykorrhiza-Formen.
	1888	Ber Dtsch Bot Ges 6:248–269	Über 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	Über 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	Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.
	1885	Gart Ztg 4:423–426	Über 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 <i>Monotropa hypopitys</i> .
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:50–58	Sind die Wurzelanschwellungen der Erlen und Eläagnaceen Pilzgallen.
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:395–409	Über neue Mykorrhiza-Formen.
	1888	Ber Dtsch Bot Ges 6:248–269	Über die physiologische Bedeutung der Mykorrhiza.
	1889	Forstl Blätt Ser 3 13:1–7	Was nützen den Waldbäumen die Wurzelpilze?
	1881	Ber Dtsch Bot Ges 9:244–253	Über 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 seleccionada	1885	Ber Dtsch Bot Ges 3:128–145	Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.
	1887	Ber Dtsch Bot Ges 5:395–409	Über neue Mykorrhiza-Formen
	1888	Ber Dtsch Bot Ges 6:248–269	Über die physiologische Bedeutung der Mykorrhiza.

Fuente: elaboración propia.

Etapa 2. Constituir

En esta segunda etapa metodológica, se llevó a cabo la constitución del corpus del estudio, para ello, fue necesario que los tres TCH seleccionados en la anterior etapa fueran sometidos a los siguientes procesos metódicos:

1. Preparación del material: es decir, la traducción de alemán a español; con el objetivo de facilitar la lectura, comprensión y análisis de los TCH.
2. Lectura superficial: es decir, la lectura inicial de los TCH, con el fin de identificar propósitos e ideas principales en los textos.

En cuanto al primer proceso metódico, es decir, la preparación del material, se destaca la importancia de mantener la coherencia y cohesión de los diferentes textos, debido a que era imprescindible para poder realizar un análisis transparente de los mismos. Para ello, se utilizaron diferentes recursos electrónicos (traductor de textos PONS, traductor de Google y diccionario Dix) y, de igual manera, se realizó con el acompañamiento de un especialista en traducción, nativo en el idioma alemán. Es necesario aclarar que la traducción de los TCH se realizó en su totalidad, no obstante, por efectos de la presentación de este documento, se presenta solamente la traducción de algunos fragmentos.

Por otra parte, el segundo proceso metódico, es decir, la lectura superficial, hizo referencia al primer acercamiento a los textos y permitió identificar elementos referidos a su macroestructura, lo que, a su vez, favoreció la identificación de algunas de las ideas conceptuales relevantes desarrolladas en los mismos. En resumen, tal como se mencionó anteriormente, los procesos llevados a cabo en esta etapa permitieron la identificación y organización de un conjunto de ideas, datos y fragmentos que constituyeron el corpus de la investigación.

Etapa 3. Analizar

Durante esta tercera etapa metodológica, se realizó el análisis de los TCH. En ese sentido, el análisis se constituyó de diferentes procesos correlacionados entre sí:

- I. Formulación de preguntas: creación de preguntas orientadoras que acompañan y dirigen la lectura sistemática de los TCH.
- II. Selección de fragmentos originales: identificación, lectura y relectura de frases o párrafos correlacionados con las preguntas orientadoras y/o cuyo contenido permitiera profundizar o dar respuesta a las mismas.
- III. Grandes ideas: identificación de las grandes ideas a partir de la descripción e interpretación de los fragmentos originales seleccionados.

En ese sentido, teniendo en cuenta que el objetivo del análisis fue recuperar elementos, ideas y recursos clave empleados por A. B. Frank en sus investigaciones; se formularon dos preguntas guías *a)* y *b)* y, posteriormente, una tercera pregunta *c)*, que recoge e interconecta los elementos previos, las preguntas planteadas fueron:

- a) ¿Qué aspectos conceptuales fundamentales sobre las micorrizas se correlacionan en los tres TCH?
- b) ¿Cuáles recursos explicativos fueron empleados por A. B. Frank para exponer los aspectos conceptuales fundamentales sobre la micorriza?
- c) ¿Cuáles son las *grandes ideas* presentes en los tres TCH que interrelacionan los recursos explicativos y los aspectos conceptuales fundamentales del concepto micorriza?

En concordancia con lo anterior y, en cuanto a los resultados obtenidos a partir del análisis guiado por la primera pregunta planteada, la *a)*, se obtuvo que los aspectos fundamentales sobre las micorrizas presentes en los tres TCH analizados son: las estructuras de la micorriza, el desarrollo de la micorriza, cambios inducidos por los hongos en la raíz, distribución de las micorrizas, y la importancia biológica y fisiológica

de las micorrizas (Frank, 1885, 1887, 1888). De esta manera, es posible afirmar que los anteriores aspectos identificados, hacen parte de los aspectos conceptuales fundamentales del estudio sobre las micorrizas.

Por otra parte, respecto a los resultados obtenidos del análisis guiado por la segunda pregunta planteada, la *b*), se obtuvo que los recursos explicativos empleados por A. B. Frank para exponer sus ideas y que, además, se encuentran presentes reiteradamente en los tres TCH son: 1) el uso de ilustraciones, 2) el uso de analogías y, 3) el uso de cuestiones. En el apartado de *interpretación de los TCH y constitución de las grandes ideas*, de este mismo documento, se ejemplifica la manera en la que A. B. Frank hace uso de dichos recursos explicativos en sus postulados.

Finalmente, en cuanto a la tercera pregunta que hace referencia a identificación de las grandes ideas, se puede afirmar que para ello se tuvo en cuenta los criterios de selección de grandes ideas expuestos por Harlen (2012), quien menciona que las grandes ideas deben:

- Poder ser aplicadas universalmente.
- Poder ser desarrolladas a través de una variedad de contenidos, elegidos por ser relevantes, interesantes y motivadores.
- Poder ser aplicadas a nuevos contenidos y, además, permitir a los estudiantes comprender situaciones y eventos, hasta ahora desconocidos, que pueden encontrar en sus vidas.

Además de dichos criterios, para la selección de las grandes ideas de las micorrizas fue imprescindible la interpretación de múltiples fragmentos de los TCH, que tal y como se expuso anteriormente, debían correlacionar los aspectos conceptuales (*a*) y los recursos explicativos (*b*) identificados como relevantes para este estudio. Así pues, se identificaron y recuperaron las siguientes tres *grandes ideas*, las cuales, unidas, constituyen el estudio fundamental de las micorrizas:

- La micorriza es una relación simbiótica, a la que tal vez todas las plantas son capaces bajo ciertas condiciones.
- La micorriza se caracteriza por aspectos fisiológicos y morfológicos particulares.
- La función nodriza entre el hongo micorrízico y las raíces de las plantas.

En el siguiente apartado, se expone a grandes rasgos el proceso de constitución de las grandes ideas, que como verán, se estructura por medio del análisis e interpretación de fragmentos de los TCH, además, interconecta los aspectos conceptuales y los recursos explicativos mencionados previamente.

4. Interpretación de los TCH y constitución de las grandes ideas

La micorriza es una relación simbiótica, a la que tal vez todas las plantas son capaces bajo ciertas condiciones

En esta primera idea se abordan dos elementos de gran relevancia, el primero de ellos referente a la caracterización de las micorrizas como una asociación simbiótica y, el segundo, a la distribución de las micorrizas en diferentes tipos de suelos 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 micorrizas, 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:

[...] 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)

Aunque Albert B. Frank no fue el primero en estudiar las micorrizas, si fue uno de los primeros científicos en caracterizarlas como otro caso de simbiosis. Dichas interpretaciones fueron sometidas a debates y controversias por más de 40 años en diferentes comunidades científicas, encabezadas por científicos como Hartig, Boudier y Gibelli; sin embargo, los argumentos, descripciones, observaciones y experimentaciones llevadas a cabo por este científico salieron triunfantes (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. De esta manera, 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)

A partir de estos fragmentos, se puede interpretar que el uso de analogías, se consolida como un recurso relevante para presentar, explicar y exponer los estudios, conclusiones y tesis llevadas a cabo durante la actividad científica. Dicho recurso explicativo expuesto por A. B. Frank, es decir la analogía entre los líquenes y las micorrizas, aún permanece vigente en el campo científico, 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» (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 esta, es sin duda un caso de distribución general. (p. 251)

Por otra parte, en cuanto a las condiciones particulares, Frank (1888) mencionó la relación condicional entre la aparición de las micorrizas y la necesidad de existencia de un suelo rico en humus. En ese sentido, realizó observaciones en las diferentes capas del suelo, en sus palabras Frank:

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 22 cm 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 en (B) todavía se pueden encontrar, junto con fibras miceliales pardas, que penetran en el suelo, pero no tanto como en la capa más rica en humus. En (C) solo hay una sola raíz, y rara vez lleva unas cuantas raíces chupadoras; esto, sin embargo, muestra solo una ligera condición fúngica. (Frank, 1888, p. 256)

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 representaciones, es decir, ilustra detalladamente cada una de sus observaciones y nuevamente la acompaña de elementos descriptivos o explicativos, las cuales, gracias a su gran detalle, casi 40 años después aún siguen siendo un ejemplo genuino de rigurosidad (ver anexo 1).

La micorriza se caracteriza por aspectos fisiológicos y morfológicos particulares

En los TCH analizados fue posible determinar una segunda idea que permite clarificar aspectos relacionados 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 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)

Del mismo modo, Albert B. Frank acompaña sus artículos con ilustraciones que representan sus diferentes observaciones, un ejemplo de ello se puede observar en el anexo 1 que hace referencia a ilustraciones de la morfología de las micorrizas; dichas ilustraciones han sido extraídas de los tres artículos analizados.

El hecho de que Frank hiciera uso de ilustraciones 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 él plantea como función de enfermera húmeda:

Otras observaciones me hicieron erigir una serie de tesis sobre la micorriza de los árboles, entre las cuales las micorrizas no solo suministraron agua y

nutrientes minerales al árbol, sino también toman prestada materia orgánica del humus y de los restos de plantas en 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)

De lo anterior, es posible interpretar que A. B. Frank logró 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 llevó, a caracterizar un concepto de gran incidencia científica.

La función nodriza entre el hongo micorrícico y las raíces de las plantas

Finalmente, la última gran idea hace referencia a la profundización sobre la relación simbiótica entre el hongo y la raíz de la planta, especialmente, sobre la importancia del hongo para la nutrición de las plantas. 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 plantear cuestionamientos que le permitieran comprender a profundidad la naturaleza de la relación hongo-raíz que estudiaba. Hacer preguntas y cuestionar los hechos y fenómenos observados es una de las habilidades científicas más relevantes, a continuación, se recuperan algunas de las cuestiones realizadas por Frank en los TCH estudiados, que se relacionan específicamente con el servicio que el hongo ofrece a la planta:

Pero, puesto que el hongo mismo es activo en la producción de la 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 de la raíz del árbol?* En este punto, todavía no se puede establecer una idea definida; pero es probable que no se relacione solamente con necesidades nutricionales. (Frank, 1888, p. 268)

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)

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 solo

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 mismo papel que los pelos de raíz para otras plantas en contacto íntimo con el suelo. El hongo absorbe los minerales del suelo no solo para su propia nutrición, sino también para el árbol, por lo que debemos considerar que el hongo-raíz es el único órgano para la absorción de agua y nutrientes del suelo por robles, hayas, etc. En ese sentido, nodriza del árbol. (Frank, 1885, p. 142)

En concordancia con lo anterior, la capacidad de realizar cuestiones sobre la naturaleza de los hechos le permitió a Frank postular una importante teoría sobre la nutrición en las plantas. De igual modo, fue un recurso explicativo imprescindible para dar soporte y coherencia a su investigación, logrando evidenciar el dominio riguroso del tema en cuestión.

Etapas 4. Proponer

En los apartados anteriores se expusieron los procesos y resultados de las etapas metodológicas de selección y análisis de los TCH. A gran escala, dichos resultados se condensan en tres *grandes ideas*, las cuales, hay que recordar, están constituidas a partir de aspectos conceptuales y pueden ser explicadas por medio de múltiples recursos entre los que se destacan las ilustraciones, analogías y las cuestiones o preguntas reflexivas.

En concordancia con lo anterior, en lo que concierne a esta cuarta y última etapa metodológica, se esbozó una propuesta didáctica a la luz de las grandes ideas identificadas en el análisis de los TCH. El objetivo de dicha propuesta consistió en ejemplificar a los docentes de ciencia, en formación o ejercicio, cómo el análisis de los TCH facilita la identificación y recuperación de ideas y recursos de gran aporte para la planificación docente, y en particular, para la enseñanza de las micorrizas. En ese sentido, para el esbozo de esta propuesta fue necesario:

- Ubicar la pertinencia del contenido científico de las micorrizas, conforme a un nivel/grado escolar particular y a la competencia básica curricular del mismo.
- Identificar aspectos relevantes en la planificación docente y desarrollarlos en base a el contenido seleccionado (micorriza).
- Proponer actividades para la enseñanza de las micorrizas y secuenciarlas de acuerdo con su propósito y función educativa.

En lo relativo al primer punto, fue necesario remitirse a los estándares básicos de competencias en ciencias naturales, elaborados por el Ministerio de Educación Nacional (MEN); con el propósito de ubicar y relacionar las grandes ideas de la micorriza (contenido conceptual); con las competencias científicas básicas que los estudiantes deben haber adquirido al finalizar un ciclo formativo específico. En ese sentido, se obtiene que el ciclo formativo en el cual deberían desarrollarse procesos de enseñanza-aprendizaje de las micorrizas, o llevarse a cabo esta propuesta didáctica, es el de grado décimo a undécimo; y su correspondiente competencia sería “Explico la diversidad biológica como consecuencia de cambios ambientales, genéticos y de *relaciones dinámicas dentro de los ecosistemas*” (Ministerio de Educación Nacional, 2004).

Posteriormente, se identificaron elementos fundamentales para la planificación docente, específicamente, en lo concerniente a el diseño de unidades didácticas, son: los contenidos (conceptual, procedimental y actitudinal), los objetivos (general y específicos),

el tiempo, los destinatarios y los materiales. En ese sentido, los aspectos de planificación docente para la enseñanza de las tres grandes ideas constituyentes del estudio de las micorrizas se esbozan en la tabla 2, que se presenta a continuación:

Tabla 2: Planificación docente para la enseñanza de las micorrizas

Contenido	Las micorrizas: una relación simbiótica	
	Conceptual	1. La micorriza es una relación simbiótica, a la que todas las plantas son capaces bajo ciertas condiciones. 2. La micorriza se caracteriza por aspectos fisiológicos y morfológicos particulares. 3. Importancia biológica: la función nodriza entre el hongo micorrízico y las raíces de las plantas.
	Procedimental	1. Caracterizar las micorrizas como un caso particular de simbiosis. 2. Identificar los factores condicionales del crecimiento de las micorrizas. 3. Diferenciar las estructuras morfológicas principales de las micorrizas. 4. Reconocer la importancia de las micorrizas en la nutrición de plantas y hongos.
	Actitudinal	1. Respetar y cuidar las diversas formas de vida. 2. Participar activamente de las actividades y socializaciones de la clase. 3. Escuchar y respetar los aportes y posturas de los demás.
Objetivo	Comprender el concepto de las micorrizas como una asociación simbiótica, su estructura e importancia en la biología.	
Objetivos específicos	1. Acercar al estudiante a la conceptualización del término micorriza a través de la observación de ilustraciones, la solución de preguntas orientadoras y la socialización. 2. Identificar la importancia biológica y comercial de las micorrizas por medio de la inmersión en una experiencia basada en un acontecimiento científico-histórico. 3. Visualizar y diferenciar distintos tipos de micorrizas endotróficas y ectotróficas.	
Destinatarios	Grados de décimo a undécimo.	
Tiempo	Tres sesiones (de dos horas cada una).	
Materiales y recursos explicativos	Uso de ilustraciones extraídas de TCH, fragmentos de TCH, actividad experimental, uso de analogías y uso de preguntas guías.	

Finalmente, se realizó el esbozo de las actividades didácticas, para lo cual, se tuvo en cuenta los planteamientos de Cabrera y Villa (2018) donde se destaca la clasificación de actividades de acuerdo a su función y propósito educativo:

- Actividades de iniciación: propenden *recuperar* ideas y concepciones de los estudiantes; también, son aquellas que permiten *recordar* los temas prerrequisito para el estudio de la nueva temática y, finalmente, permiten

introducir creativamente la temática objeto de estudio sobre la que se centra la unidad didáctica.

- Actividades de desarrollo: pretenden promover el desarrollo de las competencias de pensamiento científico, de manera que son aquellas actividades que invitan al estudiante a interpretar, analizar, argumentar, justificar, explicar y reflexionar.
- Actividades de aplicación: permiten determinar si el estudiante es capaz de hacer uso de sus nuevos conocimientos para dar solución, explicar o desarrollar una actividad problema en concreto.

En concordancia con lo anterior, se realiza la ejemplificación de distintas actividades de carácter didáctico para la enseñanza de las micorrizas, dichas actividades, se exponen a continuación:

Actividad de iniciación

Si el propósito general se relaciona con la enseñanza de las micorrizas, un posible objetivo sería “acercar al estudiante a la conceptualización del término micorriza a través de la observación de ilustraciones e imágenes, la solución de preguntas orientadoras y la socialización”. En concordancia con lo anterior se propone que el docente suministre a cada uno de los estudiantes el material trabajo introductorio, en este caso, se propone la utilización de algunas de las ilustraciones realizadas por A. B. Frank de las micorrizas (ver anexo 1) -sin que se mencione el concepto- y posteriormente plantee preguntas a los estudiantes tales como: ¿Qué objeto, animal, planta o microorganismo cree que se ilustra en las imágenes? ¿a qué se le asemeja dicha ilustración? ¿lo recuerda haber visto previamente en algún otro lugar? Durante esta breve actividad, se espera que el docente sea un mediador durante el diálogo grupal, de tal manera que logre encaminar poco a poco las ideas de los estudiantes para que, a continuación, realice una conceptualización de qué es una micorriza, sus partes principales y su función.

Posteriormente, se propone que el docente haga uso de recursos que le permitan a los estudiantes caracterizar, diferenciar y problematizar los conceptos previos; para ello, el docente tendrá la posibilidad de emplear algunas analogías utilizadas por Albert B. Frank en sus TCH, permitiendo relacionar la nueva información con ideas presentes en la cotidianidad, como lo es, 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. Así pues, se propone que el docente realice la lectura del siguiente fragmento de TCH:

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 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. (Frank, 1887, p. 399)

Sucesivamente, se sugiere que el docente conceptualice aspectos de gran relevancia sobre la micorriza, y para finalizar la sesión, el docente podrá plantear a los estudiantes preguntas tales como: ¿a qué otro elemento/s de la cotidianidad se asemeja

las micorrizas? ¿qué otros ejemplos conocen de relaciones entre organismos que sean análogos a las micorrizas? Nuevamente, se espera que, durante la socialización de las respuestas con todos los participantes, el docente pueda mediar el diálogo, propendiendo el afianzamiento de los conceptos a partir de los planteamientos de los estudiantes.

Actividad de desarrollo

En términos prácticos, se establecería un objetivo como el siguiente “identificar la importancia biológica y comercial de las micorrizas por medio de la inmersión en una experiencia basada en un acontecimiento científico-histórico”, para alcanzar dicho objetivo, se podría recuperar el siguiente fragmento escrito por el botánico alemán Albert B. Frank:

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).

Posteriormente, se plantea que el docente presente en la clase un estudio de caso basado en la experiencia histórica que Albert B. Frank describe en su fragmento; en la cual los estudiantes deberán hacer uso de la construcción de hipótesis, asociación de los estudios científicos con la vida cotidiana, la relación e importancia entre las micorrizas y los aspectos socio económicos en los que puede influir, en la tabla 3 se presenta un ejemplo de una propuesta del estudio de caso, junto con sus respectivas preguntas problematizadoras:

Tabla 3: Ejemplo de estudio de caso: inmersión histórica.

Lectura inicial	<p>Las micorrizas en Prusia</p> <p>En el año 1880 el gobierno de Prusia estaba interesado en el cultivo de trufas (hongos), 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 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. 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 y para su sorpresa ambos organismos estaban en perfecto estado.</p>
Situaciones problematizadoras	<p>1. De acuerdo con la lectura anterior y, a partir de los conocimientos adquiridos en las distintas sesiones, responda: ¿por qué cree que las trufas crecieron adecuadamente en un suelo libre de materia orgánica en descomposición? ¿cuáles factores favorecen el crecimiento del cultivo de trufas?</p> <p>2. Imagine que debe ayudar a Frank en su investigación sobre estos hongos, realice una hipótesis sobre ¿cuáles cree que pueden ser los factores más relevantes para afirmar que la relación entre hongo-raíz es simbiótica y no parasitaria?</p>

	<p>3. Imagine que Frank cometió errores en sus observaciones y que, en efecto, las micorrizas no son organismos simbióticos sino organismos parasitarios ¿cómo afectaría esto a los cultivos de trufas y a la economía de Prusia? ¿Cómo cree que se podrían ver afectadas y/o beneficiadas las especies de plantas que albergan en sus raíces las micorrizas? ¿Qué pasaría si hay un incremento acelerado de micorrizas parasitarias en todo el mundo?</p>
--	---

Actividad de aplicación

Para finalizar, un ejemplo de este tipo de actividad consistiría en formular un objetivo como el siguiente: “Visualizar y diferenciar distintos tipos de micorrizas endotróficas y ectotróficas”. En ese sentido, se sugiere que el docente planifique una actividad práctica de laboratorio, en la cual, dependiendo el contexto educativo, se seleccionen los métodos, materiales y metodologías más adecuadas para llevarla a cabo. En ese sentido, respecto a la ejecución de dicha actividad se propone hacer uso de nuevas tecnologías, a través de la realización de un laboratorio virtual, con el propósito de facilitar y dinamizar el acceso a distintas muestras visuales de material vegetal micorrícico, tales como imágenes digitales y/o videos de alta calidad de micorrizas ectotróficas asociadas a los pinos y a otras especies de plantas; así como, micorrizas endotróficas asociadas a plantas comunes como cebolla, maíz, yuca entre otros.

Por otra parte, si se desea realizar una práctica de laboratorio presencial se propone en primera medida la realización de observaciones de raíces de distintas especies de pino, y de diferentes edades, así como una actividad práctica de tinciones. En la tabla 4 que se presenta a continuación, se adjunta un ejemplo de una actividad que se considera puede ser útil para dar cumplimiento al objetivo educativo planteado. Dicha actividad experimental ha sido adaptada teniendo en cuenta el método de tinción elaborado por Phillips y Hayman (1970) e influenciada por los aportes de la Universidad del Litoral (2016):

Tabla 4: Ejemplo de guía práctica de laboratorio: tipos de micorrizas.

Nombre de la práctica	A la raíz del asunto
Objetivo General	Visualizar y diferenciar distintos tipos de micorrizas endotróficas y ectotróficas.
Materiales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Raíces de <i>Pinus montezumae</i>, o especies semejantes, de 4, 6 y 12 meses de edad. 2. Raíces de plantas comunes (Cebolla, maíz, yuca, tomate y pepino) 3. Potasa Cáustica (Hidróxido de potasio - KOH) al 10% 4. Vinagre (Ácido acético al 5%) 5. Tinta China (color negro) 6. Agua corriente acidificada con unas gotas de vinagre (aprox. 10 por litro) 7. Papel absorbente 8. Cajas Petri de vidrio (8) o Recipientes de vidrio con tapa

	<ol style="list-style-type: none"> 9. Bisturí 10. Pinzas 11. Mechero 12. Portaobjetos y Cubreobjetos (8 c/u) 13. Microscopio 14. Estereoscopio
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lavar cuidadosamente y con abundante agua las raíces de <i>Pinus montezumae</i> y de las plantas comunes, hasta que sea eliminado por completo los residuos del suelo. 2. Secar cuidadosamente las raíces con el papel absorbente, eliminando el exceso de agua. 3. Con ayuda del bisturí y con sumo cuidado, proceda a cortar las raíces en trozos de 3 a 5 cm. 4. Coloque cada uno de los trozos de raíces de <i>Pinus montezumae</i> en cajas Petri, observe directamente a través del estereoscopio e identifique cada una de las estructuras que observa. 5. Coloque cada uno de los trozos de raíces de plantas comunes en las cajas Petri y vierta en ellas la solución de potasa cáustica (hidróxido de potasio al 10%) hasta cubrirlas por completo. 6. Luego, con ayuda del mechero y bajo la supervisión del docente, caliente las cajas Petri por algunos minutos hasta que las raíces de plantas comunes pierdan color. 7. Lave las raíces nuevamente con agua corriente, para eliminar el exceso de potasa cáustica. 8. Utilice las pinzas para poner las raíces ya transparentes en una caja Petri y vierta la mezcla de tinta china y vinagre hasta cubrirlas (en partes iguales). 9. Caliente la muestra a fuego medio por 3 minutos, recuerde remover con ayuda de las pinzas la muestra e ir adicionando la mezcla (tinta china y vinagre) para evitar que se pegue a la caja Petri (recuerde no dejar hervir). 10. Una vez las raíces se hayan enfriado, deberá lavarlas nuevamente con la solución de agua acidificada (agua y vinagre). Repita este procedimiento mínimamente 3 veces. 11. Corte las raíces teñidas en segmentos más pequeños (1 cm. aprox.) y colóquelas sobre un portaobjetos; adicionando 2 gotas de agua; luego, cúbralas con el cubreobjetos. Observe directamente al microscopio en los aumentos de 40X y 100X e identifique diferentes estructuras de las endomicorrizas.

Una vez finalizada la práctica de laboratorio o, incluso, durante la misma, se sugiere que el docente plantee diferentes cuestiones acerca de los procedimientos científicos llevados a cabo; por ejemplo, puede realizar preguntas tales como: De acuerdo con el procedimiento realizado en el punto 4, ¿por qué considera que es importante utilizar el hidróxido de potasio? ¿Por qué es necesario que las raíces pierdan su color? ¿cuáles son las diferencias estructurales más representativas entre micorrizas endotróficas y ectotróficas? Del mismo modo, se recomienda que el docente haga uso de

recursos como ilustraciones o imágenes que permitan a los estudiantes comparar, analizar y debatir acerca de sus propias observaciones; un ejemplo de este caso consistiría en que el docente proporcione a los estudiantes ilustraciones de micorrizas realizadas por Albert B. Frank u otro científico que haya realizado estudios de la micorriza, de esta manera, los estudiantes podrán comparar y cuestionar las similitudes y diferencias de sus hallazgos.

5. Reflexiones finales

A manera de conclusión, se destaca los aportes del análisis de TCH, como una estrategia de acercamiento a la ciencia, en particular, al conocimiento científico referente al estudio de las micorrizas. En ese sentido, es preciso realzar el valor de las fuentes primarias de conocimiento científico durante la realización de dichos análisis, debido a que estos, se han elaborado a partir de un lenguaje científico exquisito; a su vez, dan cuenta de los procesos de construcción del conocimiento, permitiendo la recuperación de ideas, teorías, modelos, recursos y experimentaciones que indiscutiblemente tienen un carácter memorable.

Del mismo modo, se considera que el análisis de TCH aporta significativamente al campo de la enseñanza de las ciencias, en particular, a la enseñanza de las micorrizas, debido a que permite que los recursos explicativos y los aspectos conceptuales identificados como elementos claves del análisis, puedan traspasarse al campo de la enseñanza de las ciencias; transformándose así, en recursos educativos, los cuales con una correcta aplicación, pueden llegar a ser muy eficaces durante la planeación docente, y en general, durante el desarrollo de los distintos procesos de enseñanza.

Finalmente, a manera de proyección, es posible explicitar que, en lo concerniente a futuras investigaciones relacionadas con este estudio, se espera desarrollar a mayor profundidad la propuesta didáctica esbozada en este documento y, posteriormente, aplicarla; con el propósito de identificar ventajas, desventajas, aciertos y desaciertos en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las micorrizas.

Referencias

- Andrade-Torres A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. *Ciencia* 61, 84-86.
- Béjar, M. D. (2015). *Historia del mundo contemporáneo (1870-2008)*. Editorial de la Universidad de La Plata.
- Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional science*, 18(4), 237-261.
- Cabrera, H. G., & Villa, M. D. (2018). Diseño de unidades didácticas a partir de estudios de caso histórico científicos. En H. G. Cabrera (Ed.), *Educación en biología: Aportes de estudios históricos al diseño de unidades didácticas* (1.ª ed., pp. 15-30). Universidad del Valle.
- 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. <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>

- Cerda, H. (1991). *Los elementos de la investigación*. Bogotá: El Búho.
- Chang, H. (2016). Who cares about the history of science? *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science*, 71(1), 91-107. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2016.0042>
- 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). *Biología*. Ed. Médica Panamericana.
- Flick, U. (2007). *Introducción a la investigación cualitativa* (2.ª ed.). Madrid: Morata.
- Frank, A. B. (1885). Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 3, 128-145.
- Frank, A. B. (1887). Ueber neue Mykorrhiza-Formen. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 5, 395-409.
- Frank, A. B. (1888). Ueber die physiologische Bedeutung der Mykorrhiza. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 6, 248-269.
- González González, B. M., & Moreno Jiménez, T. (1998). Las analogías en la enseñanza de las ciencias. *Actas II Simposio sobre la docencia de las ciencias experimentales en la enseñanza secundaria* (pp.204-206). Madrid: Ediciones de la Torre.
- Harlen, W. (Ed.). (2012). *Principios y grandes ideas para la educación en ciencias*. Santiago de Chile: Academia Chilena de Ciencias.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- 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* (1ra 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>
- Ministerio de Educación Nacional, República de Colombia. (2004). *Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales*. Bogotá: Cargraphics S. A.
- Perales, F. J., & Jiménez, J. de D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386.
- Philips, J. M. y Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55, 158-161.
- Ryan, F. (2015). *Darwin's blind spot: The role of living interactions in evolution*. Swift Publishers.
- Solsona, N. (2015). Análisis de las estrategias de autorización de mujeres científicas en la ilustración. *Revista Física Y Cultura*, (9), 25-40.
- Suárez, M. C. (2006). *Propuesta de enseñanza-aprendizaje sobre las interacciones entre las poblaciones y su vocabulario científico*. Universidad de Antioquia.

- 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 de <http://andrewsforest.oregonstate.edu/pubs/pdf/pub2044.pdf>
- 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>
- Universidad Nacional del Litoral. (2016). *Generalidades de las micorrizas*. Práctica de laboratorio H y L # 12 Micorrizas. Departamento de Biología. Argentina. Recuperado de: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-del-litoral/biologia/trabajos-practicos/practica-12-micorrizas-hy-l/2985808/view>
- 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 los tres TCH analizados, elaborados por Albert B. Frank en 1885, 1887 y 1888.

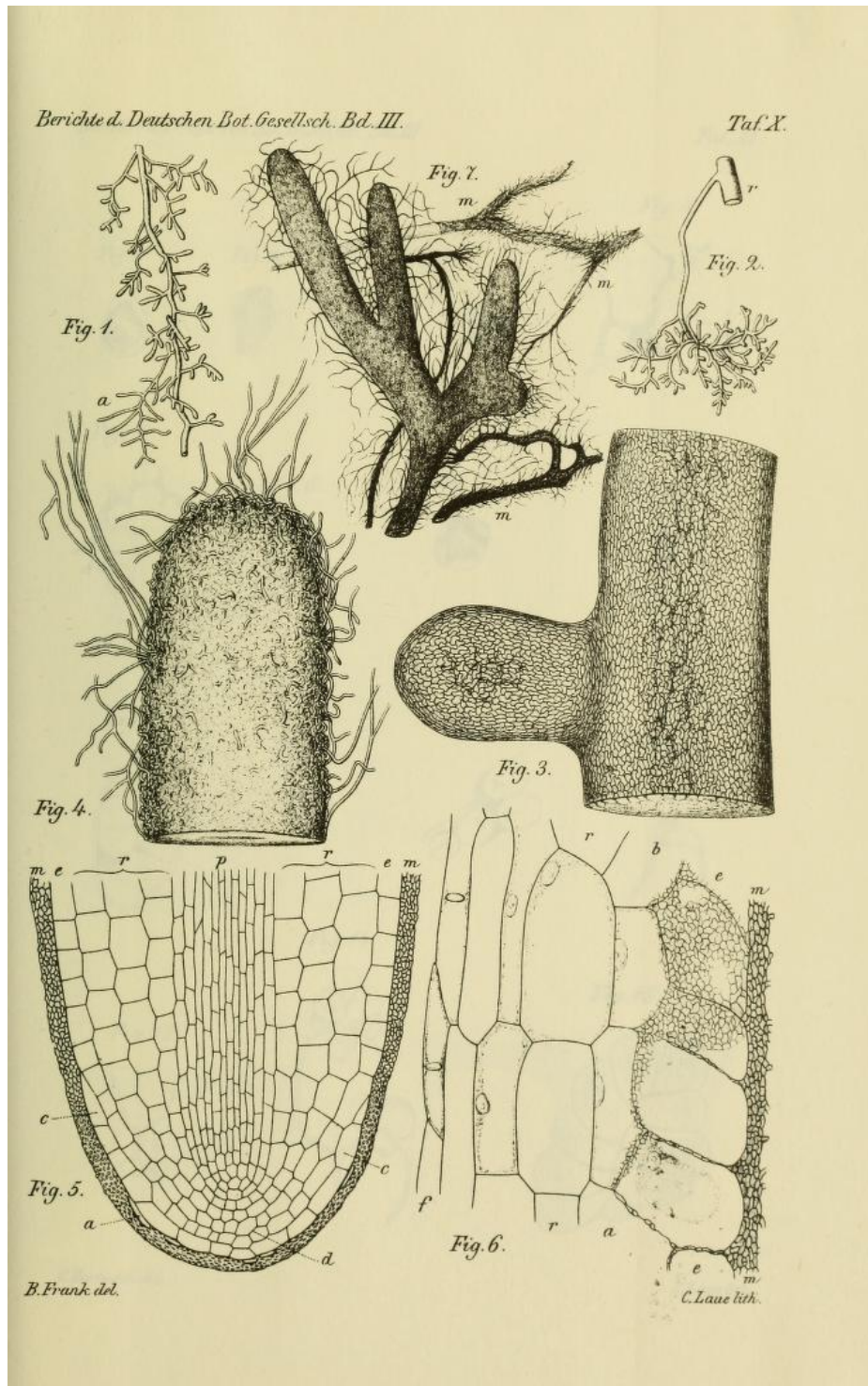


Figura 1: Ilustración de A.B Frank para (Frank, 1885). Tafel X del volumen 3 de la *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*. Imagen en dominio público, tomada de la Biodiversity Heritage Library. Disponible en <https://www.biodiversitylibrary.org/page/36406968>

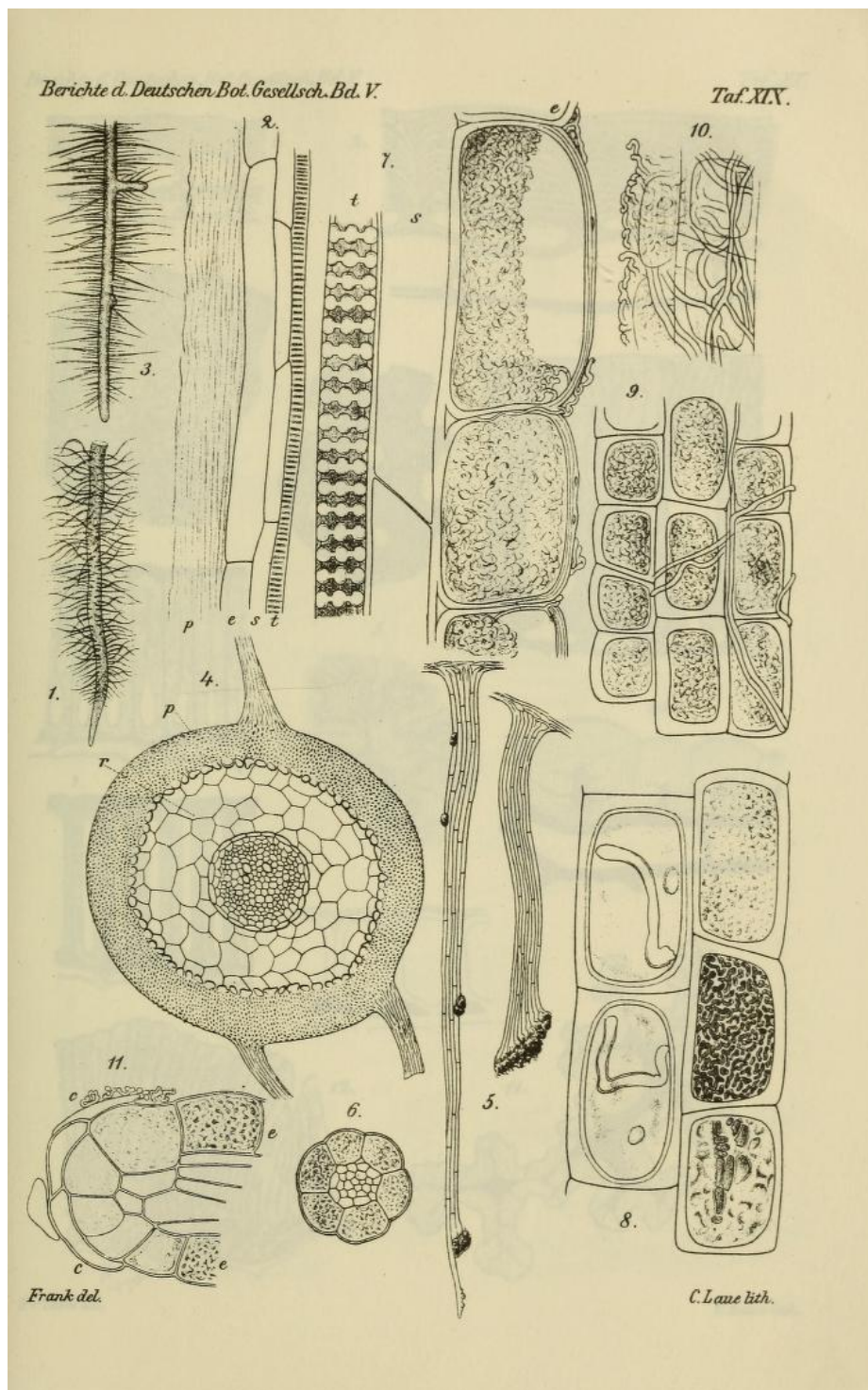


Figura 2: Ilustración de A. B. Frank para (Frank, 1887). Tafel XIX del volumen 5 de la *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*. Imagen en dominio público, tomada de la Biodiversity Heritage Library. Disponible en <https://www.biodiversitylibrary.org/page/36119852>

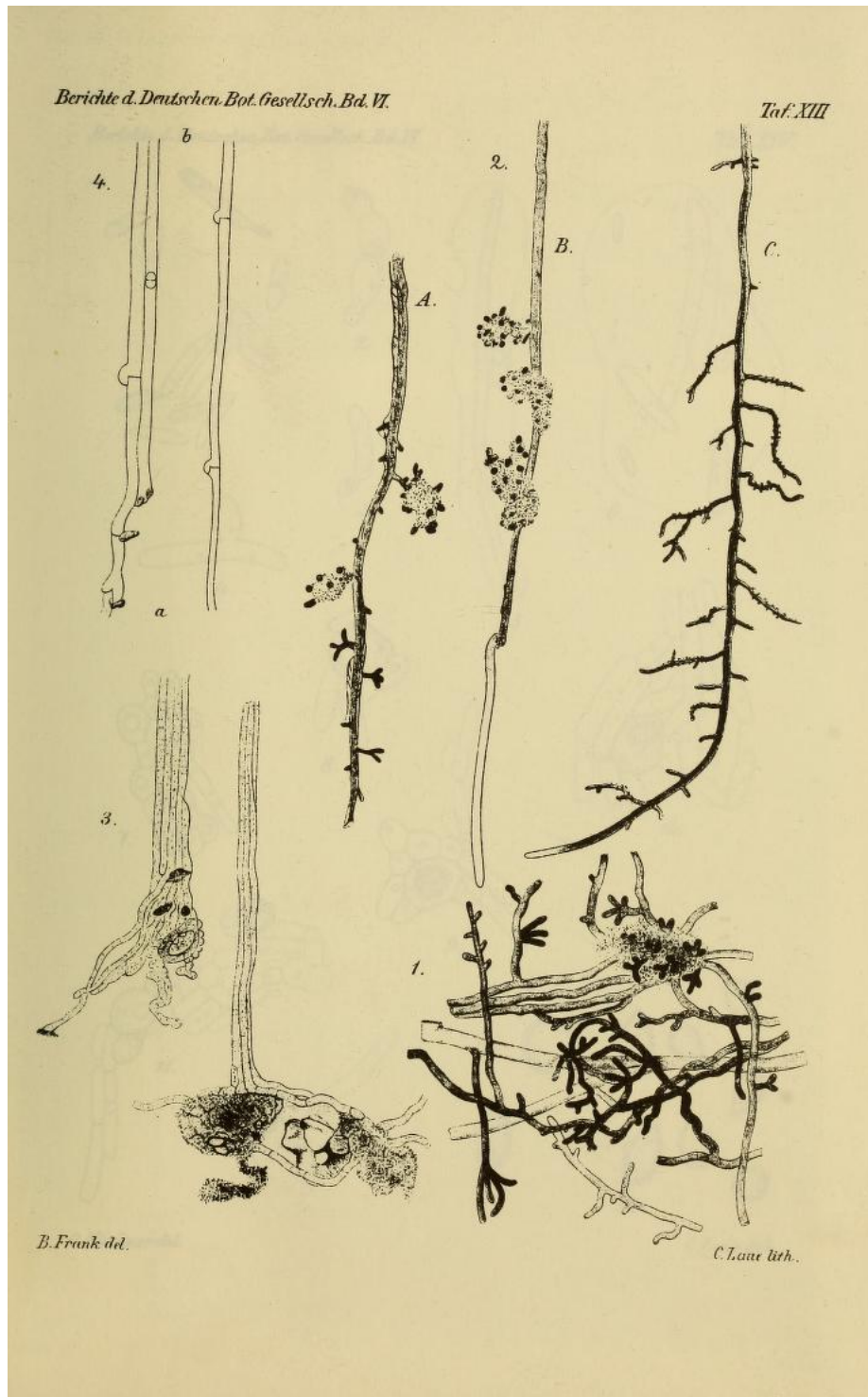


Figura 3: Ilustración de A. B Frank para (Frank, 1888). Tafel XIII del volumen 6 de la *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*. Imagen en dominio público, tomada de la Biodiversity Heritage Library. Disponible en <https://www.biodiversitylibrary.org/page/36326910>