



SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DESARROLLO EDUCATIVO

“Evaluación del logro del Modelo Científico Escolar de Arribo sobre germinación por estudiantes de biología mediante una secuencia didáctica”

Tesis que para obtener el Grado de
Maestra en Desarrollo Educativo
Presenta

Meztli Tlanezi Olvera Hernández

Director de Tesis: **Dr. Ángel Daniel López y Mota**

Dedicada a:

Mis padres, Salustia Hernández Hernández y Luis Olvera Castillo, por estar siempre a mi lado, por su apoyo en todas mis decisiones, por seguir siendo mi guía y ejemplo de vida; todo en vida es gracias a ustedes, porque ustedes sentaron las bases de la persona que ahora soy. Los amo.

A mis estudiantes, porque son ustedes quienes me motivan a superarme, porque solo ustedes me permiten poner en perspectiva mi labor de profesora, por hacer tan ameno el trabajo que tanto amo. Gracias por compartir la chispa de su juventud.

Y, a la vida, que me ha dado tanto.....

Agradecimientos

Al Dr. Ángel Daniel López y Mota, por el tiempo y esfuerzo dedicado para que este trabajo pudiera llevarse a cabo, y sobre todo, pudiera concluirse.

A las doctoras. Dulce María López Valentín y Diana Patricia Rodríguez Pineda, por los comentarios y observaciones hechos para el mejoramiento de este documento, así como su atenta y amable consideración para que esta labor se concluyera. Dra. Diana, gracias por todo su apoyo durante mi estancia en Colombia.

Al Dr. Oscar Eugenio Tamayo Alzate, por sus comentarios y observaciones críticas a este trabajo, por haberme dado la oportunidad de trabajar a su lado, por su cordialidad y, por compartir conmigo su experiencia profesional en el campo de la Didáctica de las Ciencias, así como dejarme conocerlo.

A la Dra. Alma Adriana Gómez, por su disposición para la lectura de este documento, así como sus comentarios y observaciones.

Al profesor Francisco Ortega, por aclarar mis dudas en los momentos de crisis y compartir conmigo sus conocimientos, pero sobre todo, por establecer un lazo de comunicación y afecto.

Al Dr. Manuel Mandujano Piña, jefe del módulo de Metodología Científica I de la FES-I, por toda la asesoría brindada durante la realización de este posgrado, por sus palabras de aliento y por su única e inigualable manera de ser: firme, pero amigable y cariñoso.

Al Dr. Martín Palomar Morales, jefe de los módulos de Metodología Científica II y III, de la FES-I, por demostrarme siempre su apoyo para mi superación profesional y por contar con su amistad.

A los profesores y colegas de la FES-I, M en C. Martha Angélica Santiago Santiago y Biol. Guillermo Elías Fernández, por su confianza en mi capacidad profesional y por darme la oportunidad de trabajar, con toda libertad, a su lado durante la aplicación de la secuencia didáctica de este trabajo. Mi más profundo agradecimiento.

Al M. en C. César Alejandro Ordoñez Salanueva, le agradezco infinitamente todo su apoyo, tiempo y atención, así como sus comentarios, sugerencias y aclaración de grandes dudas... durante la revisión del tema de germinación.

Al pasante de la carrera de Biología Marco Antonio Domínguez Castañeda, por su apoyo, disposición y dedicación.

A las maestras, colegas y amigas Graciela Molina, Antonia Trujillo y Carmen Álvarez por todo apoyo y disposición para éste trabajo.

A mis hermanas. Tlalli y Wendy, por ser mi apoyo, por estar a mi lado y por la dicha de estar siempre conmigo para compartir mis logros. Siempre juntas...

A mi hermano Luis y su familia: Pao, Aída y Sofía, por demostrarme todo su amor y su apoyo durante todo éste camino.

A mi tía Juana Hernández Hernández, por darme todo su apoyo incondicional y estar siempre a mi lado.

A mis amigos y compañeros de la maestría, Paola, Isabel, Mirna, Martha, Agnan y Lourdes, por todas aquellas charlas, esos cafés y esos momentos compartidos en los que pudimos aclarar dudas, compartir nuestras diferencias, frustraciones, pero también alegrías. Porque en esos momentos a su lado, pude sentir todo su apoyo y, emociones compartidas; éste proceso hubiera sido otro si no fuera por todos ustedes.

A mis amigos, Yola, Jahir, Marleth, Felipe, Hyrais, Moy, Karina y Martha por su amistad y apoyo durante la realización de este proyecto de vida.

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, de la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme dado las bases que me permiten seguir alcanzando mis metas profesionales y personales, por darme un hogar académico al cual siempre querer regresar para compartir lo aprendido y poder seguir siendo parte de su familia, para continuar formando seres humanos con gusto por la biología.

A la Universidad de Caldas en Manizales, Colombia, por brindarme una estancia tan acogedora y enriquecedora.

La elaboración de esta tesis contó con el apoyo del CONACyT

En los árboles, en las montañas, en las nubes, en cada rincón del esplendor de esta tierra, se nos anima a contemplar las enseñanzas que se encuentran depositadas allí, guardadas en la confidencialidad del alma.

Hare Krsna

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo 1. Problema y justificación de la investigación	3
1.1 Planteamiento y delimitación del problema.....	3
1.2 Justificación	6
1.2.1 Ámbito de la Didáctica de las Ciencias.	6
1.2.2 Ámbito disciplinar: importancia de la germinación de semillas en biología.....	8
1.3 Pregunta de Investigación	10
Capítulo 2. Concepciones espontáneas de los estudiantes sobre germinación....	11
2.1 Revisión de la Bibliografía recopilada por Pfundt y Duit	11
2.2 Búsqueda en revistas especializadas de Didácticas de las Ciencias	12
Capítulo 3. Marco teórico	20
3.1 Referente epistemológico: Perspectiva semanticista de la ciencia, visión de modelo teórico o científico de Giere	21
3.2 Los modelos en la didáctica de las ciencias	24
3. 3 El Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA).....	26
3.3.1 Fundamentación del MCEA para el diseño y validación de secuencias didácticas.	28
3.3.2 Sustento teórico para la elaboración del Modelo Científico Escolar de Arribo.....	31
3.3.3 Modelo inicial de los estudiantes sobre germinación (MIE).....	34
3.3.4 Modelo Curricular sobre germinación (MCu).....	36
3.3.5 Modelo Científico sobre germinación (MC).	39
3.3.6 Modelo Científico Escolar de Arribo sobre germinación (MCEA).	50
3. 4 Criterios de diseño para la secuencia didáctica con fundamento en el MCEA sobre germinación	52
Capítulo 4. Secuencia Didáctica.....	54
4.1 Propósitos de la investigación	54
4.2 Diseño de la secuencia didáctica.....	55

4.3 Aplicación y validación de la secuencia didáctica	76
Capítulo 5. Análisis y discusión de resultados.....	77
5.1 Análisis previo a la inferencia del MIE	77
5.2 Modelo generalizado inicial de las estudiantes (MGIE) sobre germinación .	87
5.3 Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) sobre germinación	91
5.3.1 Análisis del Modelo Científico Escolar Logrado 1 (MCEL1).	104
5.3.2 Análisis del Modelo Científico Escolar Logrado 2 (MCEL2).	117
5.4 Análisis de la secuencia didáctica	120
Capítulo 6. Conclusiones	126
Capítulo 7. Propuestas.....	129
Referencias	134
Anexo	140
Protocolo de investigación	140
Elementos del informe de investigación	150
Instrumentos aplicados durante la secuencia didáctica.....	151
Instrumento 1.	151
Instrumento 2.	155
Instrumento 3.	157
Instrumento 4.	158
Instrumento 5.	160
Criterios solicitados para la redacción de un informe de laboratorio.....	163
Cuadros con las interpretaciones hechas de las respuestas de las estudiantes al instrumento 1 y los modelos iniciales de cada estudiante derivados de ellos..	165
Cuadros con las interpretaciones hechas de las respuestas de las estudiantes al instrumento 5	180

Introducción

Esta tesis se inscribe dentro de los trabajos orientados en la línea de formación de 'Educación en Ciencias' de la Maestría en Desarrollo Educativo de la Universidad Pedagógica Nacional, Unidad Ajusco. Por ello, la tesis se desarrolló dentro del ámbito de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y, particularmente, en lo concerniente a la fundamentación teórica, diseño, elaboración, puesta en práctica y evaluación de una secuencia didáctica en el terreno de las ciencias naturales. Dentro de este campo, se particulariza en el fenómeno biológico de la germinación de semillas, ya que como se verá más adelante, los estudiantes tienen dificultades en el aprendizaje de dicho fenómeno; debido a sus concepciones espontáneas en torno al mismo. Por lo tanto, es importante poder dar solución a dicho problema, lo cual se podría lograr a través de nuevas propuestas para la enseñanza de la ciencia; específicamente, propuestas alternativas y emergentes en su fundamentación teórica y, que se ubican en el ámbito de los modelos y la modelización; tal es el caso de la propuesta del Modelo Científico Escolar de Arribo, tema central de esta tesis y desarrollado en las iniciativas de investigación desarrolladas por la línea de formación mencionada.

Para poder abordar la problemática antes citada, se realizó una revisión bibliográfica con relación a las concepciones espontáneas de los estudiantes en referencia al fenómeno de germinación. Además, se estableció un marco teórico que sustenta la propuesta del Modelo Científico Escolar de Arribo. Los referentes teóricos que fundamentan este proyecto de investigación/intervención, se ubican en el ámbito epistemológico del modelo científico de Ronald Giere, y en el ámbito de la didáctica de las ciencias en torno a los modelos de autores como Mercè Izquierdo, Rufina Gutiérrez y Agustín Aduriz.

Por lo anterior, se diseñó y aplicó una secuencia didáctica con estudiantes universitarios de biología, que permitiera la incorporación de la propuesta del

Modelo Científico Escolar de Arribo, como un modelo a alcanzar por parte de los estudiantes, y que además permitiera la validación de la propia secuencia.

Con base en los resultados obtenidos de la aplicación de la secuencia didáctica sobre germinación, se considera que el Modelo Científico Escolar de Arribo resulta una herramienta útil en el diseño de la secuencia didáctica aplicada a los estudiantes universitarios de segundo semestre. Sin embargo, los modelos logrados por los alumnos no dependen en sí mismo de este modelo, sino que existen otros factores como la motivación por el tema a aprender por parte de los estudiantes y, la estructura de la secuencia que coadyuvan al logro de los modelos obtenidos.

La realización de este trabajo, permitió llevar a la práctica la propuesta emergente del Modelo Científico Escolar de Arribo, experiencia que puede ser tomada en cuenta para la consolidación de dicha propuesta en el ámbito universitario.

Capítulo 1. Problema y justificación de la investigación

En este capítulo, se plantea el problema que motivó la realización del presente trabajo de tesis. El problema se ubica dentro del ámbito de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, específicamente en relación con fenómeno biológico de *la germinación de semillas*. A partir del problema planteado, se expone la importancia de abordar dicho fenómeno, tanto desde el campo de la Biología como en el campo de la didáctica de las ciencias. El capítulo finaliza con el planteamiento de la pregunta de investigación que guía la tesis.

1.1 Planteamiento y delimitación del problema

La Didáctica de las Ciencias se plantea los problemas –entre otros- del cómo y el para qué enseñar y aprender ciencias significativamente; es decir, cómo promover que la cultura científica generada a través de los siglos pueda ser comprendida por la población escolar, y ésta sepa aplicar los conocimientos derivados de dicha cultura (Sanmartí, 2002). A este respecto, dentro del campo mencionado, se ha planteado que una de las problemáticas más importantes en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, es la abstracción y la complejidad de éstas y, por consiguiente, su comprensión por parte de los estudiantes; lo que se refleja como una falta de interés por parte de éstos hacia la ciencia cuando no se les motiva lo suficiente (Rodríguez, Izquierdo y López, 2011).

Autores como Sigüenza y Sáez (1990), consideran que la enseñanza tradicional de la Biología se ha realizado considerando los conocimientos de dicha ciencia, como una colección de hechos, principios, leyes, reglas e interacciones lógicas; la cual consideran ‘inferior’ en comparación con aquella que busca la comprensión de esta disciplina por parte de los estudiantes. En el mismo sentido, Tamayo y González (2003) consideran que la enseñanza de las ciencias biológicas basada en concepciones antropomórficas, afirmaciones que suponen verdades absolutas y errores de transcripción o traducción de textos, ha

propiciado dificultades en el aprendizaje de la Biología; lo que ha llevado a la confusión, inducción o reforzamiento de concepciones espontáneas en los estudiantes, las cuales son generalmente diferentes y a veces alejadas de las científicas.

Aunado a lo anterior, Tirado y López (1994) consideran que frecuentemente en la enseñanza se ofrecen conceptos para ser aprendidos -memorizados- sin antes ser comprendidos y que durante dicha enseñanza, las proporciones de información que se pretenden sean aprendidas por los estudiantes, son desmedidas; pues van más allá de las capacidades de asimilación, provocando saturación e 'indigestión' en el estudiante, lo que genera un aprendizaje memorístico y por lo tanto, su desmotivación.

Por tanto, como lo sugiere Gómez (2011), en la forma de enseñanza tradicional los alumnos -para aprender Biología- ponen atención al maestro, estudian en los libros los conocimientos biológicos que los científicos han generado y los plasman tal cual en los exámenes que se les realizan y, las desviaciones que se presenten de las ideas de los científicos, son consideradas errores.

Lo expuesto anteriormente, permite considerar que existen dificultades en la enseñanza de la Biología, lo cual necesaria e invariablemente tiene repercusión en el aprendizaje de los estudiantes sobre los fenómenos biológicos que esta ciencia estudia, y de los cuales se pretende los alumnos den cuenta. Aunado a ello y de manera particular, el tema de la biología de las plantas, es reconocido como un tópico que presenta problemas para su enseñanza, debido a su complejidad, a su ciclo de vida -relativamente largo- y la preferencia de los alumnos por trabajar con animales en lugar de con plantas (Cherubini, Gash y McCloughlin, 2008; Jewell, 2002), por lo que dichos problemas en el ámbito de la enseñanza de la biología vegetal, pueden repercutir en el aprendizaje de los estudiantes sobre dichos tópicos.

Sumado a lo anterior, Jewell (2002) presenta evidencia que sugiere que los estudiantes tienen dificultad con los temas de polinización, germinación y formación de semillas. Dicha evidencia, retomada de otros trabajos por la autora, sugiere que los estudiantes a menudo consideran que las semillas no son plantas sino hasta que éstas han crecido y los alumnos no consideran que todas las plantas con flores produzcan fruto y, no asocian la germinación con la emergencia de la raíz, sino con la emergencia de las hojas.

Por su parte, Lin (2004) refiere que hay pocas investigaciones alrededor de las concepciones espontáneas de los estudiantes en relación con el crecimiento, desarrollo, ciclo de floración de las plantas, flores, semillas, frutas, nutrición y, crecimiento y desarrollo de plantas. De manera particular, la autora ha encontrado que algunos estudiantes no comprenden el fenómeno de germinación debido a sus concepciones espontáneas: 'las semillas provienen de la fotosíntesis', 'las semillas necesitan el agua y la luz solar para la fotosíntesis', las cuales están alejadas de la explicación científica acerca de este fenómeno.

Las concepciones espontáneas de los estudiantes sobre el fenómeno de germinación que plantea la autora citada en el párrafo anterior, permite apreciar que tales concepciones se encuentran alejadas de la visión científica de dicho fenómeno -la fotosíntesis no interviene en la germinación de las semillas-, y que a pesar de que estas concepciones son de estudiantes de secundaria, pueden permear hasta niveles superiores como la licenciatura, nivel en el que se circunscribe este trabajo de tesis.

Con base en lo anterior, se considera existen dificultades en el aprendizaje de la Biología en relación con el desarrollo de las plantas y con los procesos implicados en su ciclo de vida, particularmente en el fenómeno de germinación. Dichas dificultades se evidencian en las concepciones espontáneas que presentan los estudiantes en relación con dicho fenómeno, las cuales podrían deberse en parte a la forma tradicional en la que se enseñan las ciencias biológicas, pero también a las concepciones espontáneas de los propios estudiantes. Por ello, resulta necesario el desarrollo de estrategias didácticas para la enseñanza y el

aprendizaje de las ciencias, en particular de la Biología. Las cuales podrían fundamentar su diseño, implementación y evaluación en lo que actualmente se encuentra en auge dentro del campo de investigación de la didáctica de las Ciencias, como lo son los *modelos y la modelización*; temas que serán desarrollados en capítulos posteriores de este documento.

1.2 Justificación

La importancia de desarrollar una estrategia didáctica, con estudiantes universitarios de la carrera de Biología que aborde el fenómeno de la germinación de semillas, resulta relevante desde el ámbito de la didáctica de las ciencias; así como desde el ámbito de la disciplina que aborda su estudio, la Biología. A continuación se hace referencia a estos dos aspectos.

1.2.1 Ámbito de la Didáctica de las Ciencias.

La importancia de abordar problemáticas en relación con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, radica en el valor que tienen las Ciencias Naturales como elemento fundamental de la formación integral de los ciudadanos; quienes con base en este aprendizaje, puedan comprender el mundo que les rodea y tomar las mejores decisiones en un entorno enmarcado por asuntos relacionados con tales ciencias.

Rodríguez et al. (2011), plantean que la enseñanza de las ciencias es importante para que los ciudadanos entiendan asuntos de trascendencia social y personal importantes -qué tanto afecta el cambio climático, qué trastornos causan los alimentos transgénicos, qué tan ética es la utilización de las células madre para el tratamiento de ciertas enfermedades o restitución de órganos, entre otros-; así como para el ejercicio de una vida responsable frente al ambiente, con los propios sujetos que son expuestos a la enseñanza de las Ciencias Naturales y

para con los demás seres humanos. Lo anterior implica que el profesor reconozca que las Ciencias Naturales forman parte de la vida diaria y, por lo tanto, deben proporcionar a los estudiantes elementos para participar con fundamentos y argumentos científicos en la toma de decisiones. Por lo anterior, para las autoras educar en ciencias implica enseñar a 'pensar', 'hacer' y 'comunicar' sobre los sucesos del mundo natural.

Aunado a lo anterior, y de manera particular, Adrianna Gómez (2011) considera lo siguiente con relación al aprendizaje de la Biología:

Aprender biología ya no es interiorizar el cuerpo de conocimientos generados desde la ciencia, ni sólo estudiar de los libros, por ejemplo aprender los nombres de los reinos, sub-reinos y clases, o de los órganos del cuerpo y sus funciones o los nombres y descripciones de las fases de la mitosis o meiosis; también que ser maestro o maestra de biología ya no es explicar clara y ordenadamente el 'contenido'. Incluso podemos ver que ese 'contenido' no es estático, invariable y cerrado, sino que hay 'lógicas de la disciplina', es decir que la lógica de la biología no es la lógica de la historia, la matemática o el arte; que hay manejo del conocimiento en diferentes contextos y también, y que es un reto actual y crucial en aprender biología, que es el alumno o alumna quien explica, basado en evidencias, y que una de las finalidades es que se planteen preguntas y la toma de decisiones (p.523).

Dentro del ámbito de la Didáctica de las Ciencias, también es relevante poder solucionar el problema de la distancia que separa las concepciones espontáneas de los estudiantes con respecto al conocimiento científico, ya que con ello los estudiantes podrían alcanzar una mejor comprensión de los fenómenos naturales que suceden a su alrededor, y a su vez, poder explicarlos con argumentos más cercanos a los científicos, lo que les permitiría tomar decisiones dentro de los ámbitos social, político, económico y ambiental de una forma más sustentada.

De manera particular, transformar las concepciones espontáneas de los estudiantes en torno al fenómeno de germinación -a partir de lograr, por ejemplo, mejores modelos y procesos de modelización-, permitirá que ellos puedan

comprender esta temática, valorar su relevancia como un tópico fundamental de la biología vegetal y derivar soluciones a problemas relacionados con ella; es decir, lograr establecer procesos que promuevan la reflexión y den cabida a nuevas posibilidades de interpretación del mundo y de sus habitantes, permitiendo desarrollar un significado holístico (Castañeda, 2009; Tirado y López, 1994).

Para conseguir lo anterior, es necesario el uso de secuencias didácticas que faciliten la comprensión de los fenómenos biológicos; lo cual se puede lograr mediante la fundamentación de éstas en el marco de los modelos y la modelización; es decir, generar modelos escolares significativos, valiosos y útiles para los alumnos, y trabajar en clase para que ellos construyan las ideas básicas de estos modelos: piensen, actúen y hablen en torno a ellos (Gómez, 2011), como una alternativa para la enseñanza y aprendizaje en Biología.

1.2.2 Ámbito disciplinar: importancia de la germinación de semillas en biología.

Además de lo substancial que puede ser el tema de la germinación de las semillas, por ser un tópico contemplado en el currículo de ciencias; este fenómeno tiene su trascendencia propia; es decir, es relevante por ser un fenómeno que ocurre a nuestro alrededor en la naturaleza y que biológicamente representa un evento fundamental en la vida de las plantas. En los párrafos siguientes se abordará la importancia biológica de este fenómeno en la naturaleza.

Cuando las condiciones ambientales son favorables para el establecimiento de los nuevos individuos biológicos vegetales, la semilla de una planta experimenta cambios bioquímicos y metabólicos que conducen al reinicio del crecimiento del embrión y a la protrusión de la radícula a través de las cubiertas de la semilla, dicho proceso, dentro de la rama de la Biología conocida como Fisiología Vegetal, se conoce como **germinación**.

La **germinación de las semillas** es la etapa en la vida de las plantas que determina el establecimiento de plántulas y el mantenimiento de las poblaciones vegetales. La semilla representa la etapa inicial del ciclo de vida de las angiospermas. Constituye un puente entre una generación y otra, permite la multiplicación de los individuos de las diferentes especies y su dispersión y persistencia en el tiempo y, en el espacio; de igual manera, es una estructura que permite la renovación de los individuos dentro de los ecosistemas. El lugar que ocupan las semillas en el ciclo de vida de las plantas, las hace vitales para la dinámica y regeneración de las comunidades vegetales, por lo que es importante estudiarlas desde diversos enfoques (Orozco y Sánchez, 2013).

Aunado a lo anterior, vale la pena recordar que la especie humana depende de las plantas, debido a que son las principales productoras del oxígeno necesario para la vida de diversas especies, entre ellas, la humana. Las plantas constituyen la base de la alimentación, suplen varias necesidades como el vestido y el refugio, y se utilizan en la industria para fabricar combustibles, medicinas, fibras naturales, productos sintéticos, entre otros productos; por lo que son consideradas recursos fitogenéticos de gran interés, debido a que satisfacen las necesidades básicas del hombre, y por su potencial uso agrícola actual y futuro (Jaramillo y Baena, 2000).

Debido a ello, es relevante que los alumnos, y aún más los que estudian la carrera de Biología, comprendan el fenómeno de germinación, lo que implica que éstos sean capaces de explicar dicho fenómeno con argumentos coherentes para ellos y consistentes con las teorías científicas que se han establecido para interpretar dicho fenómeno y puedan tomar decisiones fundamentadas en su vida profesional.

1.3 Pregunta de Investigación

Con base en los planteamientos antes expuestos, se generó la siguiente pregunta de investigación:

¿Diseñar y validar una secuencia didáctica sobre el fenómeno de germinación, con base en modelos y modelización, permite transformar los modelos que construyen los estudiantes de la carrera de Biología y acercarlos al modelo científico –tomando en cuenta los lineamientos curriculares correspondientes– sobre germinación, mejorando con ello los modelos construidos por estudiantes sobre dicho fenómeno?

Capítulo 2. Concepciones espontáneas de los estudiantes sobre germinación

El segundo capítulo de la tesis corresponde a la revisión bibliográfica realizada para conocer las concepciones espontáneas de los estudiantes que se han reportado en la literatura especializada en didáctica de las ciencias en relación con fenómeno de germinación. Para cumplir dicho objetivo, se realizaron dos tipos de búsqueda, la primera consistió en la revisión de la bibliografía recopilada por Pfundt y Duit y la segunda, en una búsqueda dentro de revistas especializadas relacionadas o afines al área de la Didáctica de la Biología.

Para concluir el capítulo, se hace un análisis de los artículos encontrados con relación a las concepciones espontáneas del fenómeno de germinación encontrados.

2.1 Revisión de la Bibliografía recopilada por Pfundt y Duit

Existe poca información acerca de las *concepciones espontáneas* de los estudiantes con respecto a los procesos implicados en el ciclo de vida de las plantas. Esto se puede afirmar con base en la revisión realizada, en un primer momento, en la base de datos de Pfundt y Duit (2009), la cual recopila más de 3600 referencias en torno a las concepciones espontáneas de los estudiantes en el área de las ciencias naturales. En ella, se reportan 3 trabajos en torno a las semillas¹, 1 sobre floración² y 33 en torno a la fotosíntesis, pero no hay referencias con respecto a la germinación, esto hasta el 2009, de acuerdo con la recopilación bibliográfica.

¹ 1. Clark, D. B., & Sampson, V. D. (2007). Personally-seeded discussions to scaffold online argumentation. *International Journal of Science Education*, 29(3), 253-278; 2. Jewell, N. (2002). Examining childrens' models of seed. *Journal of Biological Education*, 36(3), 116-123 y 3. Tobin, K., Tippins, D. (1996). Metaphors as seeds for conceptual change and the improvement of science teaching. *Science Education*, 80(6), 711-730.

² Biddulph, F. (1984). Learning in Science Project (Primary): Pupils' ideas about flowering plants. *Working Paper (No.125) of the Science Education Research Unit, University of Waikato, Hamilton N. Z.* // g6,B.

2.2 Búsqueda en revistas especializadas de Didácticas de las Ciencias

En un segundo momento, se realizó otra búsqueda de referencias que reportaran las concepciones espontáneas de los estudiantes sobre el fenómeno de germinación. Dicha búsqueda se realizó en las revistas *International Journal of Science Education*, *Science & Education*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Instructional Science*, *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *Studies in Science Education*, *Bio-grafía*, *Journal of Biological Education*, *Revista de Educación en Biología de la ADBiA* y *The American Biology Teacher*, del año 2005 al 2014. Para la búsqueda de artículos, se utilizaron diferentes palabras clave en los buscadores de las revistas antes mencionadas, considerando un rango desde lo específico o particular (germinación, semillas, flores o frutos), hasta lo general (crecimiento, desarrollo, fisiología vegetal, angiospermas o planta), a través de la lectura de los resúmenes de los artículos encontrados³.

Como resultado de la búsqueda realizada en las revistas especializadas en didáctica de la ciencia, antes mencionadas, se encontraron artículos sobre temas relacionados con el crecimiento vegetal, la fotosíntesis, nutrición en plantas, entre otros temas; pero son escasos los que reportan las concepciones espontáneas de estudiantes en relación con el fenómeno de germinación de semillas y, ninguno a nivel universitario. Los trabajos encontrados sobre germinación se presentan a continuación.

En uno de los artículos encontrados, se reporta que los niños de preescolar no relacionan las semillas con el fruto de una planta, y algunos de ellos piensan que las semillas son alimento de las plantas (Cherubini et al. 2008). El objetivo de este trabajo fue generar un juego interactivo con componentes virtuales y físicos para realizar investigaciones sobre el crecimiento vegetal, y hacer de esta forma más accesibles los conceptos involucrados en dicha temática para los niños; ello a

³ Para el caso de la revista *The American Biology Teacher*, solo se realizó la búsqueda con la palabra clave de germinación, debido a que los artículos de esta revista no presentan un resumen; lo cual implicaba la lectura del artículo completo.

través de la interacción digital práctica. El trabajo se realizó con 15 niños de preescolar de 4 y 5 años de edad.

Por otro lado, la investigación realizada por Jewell (2002) es significativa para el presente trabajo de investigación, ya que el objetivo de la autora fue examinar los modelos⁴ de semilla y aspectos de la comprensión de la germinación y la formación de las semillas en 75 niños de diferentes edades. El trabajo se llevó a cabo en cinco primarias del sur de Inglaterra (dos suburbanas, una urbana y dos rurales). Los niños fueron seleccionados de los siguientes niveles educativos: preescolar (de 4 a 5 años), grado tres (7 y 8 años) y grado 6 (10 a 11 años) de ciclo elemental de cada una de las cinco escuelas. La autora reporta, en torno a los modelos de semilla, que los estudiantes tienen problema para clasificar las semillas, ya que el tamaño y la forma no les permite clasificarlas adecuadamente. Además, como respuesta a la pregunta sobre qué pensaban que había dentro de la semilla, los niños expresaron sus ideas en forma de dibujos (Figura 1) y plasmaron que en el interior de la semilla hay 'pedacitos o partes', 'cosas o sustancias', 'círculos, líneas o semillas', por mencionar algunos rasgos. Estos resultados encontrados por la autora, pueden reflejar de alguna manera que los estudiantes no reconocen las estructuras de una semilla requeridas para su germinación, como la testa, los cotiledones o el embrión.

En lo que respecta a la comprensión de los niños acerca de la germinación, la autora realizó la pregunta: ¿qué necesita esta semilla para crecer? Las ideas de los estudiantes, y las respuestas a dicha pregunta fueron: agua, sol, suelo, luz, nutrientes/alimentos, sembrado/puesto en suelo, raíces/flores, calor, oxígeno, entre otras. La respuesta más popular fue agua, atribuida por la autora a la experiencia de regarlas en casa o la escuela. El segundo elemento más popular en la mayoría de los niños fue el sol, atribuido por ella a la asociación del sol con el crecimiento de las plantas. Los niños también mencionaron la luz o la luz solar,

⁴ La autora retoma la definición de modelo de Gilbert y Boulter (1998): un modelo es una representación de una idea, un objeto, un evento, un proceso o un sistema. Un modelo mental, es entonces, los propios conocimientos de una persona y la comprensión de un objeto, evento o proceso. La autora acota que en dicha investigación los niños expresaron sus modelos mentales de semilla a través del uso del habla y el dibujo.

considerada por la investigadora, como una diferenciación avanzada de las propiedades del sol.

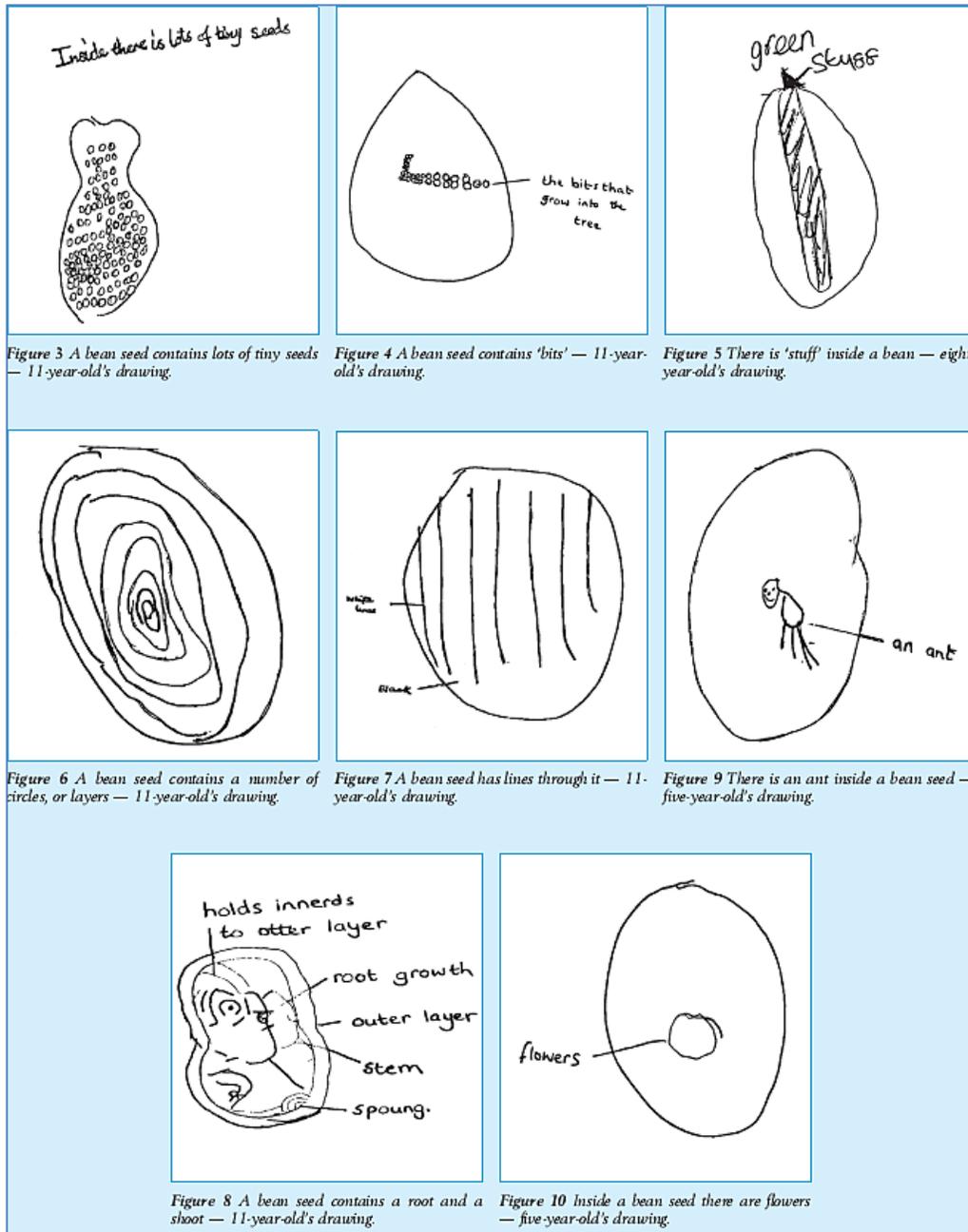


Figura 1. Imágenes reportadas en el artículo de Jewell (2002) que reflejan lo que los estudiantes piensan que hay en el interior de una semilla.

Aunado a lo anterior, en la introducción del trabajo realizado por Jewell (2002), ella retoma el reporte de las evaluaciones del currículo nacional de estudiantes de 11 años edad (Qualifications and Curriculum Authority) para señalar que, en dicho documento, se reporta que al parecer varios estudiantes asocian la germinación con la emergencia de las hojas, más que con el brote o la raíz. Este aspecto considerado por la autora es importante para la comprensión del fenómeno de germinación, ya que con base en ello se puede conocer qué es lo que los estudiantes están considerando como germinación; pues el evento que marca el final de la germinación es la protrusión de la radícula, o lo que probablemente ellos mencionan como 'brote'. Además, esta consideración de los estudiantes también refleja su confusión entre la etapa de germinación y la del crecimiento vegetal durante el ciclo de vida de las plantas. Esta confusión por parte de los estudiantes, ha sido reportada con anterioridad por Levins y Pegg (1993); quienes indican que los estudiantes de primaria no diferencian entre la etapa de germinación y el crecimiento de las plantas. El trabajo de estos autores tuvo como objetivo identificar las ideas de los estudiantes de primaria asociadas al crecimiento vegetal, por medio de cinco preguntas asociadas a un diagrama.

Por otro lado, un examen público reportado por Yip (1997), que se aplica a todos los estudiantes que terminan la educación secundaria (de 16 años en adelante) en Hong Kong, reveló que los estudiantes presentan la concepción espontánea de que la parte comestible de la manzana, es el alimento que ocupa la semilla para germinar; lo cual se atribuye a la enseñanza de tipo tradicional, centrada en los contenidos, en el profesor, en el uso de terminología específica y conocimientos factuales, y que omite los conocimientos previos⁵ de los estudiantes.

Otro trabajo fue el realizado por Lin (2004), quien después de la aplicación de un cuestionario sobre el crecimiento de las plantas con flor, con un apartado específico para germinación, reporta las siguientes concepciones espontáneas de estudiantes de secundaria taiwaneses:

⁵ Término literal utilizado por el autor.

- 'Las semillas necesitan agua durante la fotosíntesis para producir nutrientes durante la germinación'.
- 'Como el agua se mueve en la semilla, hará que el almidón sea hidrolizado en glucosa, lo que provee nutrientes para la germinación'.
- 'Las semillas necesitan oxígeno durante la fotosíntesis para producir energía para la germinación'.
- 'Las semillas necesitan bióxido de carbono, no oxígeno, durante la fotosíntesis, para producir energía para la germinación'.
- 'Las semillas no necesitan oxígeno para la germinación porque ellas mismas se proveen de energía para la misma'.
- 'Altas temperaturas hacen que el agua se evapore en la semilla y reprima la germinación'.
- 'Las semillas necesitan la luz solar durante la fotosíntesis para producir energía para la germinación'.
- 'Las semillas no producen fotosíntesis, así que la luz solar no influirá en la germinación'.
- 'La materia orgánica en el suelo es usada como nutriente para la germinación de la semilla'.

Con base en estas concepciones espontáneas de los estudiantes, la autora de este trabajo considera lo siguiente:

- La mayoría de las concepciones espontáneas sobre las condiciones para la germinación de las semillas, mencionan que las semillas son producto de la fotosíntesis.
- Las concepciones espontáneas más presentes en el entendimiento de los estudiantes, en relación con las condiciones de la germinación de las semillas, fueron: a) 'las semillas necesitan agua para la fotosíntesis', b) 'las semillas requieren de la luz solar para la fotosíntesis'; c) 'las semillas toman alimento del suelo para la germinación'.

Vidal y Membiela (2013) realizaron un estudio de caso basado en el análisis de las respuestas a cuestionarios anónimos de 53 estudiantes en su último año de formación para profesores y a 3 meses de la realización de una actividad práctica de laboratorio sobre germinación. En este estudio, se cuestionó a los estudiantes sobre la estructura de una semilla y 32 de los estudiantes consideraron que los cotiledones forman parte de la semilla; así como 9/53 mencionaron la piel o cáscara, 6/53 las hojas y 5/53 el germen o brote como parte de la misma. En cuanto a la función que tiene cada parte de la semilla, estos fueron los resultados: 25 de los 53 estudiantes consideran que los cotiledones sirven como alimento, 9 que la piel o cáscara protege a la semilla y 4 que las hojas sirven para respirar. Ante la pregunta ¿De qué se alimenta la semilla durante la germinación?, poco más de un cuarto de los estudiantes contestaron que de los cotiledones, menos de un cuarto del agua y los cotiledones, cerca de un octavo de la muestra señalaron que de agua y oxígeno, o solo de agua, y cerca de un dieciseisavo de luz. En cuanto a los factores que los estudiantes consideran que las semillas necesitan para germinar, la mayoría contestó agua/humedad, en segundo lugar oxígeno y también mencionaron la luz, los cotiledones y nutrientes.

Ante la pregunta ¿Cuándo termina la germinación de una semilla y cuándo comienza el desarrollo de la planta?, la mayoría de estudiantes de último año, consideró que cuando crecen las raíces, hojas o tallo, seguida de la idea de que cuando los cotiledones se caen y es cuando aparece un brote (Vidal y Membiela, 2013). Vale recordar que este aspecto es substancial, porque permite conocer la idea -al parecer generalizada- que los estudiantes tienen sobre la germinación. Los autores también presentan una serie de dibujos de los estudiantes en los que se infieren las ideas o concepciones que tienen en relación con las semillas y las diferentes situaciones sobre la germinación. Las imágenes reflejan algunos de los aspectos que se comentaron en párrafos anteriores: como las partes de la semilla o sobre cuándo termina la germinación de una semilla y cuándo comienza el desarrollo de la planta (Figura 2).

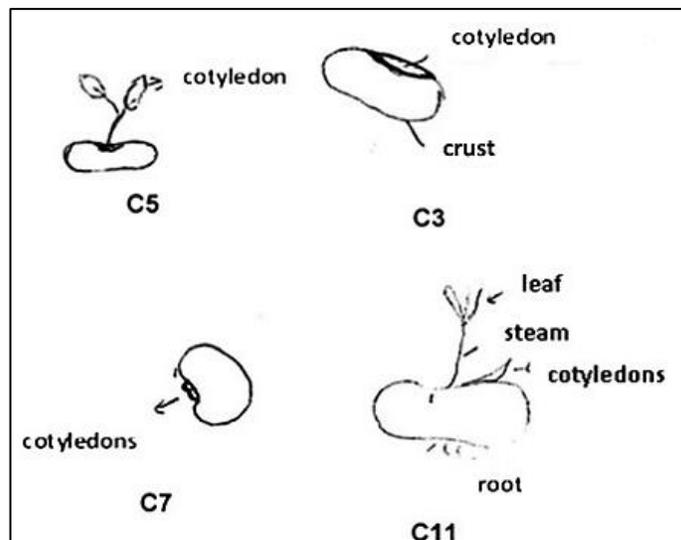


Figura 2. Dibujos de semillas y aspectos de germinación de estudiantes, en su último año escolar de formación para ser profesores, y a tres meses de haber realizado una actividad práctica sobre germinación, presentados en el artículo de Vidal y Membiela (2013).

Las concepciones espontáneas que reportan los trabajos anteriores, incluyen estudiantes de preescolar, primaria, secundaria y de último año de escolaridad de formación para profesores. Dichas concepciones resaltan la existencia de dificultades para comprender el fenómeno de germinación, comenzando por el hecho de que es difícil asociar las semillas con la plantas o con no poder identificar una semilla. Además, existe confusión entre la etapa de germinación y la de crecimiento de la planta, pues el crecimiento vegetal es un fenómeno que se presenta a lo largo del ciclo de la vida de una planta, y la germinación solo es una de las primeras etapas de este ciclo de vida. Por último, los alumnos parecieran considerar que las semillas requieren de algunos factores como la luz o el agua para realizar fotosíntesis y germinar; lo cual es una explicación que se encuentra alejada de la explicación científica del fenómeno. Bajo este marco, es evidente la existencia de un problema para el aprendizaje de explicaciones más cercanas al pensamiento científico en los alumnos, en torno al fenómeno de germinación de las semillas, por lo que las concepciones

espontáneas que presentan los estudiantes, requieren ser transformadas, a través de una enseñanza con un enfoque diferente, como el de los modelos y la modelización, lo cual será explicado más adelante en el capítulo donde se describe la secuencia didáctica desarrollada para este propósito en esta tesis.

Dada la falta de investigación, en las revistas especializadas, en torno a las concepciones espontáneas de estudiantes de nivel superior sobre germinación, más adelante -ver Modelo Estudiantil Inicial- se resaltarán la forma utilizada para conocer de antemano la forma de pensar de estos estudiantes y tenerla en cuenta en el diseño de la secuencia didáctica, ya que este trabajo está dirigido a estudiantes universitarios de la carrera de Biología.

Así, se tiene que los antecedentes relacionados con las concepciones espontáneas de los estudiantes sobre el tema de germinación son pocos y que en la búsqueda realizada para este trabajo, no se encontró alguno que reporte las concepciones espontáneas de estudiantes de licenciatura sobre dicho tema.

Capítulo 3. Marco teórico

En este capítulo se presentan los referentes teóricos que fundamentan el diseño e implementación de la secuencia didáctica utilizada en este proyecto de intervención. En primera instancia, se presenta el referente epistemológico con relación al modelo científico de Giere, debido a que esta visión de modelo se retoma en el ámbito de la didáctica de las ciencias, lo que da lugar al segundo apartado del capítulo: el referente didáctico en torno a los modelos. De esta manera, la secuencia didáctica se encuentra sustentada en los planteamientos semanticistas de Giere sobre la ciencia, por medio de la utilización de los modelos científicos planteada por Giere para comprender la realidad del mundo, y retomados en el ámbito de la didáctica de las ciencias.

Dentro del campo de la Didáctica de las Ciencias, la propuesta del Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) -inspirado en la mencionada corriente epistemológica de carácter semanticista- se presenta como un elemento teórico-metodológico para el diseño y validación de secuencias didácticas como la que se presenta en esta tesis. Dicha propuesta se aborda a profundidad en el tercer apartado del capítulo. Además, también se presentan los modelos elaborados -de los estudiantes, curricular y científico- para la explicitación del MCEA sobre germinación; el cual fundamenta teóricamente el diseño -criterios de diseño- y la validación -valoración de modelos alcanzados- de la secuencia didáctica desarrollada para este trabajo. Para finalizar el capítulo, se exponen los criterios a tomar en cuenta para la secuencia didáctica y los propósitos de esta intervención/investigación.

3.1 Referente epistemológico: Perspectiva semanticista de la ciencia, visión de modelo teórico o científico de Giere

La tendencia en la Didáctica de la Ciencias, en cuanto al uso de modelos y la modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, tiene un fuerte fundamento epistemológico. En relación con ello, dentro de la concepción semántica de ciencia, destacan autores como Ronald Giere, quien ha trabajado en el campo de la epistemología el uso de los modelos científicos como recurso para describir, explicar y predecir el comportamiento del mundo real. Dicho autor, ha visualizado una manera particular de concebir la naturaleza de la ciencia -como un acto de representación, para conocer, mediante modelos- y proporciona una plataforma conceptual para pensar la categoría de modelo en la enseñanza de las ciencias (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

De acuerdo con Giere (citado en Izquierdo, 2005), las teorías tienen un aspecto sintáctico y uno semántico. El primero, es aquél constituido por el cuerpo de teoremas enunciados en el lenguaje particular elegido para expresar la teoría. El segundo, está formado por el conjunto de modelos que le dan significado a los fenómenos del mundo real. Así, las teorías científicas tienen significado en relación con los fenómenos que busca explicar; por lo que una teoría es un conjunto de modelos y de hechos del mundo que se reconocen similares a los modelos y que han sido interpretados por un proceso de modelización con sus propias reglas de juego o hipótesis teóricas (Izquierdo, 2005).

Giere (1999a) establece que su propuesta del razonamiento científico basado en modelos se encuentra dentro del realismo perspectivo. Esta propuesta plantea que los modelos son entidades abstractas idealizadas, y que su conexión con el mundo real es de similitud; por ello, el núcleo de cualquier teoría científica no es un conjunto de afirmaciones (axiomas o leyes) sino un conjunto de modelos que pueden describirse mediante afirmaciones, pero sin ser el conjunto de afirmaciones en sí mismas; por lo que los modelos son entidades abstractas

idealizadas, definidas por sus afirmaciones correspondientes. Giere (1999b) establece que:

La conexión con el mundo real se hace con afirmaciones (hipótesis teóricas) que aseveran similitud, de modo específico y en un grado implícito de fidelidad, entre un modelo abstracto y el mundo real. Las afirmaciones no proceden directamente del mundo, sino como definiciones de modelos, objetos abstractos cuyo comportamiento se ajusta exactamente a las definiciones. En un sentido trivial, las declaraciones utilizadas para caracterizar el modelo, son verdad del modelo. La relación entre el modelo y el mundo real es compleja, la relación no es una relación de verdad, la cuestión es si el modelo se ajusta bien a los sistemas correspondientes en el mundo real y hasta qué punto es similar a ellos (p.64).

Giere (1999b) representa las relaciones entre las declaraciones, los modelos y el mundo real de la siguiente forma:

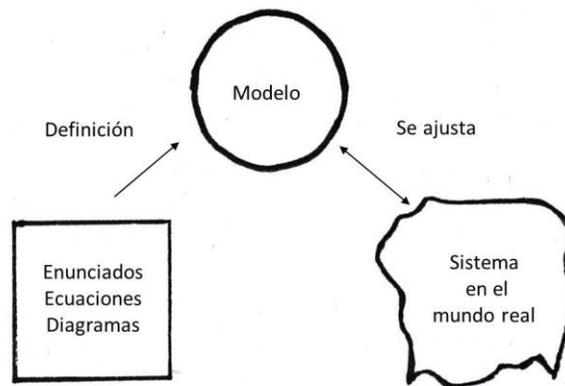


Figura 3. Aproximación de las teorías científicas, basada en Modelos (p. 65).

Los modelos simplifican fenómenos complejos, permiten la visualización de entidades abstractas, sirven de apoyo en la interpretación de resultados experimentales y en la elaboración de explicaciones, así como en la propuesta de previsiones; además son instrumentos mediadores entre la realidad y la teoría porque son autónomos con relación a ambos (Morrison y Morgan, citados en Justi, 2006).

Por otro lado, existe coincidencia entre los planteamientos de Giere (1999b) y los de Duschl (1997), en no considerar las teorías como meras afirmaciones; aunque Duschl no hace un análisis epistemológico de las teorías. Duschl define las teorías como las mejores creencias razonadas sobre el mundo que nos rodea y las concibe como explicaciones -una síntesis de hechos, objetivos y métodos de la ciencia- que progresan con el tiempo y son validadas por una comunidad científica; así, las ve como explicaciones de los fenómenos, independientemente de la disciplina científica en cuestión, como especulación sobre las causas de los fenómenos observados, sobre las relaciones entre los hechos, por lo que son las explicaciones las que le dan significado a los datos y no al contrario.

En un trabajo posterior, Giere (citado en López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014) reconoce que el lenguaje es un logro cultural, y por ello, hace a los practicantes del lenguaje, miembros de una comunidad con una cultura particular. De ahí que las diferentes comunidades científicas compartan un mismo lenguaje, debido a las prácticas científicas de representación de la realidad que comparten. Por lo tanto, Giere considera que si se desean entender dichas prácticas, no se debe comenzar por el estudio del lenguaje en sí mismo -aspecto sintáctico al hacer ciencia-, sino por el estudio de las prácticas científicas en las cuales se utiliza un lenguaje determinado. Estas prácticas científicas son las del uso de los modelos para representar y buscar entender el mundo que nos rodea; en la práctica, se efectúa por el proceso de modelización para explicar un fenómeno en cuestión.

En consideración de lo anterior, con base en Giere y Duschl, quienes han analizado a profundidad aspectos relacionados con la epistemología de los modelos teóricos y el proceso de desarrollo de las teorías, así como su utilización en el campo de la educación en ciencias, resulta sugerente -bajo consideraciones diferentes de ver la ciencia, en contraposición a una visión positivista-, la necesidad de reconceptualizar la enseñanza de las ciencias en una perspectiva que permita a los estudiantes generar sus propios modelos de los fenómenos científicos estudiados en clase.

3.2 Los modelos en la didáctica de las ciencias

Para iniciar este apartado, se comenzará con lo que Izquierdo (2005) menciona en uno de sus trabajos:

La concepción semántica de teoría científica, junto con un realismo 'perspectivista' y una 'racionalidad hipotética' (abordados en la sección anterior) inspiran un modelo de 'ciencia en la escuela', el cual resalta que lo más importante es enseñar a pensar mediante teorías que se vinculan con los fenómenos como consecuencia de una acción humana transformadora, que se comunica con un lenguaje propio (p.117).

La perspectiva anterior de Izquierdo se considera, sirve de base para desarrollo de la propuesta de lo que se conoce como 'ciencia escolar', fundamentada en lo que la autora denomina 'modelo cognitivo de ciencia' (MCC). Ella fundamenta la conceptualización del MCC en aspectos de la psicología del aprendizaje, en la práctica docente innovadora y en una nueva epistemología que se adecue a la ciencia en la escuela; ello, con la finalidad de que la noción de modelo pueda explicar los procesos de formación del conocimiento y permita la posibilidad de proponer metas científicas y servir como foro de discusión científico apropiado para la escuela. Por lo tanto, la ciencia escolar ofrece pensar mediante modelos, los cuales deben ser adecuados al mundo de los alumnos y donde el lenguaje se convierte en un instrumento de comunicación y comprensión que permite aprender a actuar y a pensar sobre algún aspecto del mundo real y presentar un determinado modelo del mundo y no otro (Izquierdo, Espinet, García, Pujol y Sanmartí, 1999).

En relación con lo anterior, en el campo de la Didáctica de las Ciencias, se considera que debe ponerse atención en la actividad escolar y en la construcción de modelos por parte de los alumnos; pero sin olvidar que dichos modelos no tienen que ser los mismos que los de la ciencia experta, pero si han de ser coherentes con ella. Ya que los modelos serán relevantes siempre y cuando conecten con fenómenos familiares sobre los cuales los alumnos puedan pensar,

hablar y actuar. Por lo que hacer ciencia en el aula, es una actividad en la cual el análisis de la realidad, la modelización y la discusión se entrecruzan para promover la reconstrucción racional de los fenómenos (Rovira y Sanmartí, 2006).

Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) consideran que con la definición semántica de modelo científico de Giere, se abre un espacio para el trabajo en las aulas de clase; es decir, que ahora lo importante no es enseñar a repetir y a manipular enunciados compactos, sino poder pensar sobre ciertos hechos-clave reconstruidos teóricamente para dar sentido a los fenómenos del mundo. Los autores consideran que el marco teórico de Giere, es flexible y riguroso a la vez para poder trabajar en clase con modelos científicos escolares que genuinamente sirvan para entender el mundo natural mediante ideas abstractas y, al mismo tiempo, no se encuentren tan alejados de las concepciones espontáneas que los estudiantes traen a la escuela.

Ante lo anterior, Giere (1999b), señala que los estudiantes necesitan un proceso estructurado para evaluar la información que encuentran en la vida real; esto significa que sean capaces de identificar cuatro elementos: el aspecto del mundo real que se está estudiando, el modelo sugerido que representa este mismo aspecto del mundo; los datos generados por el mundo mediante la observación o la experimentación; y la correspondiente predicción a partir del modelo.

En consecuencia, como lo refiere acertadamente Izquierdo (2007):

El conocimiento científico ha de ser, para el alumno, teórico y práctico a la vez y desarrollarse según una finalidad que lo haga racional, no solo para los científicos, sino también para él. Para ello, se requiere de un concepto de teoría científica que sea suficientemente amplio para poder aplicarse a *todo conocimiento humano, incluido el que emerge en la clase* [cursivas añadidas] (p.131).

De esta manera, bajo este esquema, el enfoque semántico de las teorías científicas de Giere, cumple con las características necesarias para considerar que

la actividad científica escolar genera conocimiento y por ello, dice Izquierdo (2007, p. 133): existe una ciencia escolar, “la cual se ha de concretar en el diseño, la aplicación y la evaluación de secuencias didácticas que cubran desde lo puramente disciplinar hasta los proyectos multidisciplinares”.

Así, se tiene que, para desarrollar propuestas didácticas que permitan la incorporación de los modelos y procesos de modelización, particularmente los modelos generados en dicho proceso en el ámbito de las secuencias didácticas, se han publicado trabajos que ponen a prueba la propuesta de lo que se ha denominado Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA): López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) y López-Mota y Moreno-Arcuri (2014). Esta propuesta será el centro del siguiente apartado.

3. 3 El Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA)

López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) y López-Mota y Moreno-Arcuri (2014) con base en Halloun y Giere, establecen que los alumnos necesitan trascender una visión de ciencia sustentada en conceptos como contenido científico, por una centrada en los procesos de modelización de la ciencia; esto es, con énfasis en los modelos. Ello ayudaría a los estudiantes a construir explicaciones con significado para ellos y desarrollar las habilidades necesarias para este tipo de hacer ciencia; mediante conocimiento basado en la experiencia directa con fenómenos. Por ello, los autores proponen la homogenización, en términos de modelos, de la manera de pensar de los estudiantes (ideas previas o concepciones espontáneas de los estudiantes), del contenido de los programas de estudio y de la concepción científica del contenido a enseñar, con el propósito de diseñar secuencias didácticas basadas en lo que denominan Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), el cual surge del análisis por comparación, de la homogenización antes mencionada. Los autores consideran que la propuesta representa una ventaja funcional, al poder articular de manera racional la manera de pensar de los estudiantes, el contenido de los programas de estudio y el propio

planteamiento científico; todo con el propósito de establecer un referente para el diseño y validación de secuencias didácticas bajo un referente teórico diferente, el MCEA, basado en los modelos y la modelización.

El MCEA es un dispositivo teórico-metodológico sustentado en la visión semántica de los modelos científicos de Giere, en la conceptualización de 'ciencia escolar', y en una definición de modelo adoptada -ver definición en los siguientes párrafos-, que permite diseñar y validar secuencias didácticas (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014). El MCEA tiene como finalidad constituirse en una hipótesis directriz que permita conocer de inicio los logros a los que se quiere llegar al final de la secuencia didáctica -como un modelo a ser representado por los estudiantes en clase-, por lo que con base en él se podrían derivar los criterios para el diseño y validación de la secuencia didáctica, que permita la construcción de modelos en clase, lo más cercanos a la ciencia como sea posible, por parte de los estudiantes (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013; y López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014).

En los apartados anteriores de este capítulo, se abordaron los aspectos relacionados con la visión semántica de modelo científico de Giere, y los aspectos correspondientes a la ciencia escolar (apartados 3.1.1 y 3.1.2 respectivamente); por lo que a continuación se abordará lo respectivo a la postura de modelo que tiene como base la propuesta del MCEA. Cabe mencionar que dicha postura ha pasado por un proceso de cambio, ya que es una propuesta nueva en el campo de la Didáctica de las Ciencias, y aún en proceso de consolidación.

En un primer momento, López-Mota y Rodríguez-Pineda en el 2013, consideraron la visión de modelo científico de Schwartz y colaboradores, para fundamentar el MCEA: "representación abstracta y simplificada de un sistema que hace visibles sus rasgos clave y puede usarse para explicar y predecir fenómenos estudiados por la ciencia, que consiste de elementos, relaciones, operaciones y normas que rigen las interacciones". Sin embargo, al siguiente año, López-Mota y Moreno-Arcuri (2014, p. 13), al considerar que la postura epistemológica semanticista de Giere no constituye en realidad una definición operacionalizable para la postulación del MCEA, deciden adoptar una idea general de modelo

científico en términos de sus características ontológicas con base en Gutiérrez: “representación de un sistema real o conjeturado, consistente en un conjunto de objetos con sus propiedades más sobresalientes enlistadas y un conjunto de reglas que declaran el comportamiento de dichos objetos”; siendo esta última postura de modelo científico la que sustenta actualmente la propuesta del MCEA en López-Mota y Moreno-Arcuri (2014).

De acuerdo con la propuesta del MCEA, este modelo implica la selección de un fenómeno estudiado por la ciencia (incorporado al ámbito curricular) y la homogeneización en término de modelos de las concepciones espontáneas de los estudiantes, el contenido curricular y el modelo teórico disciplinar del fenómeno seleccionado, con el fin de poder comparar dichos modelos y postular el MCEA; para, así, guiar el diseño de la secuencia didáctica para la enseñanza y aprendizaje del fenómeno y lograr una explicación del mismo en términos más cercanos al modelo científico que al inicio de dicha secuencia. Así, el MCEA se considera un dispositivo teórico-conceptual-metodológico en el ámbito de la investigación en Didáctica de la Ciencias, que permite orientar el diseño, la recolección de evidencias y su sistematización, así como la validación de una secuencia didáctica sustentada en modelos (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013; y López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014).

3.3.1 Fundamentación del MCEA para el diseño y validación de secuencias didácticas.

López-Mota y Moreno-Arcuri (2014) utilizan el rombo didáctico de Méheut y Psillos y lo replantean para fundamentar teóricamente el uso del MCEA en el diseño y validación de secuencias didácticas. Para ello, renombran los ámbitos del conocimiento científico y del mundo material del rombo de Méheut y Psillos, para poder ubicarlos dentro de un contexto escolar, e introducen la perspectiva de los modelos en una visión didáctica (Figura 4).

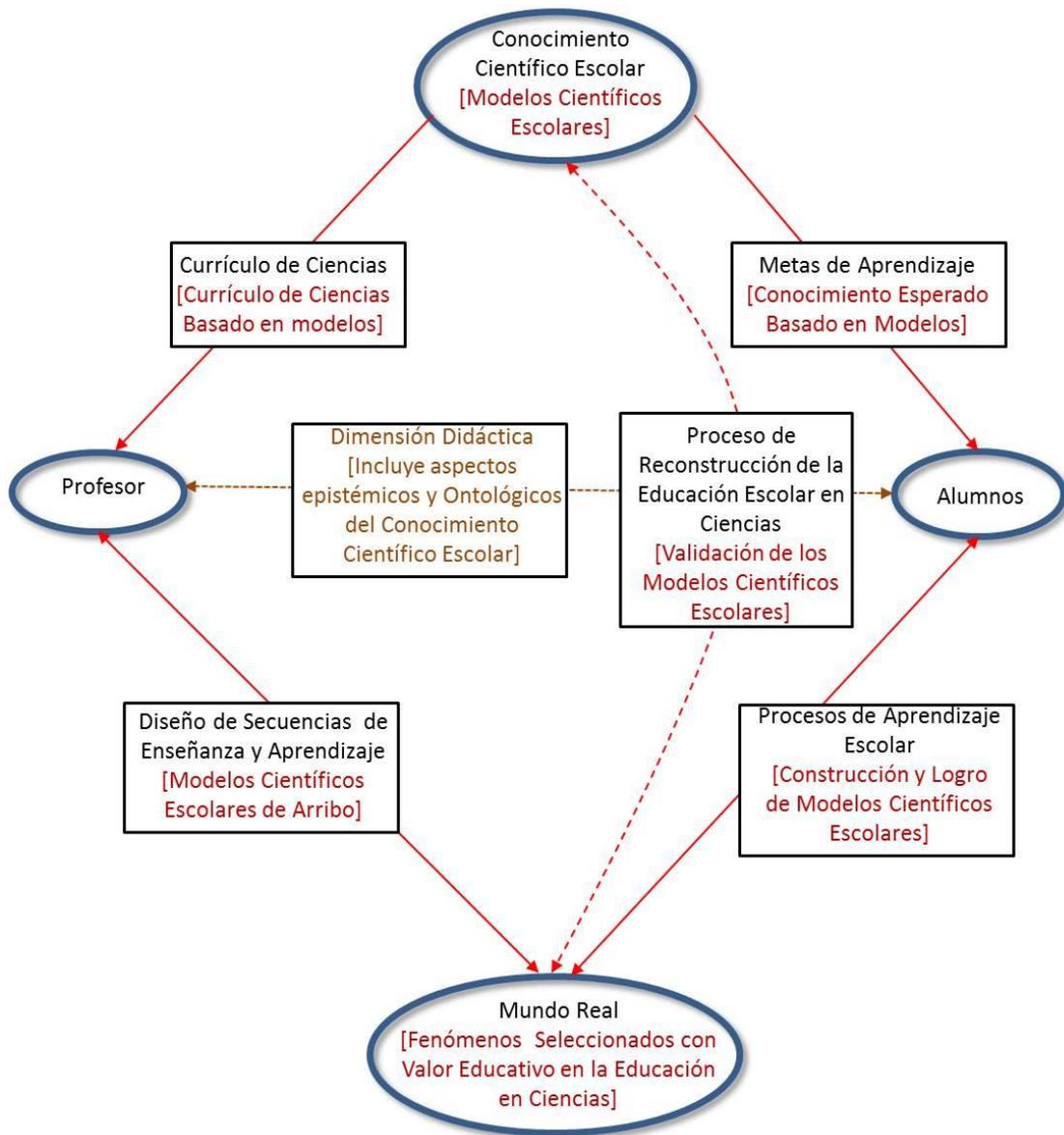


Figura 4. Rombo Didáctico reelaborado por López-Mota y Moreno-Arcuri (2014, p.4) (texto entre corchetes) para el diseño y validación de secuencias didácticas basadas en modelos, inspirado en Méheut y Psillos (2004).

La lectura de la representación de la figura 4, es planteada por los propios autores de la siguiente manera:

La representación inicia en el 'conocimiento científico escolar' que, en su relación con el profesor, se manifiesta como 'currículo de ciencias' que se ofrece a éste como lineamientos para la enseñanza y contenidos científicos a desarrollar en clase. Por otro lado, el 'conocimiento científico escolar', en su conexión con los 'alumnos', se expresa como las 'metas de aprendizaje' a alcanzar. En lo que respecta a la relación entre 'profesor' y 'mundo real', ésta se manifiesta en el diseño de 'secuencias de enseñanza y aprendizaje' que el docente realiza para llevar a cabo su trabajo en clase. En lo relativo a la unión entre 'alumnos' y 'mundo real', ésta se expresa mediante los 'procesos de aprendizaje' utilizados por los alumnos durante las sesiones de clase en las cuales se desarrollan las 'secuencias didácticas' planteadas por el docente.

Entre paréntesis rectangulares, se encuentran las expresiones particulares que desde el punto de vista de la *incorporación de los modelos* [cursivas añadidas] se hace del diseño de secuencias de enseñanza y aprendizaje en un contexto de Didáctica de las Ciencias y de Ciencia Escolar.

Así, nos referimos al triángulo inferior del rombo didáctico que constituye nuestra propuesta, para abordar las cuestiones de *diseño y validación* [cursivas añadidas] de las mencionadas secuencias. En el caso de la relación 'profesor' y 'fenómenos seleccionados con valor educativo' para la Didáctica de las Ciencias o Educación en Ciencias, se manifiesta mediante la elaboración de 'modelos científicos escolares de arriba'. Por otra parte, en el caso de la conexión entre 'alumnos' y 'fenómenos seleccionados con valor educativo', se expresa por la 'construcción -en clase- y logro de los *'modelos científicos escolares* [cursivas añadidas] -que también forman parte esencial de nuestra propuesta y que permite validar las 'secuencias de enseñanza y aprendizaje. La validación es posible al comparar los 'modelos científicos escolares de arriba' (MCEA) *versus* los 'modelos científicos escolares logrados' (MCEL). Esto último permitiría, en última instancia, modificar los 'conocimientos científicos escolares' -en la forma de 'modelos científicos escolares'- expresados en el 'currículo de ciencias' y en los aprendizajes pretendidos, a partir de evidencia empírica sobre su posibilidad de ser implementados en clase y alcanzados en ella (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014, p.112).

Por lo tanto, se puede decir que el MCEA permite establecer los criterios de diseño de una secuencia didáctica, porque permite conocer por anticipado los logros que han de ser alcanzados por los estudiantes durante la implementación de dicha secuencia; por lo cual, la secuencia didáctica tendría actividades específicas, dirigidas a alcanzar dichas metas. Aunado a ello, si se pretende que los alumnos alcancen el MCEA, y este mismo modelo es el que guía el diseño de

la secuencia didáctica, se puede considerar entonces que el MCEA puede dar indicios de la pertinencia, o no, de las actividades propuestas para la secuencia didáctica; al comparar los modelos alcanzados por los estudiantes durante la secuencia con el MCEA, y determinar la distancia que hay entre dichos modelos; es decir, a mayor distancia entre los modelos alcanzados por los estudiantes y el MCEA, menor pertinencia de las actividades diseñadas para la secuencia didáctica, y viceversa.

Por todo lo anterior, es posible que la propuesta del MCEA represente una alternativa en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias basada en los modelos; lo cual ofrece una manera diferente a la memorización de conceptos, para la comprensión de fenómenos científicos de interés educativo.

Con base en lo anterior, se construyó el MCEA sobre germinación, que es el fenómeno que se abordó para este trabajo de tesis.

3.3.2 Sustento teórico para la elaboración del Modelo Científico Escolar de Arribo.

Como se mencionó en el apartado anterior (3.2), existen dos propuestas del MCEA -en relación con la definición de modelo adoptada-; sin embargo, la presente tesis se realizó, en buena medida, bajo las consideraciones del trabajo de López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013).

La propuesta del MCEA de López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013), no establece explícitamente los términos o categorías en las cuales la información proveniente de las concepciones espontáneas de los estudiantes, los planes curriculares y la ciencia, sobre un fenómeno determinado, deben homologarse para construir el MCEA. Sin embargo, se han realizado varios trabajos de tesis - Moreno (2010): elementos, atributos y relaciones; Salgado (2012), García (2013): elementos y relaciones; y Mendoza (2013), entre otros- enmarcados en la perspectiva del MCEA. En ello, puede decirse, se utilizan tres categorías básicas:

elementos, relaciones y condiciones, para homologar la información de las diferentes fuentes, así como para representar el MCEA.

Por lo anterior, debido a que las categorías elementos, relaciones y condiciones en las que se representan los modelos no se encontraban explícitamente definidas en López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) en el momento de formulación del proyecto de investigación que dio lugar a esta tesis, y como tampoco estaba disponible la definición de las categorías en López-Mota y Moreno-Arcuri (2014), se consideró pertinente establecer una definición alternativa de modelo científico para este trabajo, así como definir cada de las categorías que guiarán la construcción de los distintos modelos.

En este momento, vale la pena recordar que López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) plantearon inicialmente la propuesta del MCEA desde la perspectiva de modelo científico de Schwartz y colaboradores: “definimos un modelo científico como una representación que abstrae y simplifica un sistema que concentra sus características clave para explicar y predecir un fenómeno científico”, pero dicha definición no contempla las categorías –elementos, relaciones y condiciones- para la elaboración de los modelos. Sin embargo; Schwartz et al. (2009) citan una definición de modelo científico propuesta por Lesh y Doerr, la cual se considera, sí contempla las categorías para la elaboración de los modelos base del MCEA; por lo tanto, se recurrió a la fuente original de Lesh y Doerr (2003), para adoptar una postura de modelo que pudiera correlacionar con las categorías en las cuales son expresados los distintos modelos y el MCEA. Los autores antes citados definen los modelos como:

Sistemas conceptuales (compuestos de elementos, relaciones, operaciones y reglas que gobiernan las interacciones) que son expresados utilizando sistemas de notación externa y que son usados para construir, describir o explicar el comportamiento de otro posible sistema(s) por lo que otro sistema se puede manipular o predecir inteligentemente (p.10).

Por tanto, los modelos quedan representados por sus elementos, relaciones y condiciones, y es bajo estas categorías que se hace la homologación de la información de las concepciones espontáneas de los estudiantes, programas curriculares y de la ciencia; y con ello, la construcción del MCEA sobre el fenómeno seleccionado en este trabajo: “*la germinación de semillas*”; para posteriormente, con base en el MCEA, llevar a cabo el diseño e implementación de la secuencia didáctica propuesta más adelante en este texto.

A continuación se definirán, cada una de las categorías: elementos, relaciones y condiciones, que servirán de apoyo para la elaboración de los modelos:

Un **elemento(s)** del modelo es una entidad física (macroscópica y microscópica) o una entidad no-física de la realidad; el cual, establece relaciones entre sí que determinan una acción. Los elementos pueden tener subelementos, por ejemplo: un elemento puede ser flor, y sus subelementos los estambres, el estigma y los óvulos (los estambres y el estigma son macroscópicos, y los óvulos microscópicos, pero ambos son entidades físicas).

Las **relaciones** que conforman el modelo, se definen como las interacciones o acciones que tienen lugar entre dos o más elementos y que definen y regulan el modelo.

Las **condiciones** son situaciones determinadas que implican procesos físicos, biológicos o químicos complejos que delimitan el comportamiento de los elementos y relaciones del modelo. Las condiciones determinan y limitan la conducta del modelo; ya que los fenómenos que se busca explicar están asociados a ciertas condiciones de presentación o aparición.

Los elementos, subelementos, relaciones y condiciones del modelo deben permitir que el modelo pueda explicar y predecir un fenómeno determinado; en el caso de esta tesis, el de la germinación.

Las definiciones anteriormente expuestas, serán las que guíen la construcción de los diferentes modelos inferidos o identificados a lo largo de todo el trabajo de tesis.

Bajo estas consideraciones particulares, se procedió a la elaboración del MCEA sobre germinación.

Para establecer MCEA sobre germinación, primero se elaboraron el modelo inicial de los estudiantes, el modelo curricular y el modelo científico de germinación -en términos de elementos, subelementos, relaciones y condiciones-, para con base en ellos, construir el MCEA (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013 y López-Mota y Moreno Arcuri, 2014), y posteriormente establecer los criterios de diseño y validación de la secuencia didáctica sobre germinación.

3.3.3 Modelo inicial de los estudiantes sobre germinación (MIE).

De acuerdo con López-Mota y Moreno-Arcuri (2014), existen dos formas para elaborar el MIE: mediante inferencia del modelo(s) a partir de la información de las concepciones espontáneas contenida en la literatura especializada y circunscrita por edad, disciplina y tema científico de abordaje; o por medio de la recolección de información de las concepciones espontáneas de los estudiantes con los que se va a trabajar; para reelaborarse en forma de modelos. El MIE de este trabajo (Cuadro 1) fue inferido de la segunda forma; por medio de la información recabada de un cuestionario aplicado (Anexo, instrumento 1) para conocer las concepciones espontáneas de los estudiantes sobre el fenómeno de germinación al inicio de la secuencia didáctica. El cuestionario fue aplicado a cinco estudiantes (todas mujeres) de segundo semestre de la carrera de Biología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FES-I), que cursaban el Módulo de Metodología Científica II (MMCII).

Cuadro 1

Elementos, subelementos, relaciones y condiciones del Modelo Inicial de los Estudiantes de germinación, inferidos de las concepciones espontáneas reportadas en el cuestionario aplicado.

Elementos	Subelementos	Relaciones	Condiciones
- Semilla	- Capa protectora, corteza seminal o cáscara	- Semilla- capa/ corteza/ cáscara	- Crecimiento
- Agua/humedad		La semilla con su capa protectora se rompe/abre durante la germinación	- Maduración
- Temperatura			
- Aireación/ oxígeno		- Semilla-plántula	
- pH		De la semilla brota/origina/ da lugar a la plántula	
- Sustrato			
- Plántula			

De acuerdo con los elementos, subelementos, relaciones y condiciones del MIE inferido⁶, las estudiantes consideran que la germinación es cuando una semilla madura y le crece una plántula; la semilla ‘rompe/abre’ su ‘capa protectora’ y de ella ‘brota/origina/se da lugar’ la plántula, evento con el que finaliza la germinación. Además, consideran que los principales elementos que afectan la germinación son el agua/humedad, la temperatura⁷, la ‘aireación’/oxígeno, el pH⁸ y el sustrato. Con base en ello, se considera que las estudiantes tienen una visión alejada de la explicación científica del fenómeno en cuestión, debido a que consideran que durante la germinación la semilla madura -la mayoría de semillas generalmente alcanzan la maduración aun estando unidas a la planta madre, pues necesitan estar maduras para poder germinar-. Otro aspecto es que las

⁶ Es conveniente precisar que este MIE es el resultado de un análisis de cada uno de los cinco modelos iniciales de las estudiantes con las que se trabajó la secuencia didáctica. El análisis que fundamenta el por qué se considera que las cinco estudiantes presentan un mismo modelo sobre el fenómeno de germinación, se realiza en el capítulo 5 de esta tesis.

⁷ En términos estrictos, no es un elemento según la definición, pero para los alumnos actúa como tal.

⁸ Ver nota anterior.

estudiantes expresan que la germinación termina cuando brota o se origina una plántula de la semilla -la germinación concluye con la emergencia de la radícula-. Por último, un tercer aspecto, es que consideran el pH y el sustrato como elementos necesarios para la germinación de la semilla, lo cual científicamente no es así, ya que ninguno de estos factores interviene durante dicho proceso.

3.3.4 Modelo Curricular sobre germinación (MCu).

Para inferir el MCu, primero se eligió un fenómeno de interés (germinación en este caso) para la ciencia, que además estuviera presente en el plan curricular de la carrera de Biología; posteriormente se revisó el programa de estudio correspondiente a la temática a abordar, para inferir -si es que no estuviera declarado explícitamente- el modelo científico contenido en dicho programa.

Cabe señalar, que la secuencia didáctica se aplicó en el MMCII de la licenciatura en biología, en el cual los estudiantes realizan un proyecto de investigación de tipo experimental con relación a temas diversos y de su elección; por lo que el programa temático de dicho módulo no contiene en sí mismos los temas a abordar, sino que el programa se centra en el proceso de desarrollo de un proyecto de investigación. Debido a ello, la inferencia del MCu se hizo con base en las cartas descriptivas y los programas temáticos de los módulos de Diversidad Vegetal II -subtema Introducción: la diversidad, hábitat e importancia- (Diversidad vegeta II, s.f.) y del módulo de Morfofisiología Vegetal –tema dos, Germinación de las semillas y, tema tres, Efecto de los Factores Ambientales sobre la Germinación- (Morfofisiología vegetal, s.f.), del quinto semestre de la carrera de Biología de la FES-I (Cuadro 2).

Cuadro 2

Elementos, subelementos, relaciones y condiciones del Modelo Curricular de germinación inferido de las cartas descriptivas y programas temáticos de los módulos de Diversidad Vegetal II y Morfofisiología Vegetal, de la carrera de Biología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

Elementos	Subelementos	Relaciones	Condiciones
- Semilla	- Hormonas	- Semilla-agua La semilla absorbe agua	- Latencia
- Agua	- Reservas	- Semilla-oxígeno La semilla necesita oxígeno para respirar	- Viabilidad y longevidad
- Temperatura	- Célula (fitocromo)	- Semilla-reservas En la semilla hay movilización de reservas	- Quiescencia
- Luz			- Imbibición
- Oxígeno			- Reactivación del metabolismo
- Nitratos			- Respiración
			- Movilización de reservas

El MCu inferido, tiene una serie limitada de elementos -semilla, oxígeno, agua, luz, temperatura⁹ y nitratos- en comparación con el MC (Cuadro 3). De forma explícita, no se establecen relaciones entre los elementos en los programas temáticos o cartas descriptivas de los módulos. Sin embargo, se infirieron tres relaciones: la semilla al contacto con el agua, la absorbe (entre los elementos semilla y agua), la semilla permite el paso del aire -pues necesita oxígeno- para respirar y en la semilla se movilizan reservas (entre el elemento semilla y el subelemento reservas). Las condiciones son latencia, viabilidad, longevidad, quiescencia, imbibición, reactivación del metabolismo, respiración y movilización de reservas, las cuales son mencionadas en los programas consultados (Cuadro 2). Bajo este esquema, se pueden hacer dos reflexiones importantes. El hecho de

⁹ Ver nota dos.

considerar los nitratos y los fitocromos como parte del programa curricular puede reflejar, en alguna medida, el hecho de que se pretenda que los estudiantes aprendan aspectos muy específicos del proceso de germinación; lo que es congruente si se considera que los módulos que sirven de referencia, se cursan durante el quinto semestre de los ocho que implica la carrera de Biología en dicha facultad. Sin embargo, esto es muy contrastante con el hecho de que aún se considere en dichos programas la movilización de reservas, ya que actualmente este evento se considera post-germinativo.

Sumado a lo anterior, es difícil saber qué tanto se modifican los programas temáticos o cartas descriptivas durante el desarrollo de las clases, debido a que el profesor puede modificar ciertos aspectos de las temáticas, así como la forma en que se abordan, debido a la libertad de cátedra que le otorga la facultad incorporada a la UNAM, además de no quedar constancia formal de dichas modificaciones.

Además de la inferencia del MCu, a partir de la revisión de las cartas descriptivas y los programas de los dos módulos antes mencionados, la revisión hizo notar que existe un desfase en el currículo entre el tema de la semilla y su estructura -del módulo de Diversidad Vegetal II- y, el proceso de germinación -del módulo de Morfofisiología Vegetal-; ya que el tema de semilla está contemplado en la segunda unidad en un módulo (a inicios del semestre) y el de germinación en la penúltima unidad (a finales de semestre) del otro, a pesar de que ambos módulos son de quinto semestre.

La separación tanto modular como temporal de los temas de semilla y germinación en el currículo de la carrera de Biología de la FES-I, puede resultar poco útil para los estudiantes en términos de ayudarlos a considerar que ambos temas están relacionados para explicar el propio proceso de germinación; por lo que el tema de la semilla y su estructura debería, quizás, anteceder a la temática de germinación en el programa de Morfofisiología Vegetal.

3.3.5 Modelo Científico sobre germinación (MC).

Antes de mostrar el MC sobre germinación de la presente tesis, se presenta un marco contextual sobre el fenómeno de germinación para proporcionar al lector una perspectiva general de las implicaciones del fenómeno en cuestión, con la finalidad de sustentar y dar claridad al MC presentado posteriormente.

3.3.5.1 Marco contextual sobre el fenómeno de germinación.

Dentro del reino *Plantae* se ubican las gimnospermas y las angiospermas (plantas con semillas). Las angiospermas son el grupo más diverso de organismos de dicho reino y se encuentran prácticamente en todos los hábitats de la Tierra. Una de sus principales características son sus **flores**. Etimológicamente el término angiosperma viene del griego *angeion* = vaso, contener y *esperma* = semilla, en referencia a que las semillas de estos organismos se encuentran encerradas dentro de varias capas de tejido; a diferencia de las gimnospermas, cuyas semillas están expuestas (Martínez, 2013; Reece, Taylor, Simon y Dickey, 2012).

En el ciclo de vida generalizado de las angiospermas, ocurre la fertilización del óvulo dentro de una flor, el ovario se desarrolla en un fruto y el óvulo se desarrolla en la semilla que contiene el embrión. El fruto protege la semilla y la ayuda para su dispersión. Para completar el ciclo: la semilla germina en un hábitat adecuado; el embrión se desarrolla en una plántula; y la plántula crece en una planta madura (Reece et al., 2012).

Las angiospermas se clasifican en dos grupos: monocotiledóneas y eudicotiledóneas, con base en el número de cotiledones -hojas embrionarias que almacenan material de reserva- que presentan los embriones de sus semillas. Las monocotiledóneas son plantas con semillas de un solo cotiledón, hojas angostas y venación paralela; y las eudicotiledóneas, plantas con dos cotiledones, hojas

anchas y venación ramificada (Figura 5) (Jones, Ougham, Thomas y Waaland, 2013; Martínez, 2013).

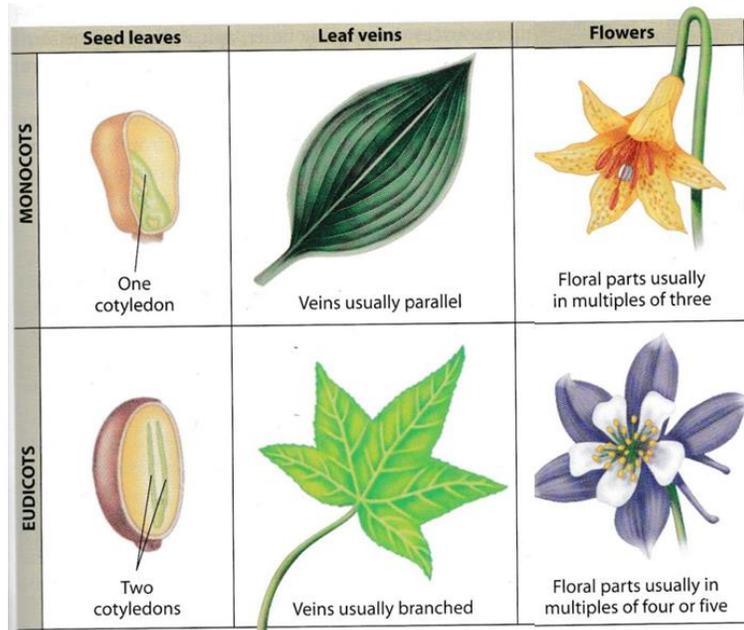


Figura 5. Comparación entre plantas monocotiledóneas y eudicotiledóneas, tomado de Reece et al. (2012).

La semilla es la unidad estructural de reproducción, propagación y diseminación de las angiospermas. Generalmente posee un embrión, tejido de reserva (endospermo) y una cubierta seminal protectora (testa). En algunos casos la semilla madura contiene endospermo, mientras en otras el endospermo es consumido durante el desarrollo del embrión y por lo tanto la semilla se compone de cotiledones, lo que da lugar a una inmensa variabilidad en las semillas existentes (Márquez, 2013 y Jones et al., 2013). El embrión maduro de la semilla típicamente consta de una pequeña raíz embrionaria (radícula) y un tallo, cada uno con un meristemo apical; y uno o dos cotiledones (Márquez, 2013 y Reece et al., 2012); usualmente los cotiledones o el endospermo actúan como reserva de carbohidratos, lípidos y proteínas. El embrión, rodeado por el endospermo, entra en reposo y se vuelve tolerante a la desecación (se deshidrata), y no se sigue desarrollando hasta que la semilla germina.

La germinación de una semilla, a menudo es usada para simbolizar el comienzo del ciclo de la vida de una planta, lo cual puede deberse a que al germinar la semilla, se reanuda el crecimiento y el desarrollo de la planta, el cual estuvo suspendido temporalmente en la semilla.

La germinación de una semilla es un proceso que inicia con la absorción de agua y culmina con la emergencia de la radícula a través de la(s) cubierta(s) de dicha semilla, aunque en algunas especies es difícil definir cuándo ha ocurrido la germinación. El criterio de germinación se debe definir por la estructura que hace visualmente evidente el crecimiento del embrión y asegura el desarrollo de la plántula (Orozco y Sánchez, 2013); por lo que comúnmente se considera que la señal visible de que la germinación está completa, es la penetración (ruptura) de la cubierta de la semilla (testa) por la elongación de la raíz embrionaria o radícula (Reece et al., 2012, Öpik y Rolfe, 2005 y Jones et al., 2013).

El inicio de la germinación depende de la hidratación de la semilla, por lo que es necesario que las estructuras que rodean al embrión sean permeables (hidrofílicas). La toma de agua por la semilla tiene tres fases, las cuales se representan en la Figura 6.

En la **fase I o de imbibición** se establecen las relaciones hídricas entre la semilla y el suelo, en las que es importante el potencial hídrico (Ψ) de ambos. El potencial hídrico del suelo puede ser una señal ambiental que indica a la semilla que la disponibilidad de agua es suficiente para la germinación, el establecimiento de la plántula y su posterior crecimiento. La tasa inicial de toma de agua por la semilla (imbibición) está determinada por la permeabilidad de sus cubiertas, el área de contacto entre la semilla y el sustrato, las características de los tejidos de la semilla y la conductividad hidráulica del suelo. Los componentes del potencial hídrico de las células de la semilla son fundamentalmente (Orozco y Sánchez, 2013):

$$\Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_m + \Psi_p$$

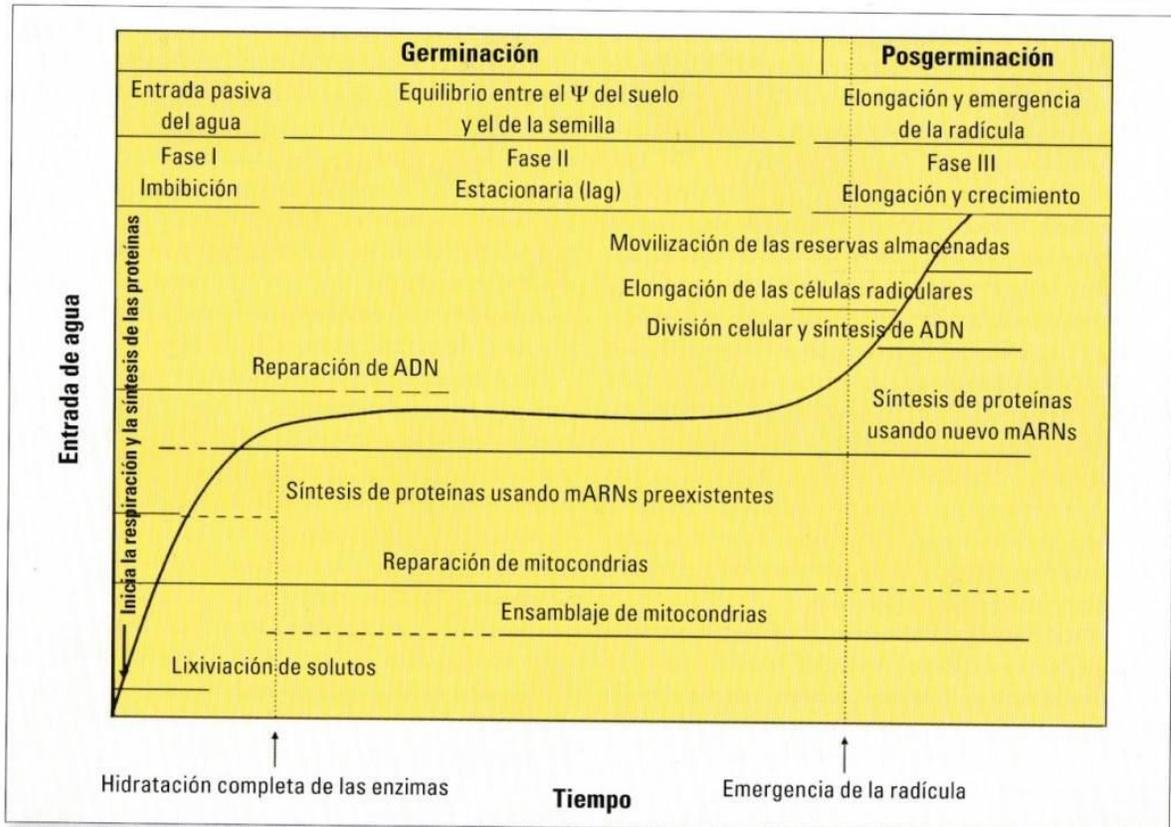


Figura 6. Fases de la imbibición de la semilla. Para cada fase se señalan los cambios bioquímicos que la caracterizan y el momento en que la germinación se hace visible, con la emergencia de la radícula, en la fase de elongación y crecimiento (Modificado de Bewley, 1997); tomado de Orozco y Sánchez (2013).

Ψ_{π} = Potencial osmótico (depende de la concentración de solutos y contribuye negativamente al Ψ).

Ψ_m = Potencial mátrico (depende de la capacidad de las paredes celulares, almidones y proteínas para retener agua e hidratarse, por lo que contribuye negativamente al Ψ).

Ψ_p = Potencial de presión (al penetrar el agua a las células, éstas se hinchan y ejercen una fuerza sobre la pared celular, y su contribución al Ψ es positiva); al comienzo de la fase I de la germinación su contribución es muy pobre por tener las semillas un bajo contenido de agua.

La fase I de la germinación (Figura 6) se caracteriza por la rápida absorción de agua a la semilla. En ella se inicia la reparación del material genético, de las mitocondrias y de cualquier otro sistema de membranas, así como de los daños ocurridos durante la etapa de deshidratación. Además, con los elementos preexistentes (entre ellos ARN, ADN y mitocondrias) se reinicia la síntesis de proteínas (Orozco y Sánchez, 2013).

Durante la imbibición, al estar las semillas en contacto con el agua, presentan lixiviación –proceso de desplazamiento de sustancias solubles debido al movimiento del agua- de las sustancias contenidas en ellas, debido al daño que sufren las membranas de las células durante la deshidratación y durante el proceso de envejecimiento de las semillas. La imbibición es un proceso físico resultante de la hidratación de los polímeros almacenados en la semilla (proteínas, lípidos y carbohidratos). La hidratación de la semilla a menudo comienza con la absorción de agua a través del micrópilo (Jones et al. 2013).

Como consecuencia de la fase I o de imbibición, la semilla aumenta su Ψ , y la toma de agua disminuye. Por consiguiente, en la **fase estacionaria o fase II**, el contenido de agua de la semilla aumenta un poco o se mantiene prácticamente constante, lo que indica un equilibrio entre el Ψ de la semilla y el de su microambiente; por lo que la tasa neta de entrada de agua a la semilla es despreciable. En esta fase se producen con mayor intensidad los procesos iniciados en la fase uno, tales como la síntesis de ADN y ARN, y se inician otros como la renovación del sistema mitocondrial, la movilización de sustancias de reserva y la elongación de las células de la radícula (Figura 6). En esta fase la actividad de las moléculas promotoras de la germinación, como las giberelinas, incrementan la síntesis de enzimas hidrolíticas, como la α -amilasa y la ribonucleasa, así como la de β -amilasa. Las ribonucleasas hidrolizan a los ácidos nucleicos; los productos de esta hidrólisis son usados para sintetizar nuevo ARN, que será necesario durante la última fase de la germinación y el posterior desarrollo de la plántula (Orozco y Sánchez, 2013).

Como resultado de la acumulación y generación de solutos dentro de las células embrionarias, el Ψ del embrión disminuye, lo que favorece la entrada de agua en la siguiente fase (fase III). Adicionalmente, las enzimas proteolíticas y las celulasas degradan las paredes celulares, lo que permite que la radícula pueda romper la o las cubiertas de la semilla (Orozco y Sánchez, 2013).

En la **fase III**, después de que el contenido crítico de agua para la germinación (contenido de agua al cual se alcanza el potencial hídrico requerido para el crecimiento del embrión) se logra y, después de un tiempo en la fase II, tiene lugar un repunte en la entrada de agua; asociado con la expansión y el crecimiento del embrión, y la protrusión de la radícula a través de las cubiertas de la semilla, lo que indica que la germinación se ha completado. Esta fase continúa con el crecimiento de la plántula (Orozco y Sánchez, 2013); por lo que se reanuda el crecimiento y el desarrollo que se suspende temporalmente en la semilla como se mencionó anteriormente.

El proceso de germinación que se describió en los párrafos anteriores es regulado por la acción de varios factores ambientales. Entre los factores que controlan la germinación se encuentran el agua, el oxígeno, el bióxido de carbono, la temperatura y la luz. La presencia y concentración de los tres primeros son determinantes para la germinación de cualquier especie; a diferencia de la temperatura (termoblastismo: germinación regulada por la temperatura) y la luz (fotoblastismo: germinación regulada por la luz) que dependen del tipo de planta del que se trate (Orozco y Sánchez, 2013).

En relación con la temperatura, la germinación de cada especie ocurre en un intervalo de temperaturas relacionado con el hábitat que ocupan y con el estado de madurez del embrión. Al intervalo de temperatura en el que ocurre la germinación se le llama ventana térmica; dentro de este intervalo se pueden identificar las temperaturas máxima, mínima y óptima de germinación, conocidas como temperaturas cardinales (Orozco y Sánchez, 2013).

Por otro lado, la germinación regulada por la luz, está controlada por una familia de pigmentos fotosensibles conocidos como fitocromos. En la germinación, intervienen el fitocromo A y el fitocromo B; ambos pigmentos funcionan como receptores de las señales luminosas y las integran a una cadena de transducción que concluye en la activación o inhibición de la germinación. En general, los fitocromos tienen una forma activa y una inactiva. A la primera se le conoce como F_{ri} , y a la segunda como F_r , debido a que la primera absorbe luz roja lejana (730 ± 10 nm), mientras que la segunda absorbe luz roja (660 ± 10 nm). Una vez que el F_{ri} absorbe luz roja lejana, se transforma en F_r y viceversa (Orozco y Sánchez, 2013).

En condiciones de laboratorio y en la naturaleza, los cambios de F_{ri} a F_r y viceversa, pueden ocurrir innumerables veces, producidos por cambios en la iluminación o por el movimiento del Sol, respectivamente. Pero, no habrá inducción de la germinación, mientras F_{ri} no alcance el umbral crítico para la germinación, y permanezca en esta condición el tiempo suficiente para que se inicie el proceso de germinación, después de lo cual dicho proceso ya no es reversible.

Todas aquellas especies que para germinar requieran luz o ambientes iluminados, se denominan fotoblásticas positivas. Pero existen aquellas que pueden germinar en la obscuridad o en presencia de luz, por lo que son indiferentes a ésta. Por último, las que únicamente germinan en la obscuridad o cuya germinación es inhibida por la luz, son fotoblásticas negativas (Öpik y Rolfe, 2005; Orozco y Sánchez, 2013).

Los aspectos descritos anteriormente ocurren de manera general durante la germinación de las semillas; sin embargo, existen otros factores -relacionados con el estado en el que se encuentre o tenga la semilla - que también tienen influencia en la germinación de las semillas.

Si una semilla permanece sin germinar debido tan solo a la ausencia de agua, oxígeno o luz y temperatura adecuadas, ésta se encuentra en estado de

quiescencia. Este estado desaparece en el momento en que los requerimientos básicos para la germinación se cubren. Cuando, a pesar de estar en condiciones ambientales idóneas para germinar, no lo hacen, las semillas permanecen en un estado de reposo profundo conocido como *latencia* y cuya función es mantenerlas en un estado de mínima actividad hasta que las condiciones ambientales sean adecuadas para la germinación y el establecimiento exitoso de las plantas (Orozco y Sánchez, 2013).

La latencia se puede clasificar en primaria y secundaria, con base en el tiempo en el que se establece dicha latencia. La latencia primaria, innata o endógena, se presenta desde el momento de la diseminación (separación de la planta madre) de las semillas, mientras que la secundaria, o inducida, se desarrolla después de que la semilla se ha diseminado, debido a las condiciones adversas del ambiente (Orozco y Sánchez, 2013 y Jones et al. 2013).

La quiescencia y la latencia de las semillas son reguladas por el efecto de hormonas vegetales tales como el ácido absícico (ABA) y el ácido giberélico (AG). El ABA es importante en la inducción de la latencia en semillas (y la inhibición de la germinación); y su interacción con el AG influye en la formación y germinación de semillas. Una semilla en desarrollo muestra tasas altas de división y expansión celular y característicamente el contenido de AG es alto, mientras que el contenido de ABA es bajo. En las semillas maduras la división celular cesa y los niveles de AG disminuyen, mientras que los niveles de ABA aumentan. Este incremento en la concentración de ABA está asociada con el desarrollo de la tolerancia a la deshidratación y es importante en la promoción de la latencia (Öpik y Rolfe, 2005).

Con el marco contextual anterior en torno al fenómeno de germinación, ahora es posible plantear el MC que servirá como base para el MCEA.

3.3.5.2 MC sobre germinación.

Por último, para el MC se revisó la literatura científica relativa al fenómeno de germinación, para identificar, seleccionar e inferir el modelo científico que explica y predice el fenómeno en cuestión (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014).

Después de la revisión de diferentes fuentes de información especializadas en libros, artículos científicos y páginas electrónicas (Campbell et al., 2009; Kigel y Galili, 1995; Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006; Rajjou et.al., 2012; Weitbrecht, Müller y Leubner-Metzger, 2011; y Leubner, 2012) se construyó el MC sobre germinación, el cual se ilustra en el cuadro 3.

Cuadro 3

Elementos, subelementos, relaciones y condiciones del Modelo Científico de germinación inferido de la literatura especializada.

Elementos	Subelementos	Relaciones	Condiciones
- Semilla	<ul style="list-style-type: none"> - Testa/cubierta seminal - Hilio - Materiales celulares - Membrana celular - Cotiledones y/o endospermo (materiales de reserva*, enzimas**) - Embrión [radícula, células, solutos***, ADN y ARN, fitohormonas: ácido abscísico (ABA) y ácido giberélico (AG), adenosín trifosfato (ATP)] <p>*Lípidos, carbohidratos y/o proteínas (aminoácidos **Alfa y beta amilasas principalmente, glucanasas. *** Proteínas y carbohidratos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla: embrión-hilio-agua La semilla absorbe agua por el hilio o la testa y se hincha - Semilla: testa-cotiledones- solutos Los solutos de los cotiledones se lixivian tras la imbibición a través de la testa - Semilla: embrión-agua-temperatura-oxígeno-bióxido de carbono) La respiración se activa y se produce energía en forma de ATP - Semilla: cotiledones-embrión-ARN En la semilla se traducen los mARNs almacenados tras la activación - Semilla: embrión-agua-temperatura, proteínas: aminoácidos- ADN) El ADN y las mitocondrias se reparan - Semilla: cotiledones y/o 	<ul style="list-style-type: none"> - Madurez - Viabilidad - Quiescencia - Permeabilidad - Fotoblastismo - Sin dormición - Imbibición - Ósmosis - Potencial Hídrico - Reactivación del metabolismo - Respiración

<ul style="list-style-type: none"> - Agua - Luz (blanca, oscuridad, roja y rojo-lejano) - Temperatura - Oxígeno - Bióxido de carbono 	<p>endospermo-embrión-ARN) Se traduce y sintetiza ARN de <i>novo</i> después de la reparación mitocondrial y de ADN.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semilla: testa, embrión, célula-oxígeno) El oxígeno se incrementa por el aumento de la respiración - Semilla: endospermo-hormonas: ABA-AG El ABA disminuye y el AG aumenta para ablandar el endospermo - Semilla: radícula- testa La testa se rompe posteriormente a la ruptura del endospermo - Semilla: embrión-radícula- endospermo-testa La radícula del embrión emerge a través de la testa - Semilla: fitocromo, membrana celular La luz regula la actividad del fitocromo de la semilla para la germinación 	<ul style="list-style-type: none"> - Ruptura de la testa - Ruptura del endospermo - Crecimiento - Protrusión de la radícula
---	--	---

Con base en el MC establecido, se considera que la germinación de las semillas es un proceso fisiológico complejo que comienza con la rápida absorción de agua por imbibición de una semilla deshidratada, sin latencia, viable y madura; seguida de la expansión del embrión y emergencia de la radícula. La protrusión o emergencia de la radícula es el final de la germinación de una semilla; por lo tanto, depende del crecimiento del embrión guiado por la absorción de agua.

Para que la semilla pueda absorber agua, su testa (cubierta seminal) necesita ser permeable y con materiales celulares hidrofílicos; además, el agua también se absorbe por el hilio en semillas impermeables al agua. La semilla también requiere de una diferencia de potencial hídrico entre el agua que absorbe por imbibición, y la de la semilla.

La absorción del agua por la semilla es trifásica, con una rápida absorción inicial (fase I, imbibición) seguida por una fase de meseta (fase II, preparación metabólica para la germinación). La fase III requiere un nuevo aumento en la absorción de agua, el cual ocurre directamente después de que la germinación está completa.

En la segunda fase de absorción de agua por la semilla, se llevan a cabo los procesos bioquímicos que permiten que la semilla germine. Durante esta fase, y parte de la primera, la semilla se hincha por la imbibición del agua y se lixivian los solutos de los cotiledones (carbohidratos y proteínas) por osmosis a través de la testa; posteriormente se activan la respiración (para producir energía) y el metabolismo de los aminoácidos para que se pueda llevar a cabo la traducción por medio de los mARNs almacenados en la semilla, y la reparación mitocondrial y de ADN, entre otros. Con lo anterior, se traduce y sintetiza mARN *de novo*, aumenta el metabolismo y la respiración en la semilla y comienza la movilización de reservas. Posteriormente, las células del embrión se elongan y el embrión crece rápidamente. El endospermo se ablanda, debido a la disminución de ABA y el aumento del AG y, se rompe, lo que permite la emergencia de la radícula; evento que marca el fin de la germinación.

Una semilla sin dormición, tiene la capacidad de germinar en un amplio rango de factores ambientales físicos posibles para el genotipo. Además del requerimiento básico de agua, oxígeno y temperatura apropiada, la semilla también puede ser sensible a la luz y/o nitrato. La temperatura es necesaria para el buen funcionamiento de las enzimas del embrión durante los procesos bioquímicos. La luz se requiere en semillas que son fotoblásticas positivas para regular la actividad del fitocromo para que se pueda dar la germinación. El oxígeno y el bióxido de carbono son necesarios para que la semilla pueda respirar.

3.3.6 Modelo Científico Escolar de Arribo sobre germinación (MCEA).

Después de la construcción de los modelos anteriores, se realizó un análisis y comparación del modelo científico y el curricular, para poder establecer los elementos, subelementos, relaciones y condiciones del MCEA que alumnos de segundo semestre de la carrera de Biología de la FES-I (Cuadro 4) debieran alcanzar.

Cuadro 4

Elementos, subelementos, relaciones y condiciones del Modelo Científico Escolar de Arribo de germinación para alumnos de segundo semestre de la carrera de Biología de la FES-I.

Elementos	Subelementos	Relaciones	Condiciones
- Semilla - Agua - Luz - Temperatura - Oxígeno	- Testa - Cotiledones y/o endospermo (materiales de reserva*, enzimas**) - Embrión (radícula, células, hormonas, ATP)	- Semilla: embrión-hilio-agua La semilla absorbe agua por el hilio o la testa y se hincha - Semilla: embrión-agua-luz-temperatura El embrión activa su respiración en condiciones adecuadas de agua, luz y temperatura - Semilla: testa, embrión, célula-oxígeno El oxígeno incrementa en las células del embrión - Semilla: embrión- oxígeno –ATP El embrión de la semilla produce ATP durante la respiración - Semilla: embrión-células Las células del embrión se elongan y crece - Semilla: endospermo- fitohormonas El endospermo de la semilla se ablanda y se rompe por efecto de	- Maduración - Viabilidad - Quiescencia - Permeabilidad - Fotoblastismo - Sin dormición - Imbibición - Reactivación del metabolismo - Respiración - Crecimiento - Protrusión de la radícula

		las fitohormonas - Semilla: testa- agua La testa de la semilla se rompe por acción del agua - Semilla: embrión-radícula- endospermo-testa La radícula del embrión emerge a través de la testa.	
--	--	--	--

El MCEA propuesto, contempla los elementos: semilla, luz, agua, temperatura y oxígeno. Los subelementos: testa, hilio, cotiledones y/o endospermo (materiales de reserva, enzimas) y embrión (radícula, células, hormonas, ATP). Entre los elementos y subelementos se establecen las relaciones: absorber, hinchar, activar; incrementar, producir, elongar, romper y emerger. Las condiciones del modelo -procesos físicos, biológicos o químicos complejos que integran los elementos, subelementos y relaciones del modelo- son maduración, viabilidad, quiescencia, permeabilidad, fotoblastismo, sin dormición, imbibición, reactivación del metabolismo, respiración, crecimiento y protrusión de la radícula (Cuadro 4).

Existe la probabilidad de que se cuestione el por qué el MCEA propuesto tiene menos componentes que el MC, si la secuencia didáctica va dirigida a estudiantes universitarios de Biología, quienes se esperaba tuvieran un modelo lo más cercano posible al MC. Sin embargo, vale la pena recordar que la secuencia didáctica está dirigida a alumnos de segundo semestre de la carrera, específicamente del módulo de Metodología Científica II, lo que implicó considerar dos aspectos. En primer lugar, en segundo semestre, de acuerdo al plan curricular de la carrera, no se aborda el tema de germinación -es en quinto semestre, en el módulo de Morfofisiología Vegetal que se aborda el tópico de germinación-. En segundo lugar, en el Módulo de Metodología Científica II; los alumnos pueden realizar proyectos de investigación de tipo experimental en relación *con cualquier tema de su interés*, como ya se había mencionado anteriormente, lo que implica el dominio de dicho tema en términos del proyecto a realizar. Por lo tanto, y aunado

a mi experiencia docente impartiendo el curso de Metodología Científica II, se consideró que los componentes propuestos del MCEA (cuadro 4), son los necesarios para que los alumnos puedan abordar el fenómeno en cuestión y realizar un proyecto de investigación con relación a dicho tema; debido a que en este momento de la carrera el alumno debe de comprender la generalidad del fenómeno para resolver un problema, y en quinto semestre es el momento en el cual debe abordar el fenómeno en profundidad.

Conjuntamente, el MCEA como se representa en el cuadro 4, puede permitir que los estudiantes de segundo semestre, vayan ajustando su modelo inicial -en términos de elementos, relaciones y condiciones- sobre el fenómeno de germinación -alejado de la versión científica: la germinación se da cuando una semilla madura y crece una plántula; los principales elementos que afectan la germinación son agua/humedad, temperatura, 'aireación'/ oxígeno, pH y el sustrato (Cuadro 1)- y acercarse de forma gradual al MC a través de la consideración de los estudiantes, de los diferentes componentes del MCEA.

Aunado a lo anterior, el MCEA podría parecer más complejo en relación con el MCu inferido de los programas (Cuadro 2), lo cual se debe a las categorías en las que se expresan los modelos en este trabajo (elementos, subelementos, relaciones y condiciones), y a la dificultad en la inferencia del MCu bajo dichas categorías, como se mencionó anteriormente (apartado 3.3.3) y que los programas están expresados en temáticas, lo que dificulta su interpretación en términos de modelos. Además, no se debe olvidar que el MCEA es un modelo intermedio entre el MC y el MCu.

3. 4 Criterios de diseño para la secuencia didáctica con fundamento en el MCEA sobre germinación

Posterior a la construcción del MCEA para los alumnos de segundo semestre de la carrera de Biología, se seleccionaron los criterios que guiarían la

secuencia didáctica con base en dicho modelo y al MIE inferido de las concepciones espontáneas de los estudiantes.

Los criterios a tomar en cuenta fueron:

- Considerar a la germinación como una etapa del ciclo de vida de las angiospermas y que termina con la emergencia de la radícula.
- Introducir los elementos luz, temperatura y oxígeno del MCEA en la secuencia didáctica, para dar pauta al establecimiento de las relaciones deseadas en dicho modelo (ver Cuadro 4) y para lograr la diferenciación entre factores ambientales y factores internos de la semilla durante la germinación.
- Introducir los subelementos cotiledones y/o endospermo (materiales de reserva, enzimas) y embrión (radícula, células, hormonas, ATP) del MCEA, para permitir el establecimiento de la existencia de factores externos e internos para explicar la germinación bajo ambos factores y no solo los externos, ya que todos los subelementos, son componentes internos de la semilla.
- Promover el establecimiento de las relaciones propuestas del MCEA (ver Cuadro 4) para dotar de coherencia y alcance al modelo a construir para la explicación y comprensión del fenómeno en cuestión; ya que ello conferirá coherencia interna al modelo que se construye y sus evidenciar limitaciones.
- Introducir las condiciones viabilidad, quiescencia, permeabilidad, fotoblastismo, sin dormición, imbibición, reactivación del metabolismo, respiración y protrusión de la radícula, que permitan al estudiante evaluar aquellos procesos considerados como indispensables para explicar la germinación; sin las cuales el fenómeno no se puede presentar.

Capítulo 4. Secuencia Didáctica

En este capítulo, se presentan los propósitos que guiaron el desarrollo de este trabajo. Con base en ellos, y en los criterios referidos en el capítulo anterior, se diseñó la secuencia didáctica sobre el fenómeno de germinación, la cual fue aplicada a estudiantes de segundo semestre de la carrera de Biología. El diseño de la secuencia didáctica se aborda en el segundo apartado de este capítulo, dónde se explicitan las actividades llevadas a cabo durante la secuencia. En el tercer apartado, se hace referencia a la aplicación y validación de la secuencia didáctica, donde se describe el grupo en el cual fue aplicada la secuencia y la forma en la que se validó la secuencia tras su aplicación, aspecto con el que finaliza el capítulo.

4.1 Propósitos de la investigación

General:

- Evaluar el logro del Modelo Científico Escolar de Arribo mediante una intervención didáctica basada en la modelización del fenómeno de germinación con estudiantes universitarios.

Particulares:

- Conocer las transformaciones logradas, en términos de modelos, de los Modelos Científicos Escolares Logrados (MCEL) por los estudiantes al final de la secuencia didáctica, por comparación con el MIE.
- Conocer los logros y limitaciones de los MCEL de los estudiantes frente al MCEA propuesto y las razones de ello en correspondencia con la secuencia didáctica.

4.2 Diseño de la secuencia didáctica

Para el diseño de la secuencia didáctica se tuvieron en cuenta dos aspectos; el primero relativo a los criterios surgidos de la construcción del MCEA, los cuales se desglosaron en el apartado anterior (apartado 3.4) y, el segundo, fue el módulo -módulo de Metodología Científica II- en el cual se aplicaría la secuencia didáctica.

Uno de los objetivos que persigue el módulo de MMCII de la carrera de Biología de la FES-I, es que los alumnos sean capaces de manejar el método científico experimental en la solución de un problema biológico de su interés. Para cumplir dicho objetivo, el programa del módulo se encuentra dividido en tres unidades. La primera unidad corresponde al protocolo de investigación, la unidad dos al trabajo experimental, y la tercera al análisis, discusión de resultados y elaboración del informe final. De manera específica, el módulo pretende que el alumno, en la primera unidad, conozca el marco teórico necesario para abordar un problema biológico. La segunda unidad está destinada a poner a prueba el diseño experimental elaborado para resolver el problema biológico seleccionado. Y, la tercera, pensada para realizar el análisis y discusión de los resultados obtenidos de la experimentación (Metodología Científica II, s.f.). Cabe mencionar que todas las actividades del módulo se llevan a cabo en equipos, organizados por los propios estudiantes.

La organización de las unidades del módulo antes descrita, sirvió de base para organizar la secuencia didáctica, ya que se considera que dicha estructura tiene similitud con el método de proyectos formativos. A este respecto, Tobón (2005) considera que uno de los propósitos de los proyectos formativos es conocer, comprender y resolver problemas de la realidad conforme a los intereses de los estudiantes. En este sentido, el objetivo general del MMCII se ajusta a dicho propósito, pero dentro del contexto de la biología y del método científico experimental. Además, el autor también menciona que, de manera tradicional, la implementación del proyecto formativo se divide en tres fases o etapas:

planeación, ejecución y evaluación, la cuales correlacionan con las unidades y los objetivos del módulo.

Otra razón por la cual se tomó como base la organización de las unidades del módulo para el diseño de la secuencia didáctica, es porque se considera que tal organización permite que se resuelva el problema, en este caso biológico, dentro de una red de situaciones en constante cambio, organización y valoración, que posibilitan la retroalimentación necesaria para realizar ajustes pertinentes. Esto conlleva a realizar modificaciones en el transcurso de la acción, es por ello que las fases del proyecto pueden darse en secuencia, seguirse en diferente orden o abordarse de forma simultánea (Tobón, 2005).

Por lo tanto, con base en las unidades antes descritas, se establecieron tres etapas para la implementación de la secuencia didáctica. En la primera etapa los alumnos tienen que conocer el marco teórico del problema biológico de su interés y se consideró introducir en esta etapa, todos los elementos y subelementos del MCEA sobre germinación propuestos, y algunas relaciones y condiciones (ver Cuadro 5). En la segunda y tercera etapa, se introducen el resto de las relaciones y condiciones del modelo, para que con base en ello los alumnos puedan elaborar el informe de investigación; en donde ponen en juego todos los componentes que se hayan logrado alcanzar para explicar los resultados obtenidos de la fase experimental (ver Cuadro 5).

En el Cuadro 5 se presenta una síntesis de la secuencia didáctica sobre germinación que se diseñó, el cuadro presenta las etapas antes mencionadas, el propósito que se pretende alcanzar en dichas etapas a través de la secuencia didáctica, las actividades generales para alcanzar los componentes del MCEA y las evidencias que esperan por etapa

En el Cuadro 6, se desglosa la secuencia didáctica por semana, los objetivos para cada una de ellas, los aspectos tanto del MCEA como del módulo que se trabajarían, se explicitan las actividades realizadas y las evidencias

a obtener; además de contener una serie de observaciones que se presentaron durante el desarrollo de la secuencia didáctica.

Cuadro 5

Etapas de la Secuencia Didáctica diseñada para la enseñanza de la germinación con estudiantes universitarios de segundo semestre de la carrera de Biología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM.

Etapa	Propósitos	Actividades del MCEA a trabajar	Evidencias
1	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer las concepciones espontáneas de los estudiantes sobre germinación. - Explicitar el modelo de germinación de los estudiantes. - Poner a prueba el modelo de los estudiantes en la actividad práctica de la germinación de semillas del frijol. - Diferenciar la fase de germinación del ciclo de vida de las plantas. - Elaborar un informe de la actividad práctica de la germinación de frijoles 	<p>Precisar la expresión de los elementos, relaciones y condiciones del modelo inicial inferido de los estudiantes</p> <p>Elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agua - Temperatura - Oxígeno - Luz <p>Subelementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Testa - Embrión - Cotiledones y/o endospermo (materiales de reserva) <p>Relaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semilla: embrión-agua La semilla absorbe agua y se hincha - Semilla: testa-agua La testa de la semilla se 	<p>Modelo inicial de los estudiantes sobre germinación</p> <p>Informe de la actividad práctica de la germinación de frijoles</p>

		<p>rompe por acción del agua</p> <p>Condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fotoblastismo - Maduración - Viabilidad - Quiescencia - Sin dormición 	
2	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar el protocolo de investigación. - Poner a prueba experimentalmente el protocolo de investigación planteado sobre germinación. 	<p>Relaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semilla: embrión-agua-luz-temperatura El embrión activa su respiración en condiciones adecuadas de agua, luz y temperatura - Semilla: testa, embrión, célula-oxígeno El oxígeno incrementa en las células del embrión - Semilla: embrión-oxígeno –ATP El embrión de la semilla produce ATP durante la respiración - Semilla: embrión-células Las células del embrión se elongan y crece - Semilla: embrión-radícula-endospermo-testa 	<p>Protocolo de investigación sobre germinación</p> <p>Presentación del protocolo de investigación</p>

		<p>La radícula del embrión emerge a través de la testa.</p> <p>Condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permeabilidad - Imbibición - Reactivación del metabolismo 	
3	<ul style="list-style-type: none"> - Analizar y procesar los resultados. - Discutir los resultados - Elaborar el reporte final del proyecto de investigación. - Conocer el modelo alcanzado final sobre germinación de las estudiantes. 	<p>Se espera que las estudiantes puedan poner en juego todos los elementos, subelementos, relaciones y condiciones de su modelo construido hasta este momento para elaborar el reporte del informe</p>	<p>Elaboración de tablas y graficas que representen los resultados.</p> <p>Reporte final escrito del proyecto de investigación</p> <p>Presentación del proyecto de investigación.</p> <p>Modelo alcanzado final de los estudiantes sobre germinación</p>

Cuadro 6.

Secuencia Didáctica sobre germinación diseñada para estudiantes de segundo semestre de la carrera de Biología de la FES-I de la UNAM, con base en los criterios de diseño resultantes de la construcción del MCEA.

Semana	Objetivos	Criterios del MCEA	Criterios del MMCII	Actividades	Evidencias	Observaciones
1 (13-20 de febrero)	Explicitar el modelo inicial de las estudiantes (MIE) sobre germinación de los alumnos		Planteamiento de un problema	<ul style="list-style-type: none"> - Presentación ante el grupo y explicación del plan de trabajo a los estudiantes. - Aplicación del instrumento 1 (Anexo, instrumento 1) para conocer las concepciones espontáneas de los estudiantes sobre germinación. - Intercambio de ideas y debate en torno a la pregunta a) del instrumento 1: ¿Qué consideras que es 	<ul style="list-style-type: none"> - Concepciones espontáneas de los estudiantes sobre germinación - Modelo inicial de cada estudiante sobre germinación en términos de elementos, subelementos, relaciones y condiciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los alumnos seleccionaron el tema de germinación para trabajar en su proyecto semestral, específicamente con menta - Cuando comenzó la aplicación de la secuencia didáctica con los alumnos, ellos ya habían empezado a leer sobre germinación

	<p>Poner a prueba el modelo de los alumnos en la actividad práctica de la germinación de semillas de frijol</p> <p>Conocer las concepciones de los alumnos sobre lo que es un ciclo</p> <p>Diferenciar la</p>			<p>la germinación?, para explicitar el (los) modelo (s) de los estudiantes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Actividad práctica sobre la germinación de semillas de frijol para explicitar el modelo de los estudiantes - Los alumnos plantean sus hipótesis sobre la germinación de las semillas de frijol. - Aplicación del instrumento 2 (Anexo, instrumento 2) para conocer las concepciones de ciclo de los estudiantes. - Intercambio de ideas sobre las respuestas al instrumento 2, para identificar y establecer las características de un ciclo 	<ul style="list-style-type: none"> - Concepciones de los alumnos en torno a lo que es un ciclo 	<ul style="list-style-type: none"> - Las semillas de frijol que se trabajaron fueron observadas diariamente <p>Cada alumno tuvo a su cargo semillas de frijol y estableció una predicción sobre lo que le ocurriría a su semilla</p>
--	---	--	--	--	---	---

	germinación como una fase del ciclo de vida de las angiospermas por parte los estudiantes		Marco teórico sobre germinación	- Búsqueda de información sobre los ciclos de vida de las fanerógamas por parte de los estudiantes		
2 (20-27 de febrero)	Diferenciar la germinación como una fase del ciclo de vida de las fanerógamas por parte los estudiantes Poner a prueba el modelo de las estudiantes en la actividad práctica de la germinación de semillas de frijol Introducción de	Elementos: - Agua	Marco teórico sobre germinación Búsqueda de información en fuentes de información no	- Aplicación del instrumento 3 (Anexo, instrumento 3) en torno los ciclos de vida de las fanerógamas -Intercambio de ideas del inciso a - Contrastación de las hipótesis hechas sobre los resultados la actividad práctica con las semillas del frijol por parte de los estudiantes - Establecimiento de temas para explicar los resultados obtenidos por parte de los	Concepciones de los estudiantes sobre la relación entre ciclo de vida de las fanerógamas y la germinación	- Las semillas de frijol que se trabajaron fueron observadas diariamente Se buscó que parte de la propuesta de solución se encamine a la búsqueda de nueva información sobre germinación En esta semana se profundizó en el tema de fotoblastismo debido a que la primera semilla de frijol que germinó estaba en la obscuridad

	<p>algunos elementos, subelementos, relaciones y condiciones del MCEA</p> <p>Reconocer el valor de la búsqueda de información por parte de los estudiantes</p> <p>Identificar aspectos útiles de la información revisada para explicar los resultados de la actividad práctica de la semana anterior</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura - Oxígeno - Luz <p>Subelementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Testa - Embrión - Cotiledones y/o endospermo (materiales de reserva) - Hilio <p>Relaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semilla: embrión-agua <p>La semilla absorbe agua y se hincha</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semilla: testa-agua <p>La testa de la</p>	<p>periódicas</p>	<p>estudiantes: tipos de semillas, factores para la germinación y estrés</p> <ul style="list-style-type: none"> - Búsqueda de información de los temas seleccionados por los estudiantes para explicar los resultados en la biblioteca de la facultad - Exposición y debate de los temas establecidos (tipos de semillas, condiciones para la germinación y estrés) por parte de los alumnos <p>Análisis de los resultados de la actividad práctica con la información de las exposiciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reelaboración de las hipótesis hechas con base en la información revisada 	<p>Presentación de cada alumno</p>	<p>Se abordó someramente el tema de potencial hídrico, por la dinámica que se siguió en las exposiciones, pero este tema no estaba contemplado</p> <p>Los alumnos seleccionaron un tema para profundizar y explicar los resultados de su experimento: factores para la germinación (madurez, viabilidad, luz, agua, temperatura, aireación y dormición) con base en sus resultados</p> <p>Cada alumno tuvo a su cargo semillas de frijol y estableció una</p>
--	--	--	-------------------	---	------------------------------------	---

		semilla se rompe por acción del agua		Investigar sobre la imbibición		predicción sobre lo que le ocurriría a su semilla A la par de las diferentes actividades, los alumnos buscaban información sobre su tema inicial de trabajo: aspectos generales sobre la menta y si presentaba problemas ¹⁰ de germinación
3 (27 de febrero-6 de marzo)	Poner a prueba el modelo de los alumnos para explicar la actividad práctica de la primera semana Elaborar un informe de la	Condiciones: - Fotoblastismo	Marco teórico sobre germinación Introducción de algunos elementos del diseño experimental	Exposición y debate del tema de factores que afectan la germinación. Análisis en grupo de cada una de las hipótesis que se plantearon Revisión de los criterios para escribir un informe de laboratorio (ver Cuadro A1)	Presentación de cada alumna	A la par de las diferentes actividades, los alumnos buscaban información sobre su tema inicial de trabajo: aspectos generales sobre la menta y si presentaba problemas de germinación Se revisó la propuesta

¹⁰ En este trabajo, la palabra problema, dentro del contexto de los aspectos de germinación, hace alusión a aquellas dificultades que presentan las semillas para poder germinar; un ejemplo es la dormición.

	<p>actividad práctica de la germinación de frijoles</p> <p>Que los alumnos reconozcan el procedimiento seguido</p>		<p>(variable independiente, variable dependiente y variables controladas)</p>	<p>Aplicación del instrumento 4 (Anexo, instrumento 4)</p> <p>Intercambio de ideas y debate de la idea uno del instrumento anterior: la germinación es cuando la semilla se encuentra en el desarrollo para que ésta pueda madurar y se llegue a convertir en una planta adulta, pero para que se dé la germinación, la semilla debe de tener la temperatura, humedad, pH, sustrato y aireación adecuados.</p> <p>Elaboración de los diferentes apartados del informe del experimento con semillas de frijol</p>	<p>Concepciones de los estudiantes sobre el fenómeno de germinación a tres semanas de trabajo.</p>	<p>de los puntos del reporte con las estudiantes y estuvieron de acuerdo con ellos</p>
<p>4 (6-13 de</p>	<p>Conocer y comprender</p>		<p>Marco teórico específico</p>	<p>Buscar información sobre germinación y de su</p>		<p>El tema de hipótesis fue complejo y difícil para</p>

<p>marzo)</p>	<p>cómo está estructurado un protocolo de investigación</p> <p>Que los alumnos comprendan la importancia de la hipótesis en un proyecto de investigación</p>		<p>Componentes del protocolo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Introducción (problemática, antecedentes, justificación, marco teórico) - Hipótesis - Objetivos (general y particular) - Procedimiento (diseño experimental, análisis estadísticos, diagrama de 	<p>proyecto de investigación en diferentes fuentes de información</p> <p>Intercambio de ideas y debate de la información encontrada sobre la menta</p> <p>Revisión de protocolos de alumnos de semestres anteriores para la identificación de los componentes del protocolo, así como sus características</p> <p>Intercambio de ideas y debate de la actividad anterior para definir los componentes del protocolo de investigación que van a realizar, así como el análisis de cada componente</p> <p>Revisión de las hipótesis planteadas en la actividad</p>	<p>Apuntes y aportaciones de cada alumna</p> <p>Hipótesis redactadas por los</p>	<p>los estudiantes; se tuvieron muchos problemas para que se pudiera relacionar la parte argumentativa con la explicativa en la elaboración de la hipótesis</p>
----------------------	--	--	---	---	--	---

			<p>flujo)</p> <p>- Literatura citada</p>	<p>pasada y ejemplos de hipótesis de tesis sobre temas de germinación bajo el modelo Si...entonces....</p> <p>Reelaboración de las hipótesis de la actividad práctica del frijol con base en el ejercicio anterior</p>	estudiantes	
<p>5</p> <p>(13-20</p> <p>de</p> <p>marzo)</p>	<p>Conocer y comprender cómo está estructurado un protocolo de investigación</p> <p>Explicitación de las concepciones de las estudiantes sobre el diseño experimental y sus componentes</p>		<p>Componentes del protocolo:</p> <p>- Objetivos (general y particular)</p> <p>- Diseño experimental</p>	<p>Búsqueda específica de información acerca del problema a abordar</p> <p>Abordar el tema de objetivos</p> <p>Intercambio de ideas y debate sobre el tema de diseño experimental en una investigación científica para conocer las concepciones de los estudiantes al respecto</p> <p>Búsqueda de información acerca del diseño</p>		

				<p>experimental: definición, importancia y componentes por parte de los estudiantes</p> <p>Intercambio de ideas y debate sobre la información recabada acerca del diseño experimental</p> <p>Elaboración de una definición de diseño experimental y establecimiento de sus componentes en grupo</p> <p>Identificación y exposición en grupo de los elementos del diseño experimental en artículos científicos sobre germinación.</p>	Notas y participación de las estudiantes	
6 (20-27 de	Elaboración del protocolo de investigación		<p>Tema del protocolo</p> <p>Planteamiento del problema</p>	Identificación y exposición en grupo de los elementos del diseño experimental en artículos científicos sobre germinación		Se decidió cambiar las semillas de menta por las de chupandilla, ya que durante la búsqueda de

marzo)			Introducción del protocolo	<p>Búsqueda de información acerca de la chupandilla e intercambio de información e ideas en el grupo</p> <p>Elaboración de la introducción y planteamiento del problema de su protocolo de investigación</p>	Notas y participación de las estudiantes	<p>información se encontró que presenta problemas de germinación; aunado a ello, las semillas no son de fácil acceso.</p> <p>La chupandilla es una especie endémica de México, presenta problemas de germinación (dormición) y existe poca información acerca de su germinación</p>
7 (27 de marzo-3 de abril)	<p>Elaboración del protocolo de investigación</p> <p>Iniciar la fase experimental del proyecto de investigación</p>		<p>Protocolo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Introducción - Hipótesis - Justificación - Objetivos -Procedimiento 	<p>Elaboración de la introducción y planteamiento del problema de su protocolo de investigación</p> <p>Elaboración de objetivos, hipótesis y procedimiento del protocolo de investigación</p>		Problemas con hipótesis y objetivos

	Estandarización de técnicas			<p>Elaboración de un cronograma de actividades para la primera semana de la fase experimental de su trabajo</p> <p>Realizar la técnica de escarificación con cautín en semillas de durazno, por ser de testa dura.</p>		
8 (3-11 de abril)	<p>Fase experimental:</p> <p>Poner a prueba el modelo de los estudiantes sobre la germinación a través de puesta en práctica del protocolo de investigación</p>			Exposición y debate por parte las estudiantes de un artículo que forme parte de los antecedentes de su proyecto de investigación	Presentación y aportaciones de las alumnas	Todas las alumnas tenían que leer el artículo que se iba a exponer.

<p>9 (14-18 de abril)</p>				<p>VACACIONES</p>		<p>Se dejó leer un artículo previamente seleccionado como un antecedente útil para el proyecto.</p>
<p>10 (21-25 de abril)</p>	<p>Fase experimental: Poner a prueba el modelo de los estudiantes sobre germinación a través de puesta en práctica del protocolo de investigación</p>	<p>- Semilla: embrión-agua-luz-temperatura El embrión activa su respiración en condiciones adecuadas de agua, luz y temperatura - Semilla: testa, embrión, célula-oxígeno El oxígeno incrementa en las células del embrión</p>		<p>Exposiciones y debate por parte las estudiantes de una artículo que forme parte de los antecedentes de su proyecto de investigación Aplicación de tratamiento¹¹ a las semillas Elaboración de cronograma para esta semana de la fase experimental Estandarización de técnicas: extracción de lípidos de almendras Esterilización de material</p>		<p>Las alumnas cuantificaron lípidos totales para conocer la degradación de los mismos. Esta actividad se consideró pertinente realizar debido a es una concepción de las estudiantes que surgió como resultado de la lectura; sin embargo está alejado del modelo actual sobre germinación.</p>

¹¹ En este trabajo, tratamiento hace referencia a la aplicación de algún tipo de procedimiento o sustancia, a las semillas que presenten dificultades para su germinación.

				<p>Describir e interpretar los resultados de la estandarización</p> <p>Explicación del uso de la media y la desviación estándar por parte de la profesora</p>		
<p>11 (28 de abril al 2 de mayo)</p>	<p>Fase experimental:</p> <p>Poner a prueba el modelo de los estudiantes sobre germinación a través de puesta en práctica del protocolo de investigación</p> <p>Análisis de resultados</p>	<p>Relaciones:</p> <p>- Semilla: embrión-oxígeno –ATP</p> <p>El embrión de la semilla <i>produce</i> ATP durante la respiración</p> <p>- Semilla: embrión-células</p> <p>Las células del embrión se <i>elongan</i> y crece</p>		<p>Aplicación de tratamientos (lija y ruptura de testa)</p> <p>Realización y de las gráficas de imbibición con base en los resultados obtenidos</p> <p>Descripción e interpretación de la gráfica de imbibición</p> <p>Exposición y debate por parte las estudiantes de una artículo que forme parte de los antecedentes de su proyecto de investigación</p>	<p>Realizan observaciones de sus tratamientos</p>	<p>La idea de realizar una gráfica de imbibición surgió como resultado de la lectura y análisis de sus artículos</p>

		<p>- Semilla: embrión- radícula- endospermo- testa La radícula del embrión emerge a través de la testa.</p> <p>Condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permeabilidad - Imbibición - Reactivación del metabolismo 				
<p>12 (5-9 de mayo)</p>	<p>Análisis y discusión de resultados</p>	<p>Se espera que las estudiantes puedan poner en juego todos los elementos, subelementos, relaciones y</p>		<p>Exposiciones antecedentes</p> <p>Cuantificación de lípidos</p> <p>Pesaron semillas</p> <p>Cambiaron las semillas del</p>		

		condiciones de su modelo construido hasta este momento para elaborar el reporte del informe		agar Puntos a evaluar en reporte del informe del proyecto		
13 (12-16 de mayo)	Análisis y discusión de resultados con base en el conocimiento de las alumnas sobre germinación	Se espera que las estudiantes puedan poner en juego todos los elementos, subelementos, relaciones y condiciones de su modelo construido hasta este momento para elaborar el reporte del informe		Exposiciones de aparatos Corrección del protocolo Consideración del análisis estadístico a realizar		
14 (19-23)	Elaboración del reporte final.			Escritura del informe final del proyecto de		

de mayo)				investigación		
15 (26 y 27 de mayo)	Conocer las concepciones de las alumnas sobre germinación al final de la secuencia didáctica			Aplicación del instrumento 5 (Anexo, instrumento 5) Exposición del trabajo final con todo el grupo Entrega del informe escrito	Modelo alcanzado final sobre germinación de las estudiantes	

4.3 Aplicación y validación de la secuencia didáctica

Antes de la implementación de la secuencia didáctica, se dio una plática en dos grupos al inicio del semestre, sobre la importancia de abordar el tema de germinación de semillas para el desarrollo del proyecto de investigación, ello con la intención que los estudiantes tuvieran el interés y motivación personal por trabajar con dicho tema.

De los dos grupos a los que se les dio la plática, sólo un equipo de cinco integrantes se interesó en trabajar con el tema de germinación, por lo que la secuencia didáctica se aplicó a cinco estudiantes universitarias del MMCII, de segundo semestre de la carrera de Biología de la FES-I de la UNAM, a lo largo de un semestre. Las actividades se llevaron a cabo de acuerdo con las horas establecidas para el módulo, las cuales son 15 horas por semana, repartidas en tres días de cuatro horas y uno de tres.

La secuencia didáctica que se llevó a cabo con cinco estudiantes, se implementó en un espacio físico independiente al asignado a su grupo regular, pero sólo durante la primera y tercera etapa de la secuencia. En el caso de la segunda etapa, la cual corresponde a la fase experimental del proyecto de investigación, las clases se efectuaron con el resto grupo, debido a la infraestructura, disposición de material y reactivos para llevar a cabo dicha etapa.

Los resultados obtenidos y la implementación de la secuencia didáctica, fueron evaluados a través de la comparación entre el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) de las estudiantes y el MCEA sobre el fenómeno de germinación, esto se realizó a través de la asignación de categorías de análisis, las cuales fueron las establecidas para los modelos: elementos, subelementos, relaciones y condiciones y, a través de la transcripción de citas originales de las respuestas de las alumnas dadas a los diferentes instrumentos.

Capítulo 5. Análisis y discusión de resultados

Como lo indica el título del capítulo, a continuación se exponen el análisis y la discusión de los resultados obtenidos después de la implementación de la secuencia didáctica. Para ello, se parte de la descripción del procedimiento seguido en el ejercicio analítico, previamente a la obtención del modelo inicial generalizado. Después, se realiza el análisis de dicho modelo generalizado. Posteriormente se realiza el análisis de los modelos logrados por las estudiantes (1 y 2) después de aplicada la secuencia didáctica y se finaliza el capítulo con el análisis de la secuencia didáctica en relación con los resultados obtenidos.

5.1 Análisis previo a la inferencia del MIE

Para poder inferir el MIE, se realizó la lectura exhaustiva de las respuestas que las estudiantes dieron al cuestionario de concepciones alternativas sobre germinación (Anexo, instrumento 1). Tras la lectura, el cuestionario se organizó en un cuadro (Cuadro 7), donde la primera columna corresponde a las preguntas del cuestionario y la segunda a las respuestas que dieron las estudiantes. Después, en la tercera columna, se ubicó la interpretación hecha para cada una de las respuestas, de tal forma que la respuesta dada se pudiera expresar en forma declarativa y poder así transitar hacia la cuarta columna del cuadro. A partir de la interpretación de cada una de las respuestas, las interpretaciones se organizaron para plantear la idea general sobre el fenómeno de germinación que las alumnas tuvieron, esta interpretación general conformó la cuarta y última columna del cuadro (Cuadro 7). La información se organizó de dicha manera para que el lector pudiera visualizar, al mismo tiempo, toda la información -original e interpretada- y ver que la interpretación general se basa en las ideas originales de las estudiantes. Posteriormente, con base en la interpretación general (cuarta columna), se infirió el MIE en términos de *elementos*, *subelementos* (de tenerlos), *relaciones y condiciones*, los cuales a su vez son las categorías de análisis de los

propios modelos, como se mencionó en el apartado anterior. Este procedimiento se realizó con cada una de las estudiantes.

A continuación, se presenta el cuadro realizado para la estudiante A (Cuadro 7) y el modelo derivado de la interpretación general (cuadro 8), para ilustrar el procedimiento seguido en el párrafo anterior. Los cuadros con las interpretaciones y MIE de las demás estudiantes, se presentan en el anexo (ver cuadros A2-9).

Cuadro 7

Preguntas y respuestas del estudiante A del instrumento aplicado para conocer sus concepciones espontáneas de los estudiantes sobre el fenómeno de germinación al inicio la secuencia didáctica aplicada; así como su interpretación por respuesta y una general.

Pregunta	Respuesta¹²	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
¿Qué consideras que es la germinación?	<i>Proceso mediante el cual se va a fecundar o evolucionar una semilla dando lugar así a que esta realice su proceso de crecimiento.</i>	En la geminación, una semilla se fecunda o evoluciona para dar lugar a su proceso de crecimiento.	En la geminación, una semilla se fecunda o evoluciona para crecer; se hincha/abre y se cae por completo la semilla.
¿Cuáles crees que son los principales factores que afectan la germinación?	<i>Temperatura, humedad, aireación, pH del sustrato.</i>	Los principales factores que afectan la germinación son temperatura, humedad, aireación y pH de suelo.	Los principales factores que afectan la germinación son temperatura, humedad, aireación y pH de suelo.
Con base en los siguientes dibujos de tus compañeros, contesta las preguntas que se te plantean.			Las semillas monocotiledóneas son ovaladas y con una abertura por donde crecen las

¹² Las respuestas proporcionadas por las estudiantes se transcribieron tal cual se encontraban escritas, sin ninguna modificación.

<p>¿Estás de acuerdo con la representación I) de tu compañero a cerca de la germinación SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>No porque en el esquema representa una ruptura como si se cuarteara la semilla y por lo que he leído a las semillas no les ocurre este proceso.</i></p>		primeras hojas cuando germinan.
<p>¿Estás de acuerdo con la representación II) de tu compañero a cerca de la germinación SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>Si porque se parece al proceso de una semilla monocolidonea.</i></p>		
<p>¿Estás de acuerdo con la representación III) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>No porque esta representada como una ruptura de un huevo por así decirlo.</i></p>		
<p>¿Podrías mejorar la representación? SI () NO () ¿Cómo?</p>	<p><i>Sí. Podría ser como la representación II pero hasta el punto en el que se cae por completo la semilla.</i></p>	<p>En la germinación se cae por completo la semilla.</p>	
<p>¿Es posible inferir algunas características de las semillas a partir de los dibujos?</p>	<p><i>Sí. Como se muestra en la representación II se puede observar una de las características de las semillas monocotiledoneas que parten de una</i></p>	<p>Las semillas monocotiledóneas son ovaladas y con una abertura por donde crecen las primeras hojas.</p>	

<p>SI () ¿Cuáles? NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>semilla ovalada con una abertura (no recuerdo el nombre) pero que acompaña el crecimiento de las primeras hojas.</i></p>	
<p>Para poder dar respuesta el inciso c, ¿Qué proceso seguiste?</p>	<p><i>El proceso II ya que a pesar de que en algunos casos indica que la germinación de la semilla comienza inchándose o abriéndose un poco no lo hara ni como una cuarteadura ni de una sola vez como un huevo.</i></p>	<p>La germinación de una semilla comienza cuando ésta se hincha o abre.</p>

Cuadro 8

Elementos, relaciones y condiciones del Modelo inicial de la estudiante A sobre germinación, inferido de las respuestas al cuestionario destinado para ello (el cuestionario se puede consultar en el Anexo, instrumento 1)

Elementos	Relaciones	Condiciones	Interpretación general
<ul style="list-style-type: none"> - Semilla (abertura, ovalada, monocotiledonea) - Temperatura - Humedad - Aireación - pH del suelo - Primeras hojas 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-x La semilla se hincha/abre - Semilla-x La semilla se cae 	<ul style="list-style-type: none"> - Fecundación o Evolución - Crecimiento 	<p>En la geminación, una semilla se fecunda o evoluciona para crecer; se hincha o abre y se cae por completo la semilla. Los principales factores que afectan la germinación son temperatura, humedad, aireación y pH de suelo.</p> <p>Las semillas monocotiledóneas son ovaladas y con una abertura por donde crecen las primeras hojas cuando germinan.</p>

Posterior a la inferencia de los modelos iniciales de las estudiantes, se realizó el análisis de cada uno de ellos, el cual consistió en la comparación de los modelos de las alumnas entre sí mismos, ya organizados bajo las mismas categorías (elementos, subelementos, relaciones y condiciones mostrados en el Cuadro 9). Con base en la comparación de los modelos iniciales, la frecuencia de sus componentes y, de tomar como criterio fundamental la idea que tienen las estudiantes de lo que es la germinación -la emergencia de la radícula es el evento final que marca la diferencia entre la etapa de germinación y el crecimiento y desarrollo de una planta-, se consideró que existe un *modelo inicial generalizado* (ver séptima columna del Cuadro 9) entre las cinco estudiantes, debido a que consideran en sus modelos, elementos, relaciones y condiciones que sustentan la concepción espontánea que la germinación es un proceso mediante el cual una semilla crece o madura para dar una plántula.

Cuadro 9

Elementos, subelementos, relaciones y condiciones de los Modelos de iniciales de cada estudiante; así como el Modelo inicial que surge de ellos.

Componentes del modelo	Modelos de partida de cada estudiante					Modelo inicial generalizado
	A	B	C	D	E	
Elementos	- Semilla (abertura, ovalada, monocotiledónea)	- Semilla (dura)	- Semilla (Cotiledónea y monocotiledónea)	- Semilla (cerrada)	- Semilla	- Semilla
	- Humedad	- Agua	- Humedad	- Humedad	- Agua	- Agua/humedad
	- Temperatura	- Sustrato	- Temperatura	- Temperatura	- Temperatura	- Temperatura
	- Aireación	- Oxígeno/oxigenación	- Aireación/ oxígeno	- Aireación	- Aireación/ oxígeno	- Aireación/ oxígeno
	- pH del suelo	- Nutrientes	- pH del suelo	- Ambiente correcto	- pH	- pH
	- Primeras hojas	- Sol/Luz	- Raíz primaria/Raíces	- Plántula	- Sustrato	- Sustrato
		- Plántula	- Hojas	- Planta adulta	- Luz	- Plántula
			- Plántula/Plántula con primeras hojas		- Nutrientes	

					- Nuevo vegetal/ plántula pequeña	
Subelementos		- Capa protectora (delgada)	- Corteza seminal		- Caparazón, cáscara o cascarón	- Capa protectora, corteza seminal o cáscara
		- Material genético	- Embrión		- Embrión	
Relaciones	- Semilla-x La semilla se hincha/abre - Semilla-x La semilla se cae	- Semilla-nutrientes La semilla absorbe y sintetiza nutrientes - Semilla-capa- protectora-plántula La capa protectora de la semilla se rompe/abre y crece la plántula	- Semilla-plántula- temperatura-pH del suelo-oxígeno- humedad La semilla da lugar a una plántula - Semilla-raíz primaria, hojas De la semilla salen la raíz primaria y las hojas - Corteza seminal-x La corteza seminal se rompe	- Semilla-plántula La semilla se abre y brota la plántula - Plántula-planta adulta La plántula se convierte en planta adulta	- Semilla-embrión- nuevo vegetal/plántula pequeña La semilla origina un nuevo vegetal mediante el embrión - Semilla: caparazón/cáscara/ cascarón-plántula El caparazón/ cáscara/cascarón de la semilla se rompe y la plántula crece	- Semilla- capa/ corteza/cáscara La semilla con su capa protectora se rompe/abre durante la germinación - Semilla-plántula De la semilla brota/origina/ da lugar a la plántula

			<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-raíces <p>La semilla se desprende de las raíces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semilla-embrión <p>El embrión perfora la semilla</p>			
Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento - Fecundar o Evolucionar 	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento - Permeabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - No gruesa - Dormancia o latencia - Maduración - Transformación - Crecimiento - Alcalinidad - Acidez 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo - Maduración - Transformación 	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento - Maduración 	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento - Maduración

Después de lo anterior, lo siguiente es el análisis del modelo inicial generalizado de las estudiantes en términos de las categorías establecidas (elementos, subelementos, relaciones y condiciones).

5.2 Modelo generalizado inicial de las estudiantes (MGIE) sobre germinación

El MGIE (Cuadro 9) considera los *elementos*: semilla, agua/humedad, temperatura, aireación/oxígeno, pH, sustrato y plántula; el subelemento: capa protectora/corteza seminal/cáscara; las *relaciones*: la semilla con su capa protectora se rompe/abre durante la germinación (entre los *elementos* semilla-capla/corteza/cáscara) y, de la semilla brota/origina/da lugar a la plántula (entre los *elementos* semilla-plántula); y por último, las *condiciones* que considera el modelo son: crecimiento y maduración.

De acuerdo el MGIE de las estudiantes, los principales *elementos* que afectan la germinación son agua/humedad, temperatura, aireación/oxígeno, pH y sustrato; estos datos coinciden con los reportados por Jewell (2002), quien indica que agua, suelo, oxígeno, calor; entre otros, son factores que necesita una semilla para crecer de acuerdo a lo expresado por estudiantes de 4 a 11 años de edad, en escuelas rurales, suburbanas y urbanas. La autora señala que el factor más generalizado fue el agua, lo cual no le resulta extraño, ya que considera que el hecho o la actividad de regar las plantas, probablemente sea la principal participación de los estudiantes cuando cultivan plantas, ya sea en la escuela o en la casa. El segundo factor más popular en la mayoría de los estudiantes de acuerdo con la autora, fue el sol. En relación con ello, este *elemento* no forma parte del MGIE; sin embargo, se encuentra presente en dos de los modelos iniciales de las estudiantes, en las estudiantes B y E (Cuadro 9). La consideración por parte de los estudiantes de la asociación entre el sol y el crecimiento de las plantas puede deberse a la diferencia clara entre árboles deciduos (árboles que pierden sus hojas en una época del año) en el invierno y en el verano, o tal vez

porque los adultos a menudo ponen las plantas al sol en la ventana (Jewell, 2002). Aunado a lo anterior, esta autora menciona que el hecho de que algunos alumnos mencionen la luz o la luz solar en contraste con el sol, puede ser considerado como una diferenciación más avanzada de las propiedades del sol de los alumnos de mayor edad. Es posible, que para el caso de las dos alumnas antes mencionadas, donde una menciona el *elemento* sol/luz (modelo de la alumna B) y otra menciona la luz (modelo de la alumna E), se pueda considerar que, de igual forma, existe una diferenciación más avanzada de las propiedades del sol, y por ello también las alumnas consideran el *elemento* luz.

Ante la interpretación anterior, es posible considerar que la misma situación de una diferenciación más avanzada ocurra con el *elemento* agua/humedad y temperatura del MGIE de las estudiantes universitarias, ya que en contraste con estudiantes de edades entre los 4 y 11 años de edad, ellos mencionan agua y calor (Jewell, 2002).

Por otro lado, los *elementos* agua y luz solar, también han sido referidos en otro trabajo, como factores involucrados en la germinación de semillas, donde los estudiantes consideran que estos *elementos* son necesarios para que la semilla realice fotosíntesis y produzca energía o nutrientes durante la germinación; esto, en estudiantes de secundaria (Lin, 2004).

En relación con el *elemento* suelo del MGIE de las estudiantes, también ha sido reportado en otros trabajos, de los que se menciona que cerca de la mitad de los estudiantes de 10 y 11 años, consideraron el suelo como un *elemento* para la germinación de las semillas; lo cual fue atribuido a la experiencia que generalmente tienen los estudiantes de sembrar las semillas en algún tipo de suelo (Jewell, 2002). Sin embargo, Lin (2004) ha reportado que, el hecho de que estudiantes de secundaria consideren el suelo como un factor necesario para la germinación, se debe a su concepción de que la materia orgánica del suelo es usada como nutriente por la semilla para la germinación. A diferencia de dichas autoras, en este trabajo las estudiantes consideran que el suelo es necesario,

porque el pH del mismo es el que puede afectar la germinación de la semilla, pero no se menciona cómo la afecta.

En cuanto al *subelemento* capa protectora, corteza seminal o cáscara del MGIE de las estudiantes sobre germinación, se considera que las estudiantes pueden reconocer una de las estructuras de la semilla: la testa, aunque no con este nombre técnico. La testa es una estructura que se observa a simple vista en algunas semillas comestibles comunes, pero como las alumnas desconocen el nombre técnico de la estructura, la denominan “cáscara”; como se le denomina comúnmente a la testa en semillas de frijol, garbanzo, habas, semillas de calabaza (“pepitas”) o lentejas, por mencionar algunas de ellas. La denominación de cáscara, refiriéndose a la testa de la semilla, también ha sido referida por estudiantes para profesores (9/53) de educación básica (Vidal y Membiela, 2013), aún después de haber realizado una actividad práctica sobre germinación. Además el estudio menciona que dichos estudiantes consideran que la cáscara tiene la función de proteger a semilla. Es probable que esta misma idea sea compartida por la alumna que denomina capa protectora a la testa (alumna B). La denominación de corteza seminal, que también se utiliza para referirse a la testa, es de uso común en la literatura científica sobre germinación y, el hecho de que una de las alumnas la mencione, puede deberse a que antes de que empezara la aplicación de la secuencia didáctica con estas estudiantes, ya habían leído información sobre la germinación, y fue un *elemento* que la alumna pudo integrar a su modelo de germinación.

El MGIE sobre germinación de las alumnas contempla las *relaciones*: la semilla con su capa protectora se rompe/abre durante la germinación (entre los elementos semilla-capa/corteza/cáscara) y, de la semilla brota/origina/da lugar a la plántula (entre los elementos semilla-plántula). Es probable que la consideración de estas dos *relaciones* en el modelo de las estudiantes, se deba a que las acciones de romper/abrir y la de brotar/originar/da lugar, son hechos visibles y, por lo tanto, perceptibles para los alumnos en su experiencia con los ensayos que realizan sobre germinación en la educación básica. Aunado a ello, el evento que

marca el fin de la germinación (protrusión de la radícula) generalmente es rápido y da paso inmediatamente al crecimiento y desarrollo de la plántula; por lo que muchas veces en los ensayos sobre germinación, se dejan las semillas germinando y las plántulas crecen y se desarrollan, y es lo que observan los alumnos como fenómeno germinativo. Por tanto, no es extraño que los estudiantes expresen la ruptura de la capa protectora y el brote de la plántula como *relaciones* en su modelo sobre germinación. El aspecto de la duración del ciclo de vida de las plantas y con ello las etapas que lo conforman, entre ellas la germinación, se considera un problema para la comprensión de los procesos de desarrollo y crecimiento en las plantas (Cherubini et al., 2008; Jewell, 2002).

Las *relaciones* de la ruptura de la cáscara y que una plántula brota de la semilla, presentes en el MGIE, puede deberse a que las alumnas consideran, de acuerdo a las interpretaciones hechas, que la germinación es un proceso que culmina con estos dos eventos (ver cuadros AC2-9 con las interpretaciones de cada estudiante en el anexo). En relación con ello, estas dos *relaciones* establecidas por las estudiantes son compartidas con estudiantes -futuros profesores de educación básica-, quienes ante la pregunta: ¿Cuándo termina la germinación de una semilla y cuándo comienza el desarrollo de la planta?, 19/53 estudiantes contestaron que sucede cuando crecen las raíces, hojas o tallo, aún cuando previamente tomaron clases sobre el tema de germinación (Vidal y Membiela, 2013).

Por último, las *condiciones* del MGIE son el crecimiento y la maduración. La *condición* del crecimiento se puede relacionar con el párrafo anterior, pues si los alumnos ven que de una semilla se ha desarrollado una plántula, ellos lo asocian con crecimiento. En cuanto a la maduración, puede estar relacionada con el hecho de creer que una semilla es una planta inmadura y al desarrollarse una plántula de ella, ha madurado la semilla.

Después de conocer el modelo inicial de las estudiantes para explicar el fenómeno de germinación al inicio de la implementación de la secuencia didáctica,

ahora es momento de conocer el modelo que alcanzaron a construir las estudiantes al final de la secuencia sobre el mismo fenómeno.

5.3 Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) sobre germinación

Para analizar MCEL de cada estudiante, se revisaron las respuestas del último instrumento aplicado durante la secuencia didáctica (Anexo, instrumento 5), y posteriormente se siguió el mismo procedimiento mencionado en la sección 5.1. Los cuadros con las interpretaciones y modelos de cada estudiante se presentan en el anexo (ver cuadros A10-13) 5: Cuadros con las interpretaciones hechas de las respuestas de las estudiantes al instrumento 5.

En el Cuadro 10 se presentan las interpretaciones del instrumento 5 sobre la germinación para la elaboración del MCEL sobre germinación de la estudiante B y, con ello, se ejemplifica el proceso seguido para todas las demás estudiantes. El MCEL inferido de la interpretación general, se muestra en el Cuadro 11, columna B.

Posteriormente, se analizaron los modelos científicos escolares logrados de las estudiantes bajo los siguientes criterios:

1. La existencia de factores externos (ambientales) e internos (de la semilla).
2. La inclusión de la imbibición (como la absorción de agua por parte de la semilla).
3. La mención de la reactivación del metabolismo (identificación de una serie de procesos fisiológicos para la emergencia de la radícula).
4. La identificación de la emergencia de la radícula (como el evento que marca el fin de la germinación).

El criterio número uno fue seleccionado por dos razones: una porque inicialmente, en el modelo inicial de las alumnas, se identificó que las estudiantes no reconocían ningún elemento interno (de la semilla) para explicar el fenómeno de germinación, pero sí elementos externos -agua/humedad, temperatura, aireación/oxígeno, pH, sustrato- (Cuadro 9, columna 7) y, dos, porque la presencia de ambos factores es indispensable para explicar coherentemente el fenómeno de germinación de acuerdo con lo que se conoce científicamente (ver capítulo 3, sección 3.3.5.1). Es por ello, que el reconocimiento de ambos factores por parte de las alumnas se considera fundamental.

Los criterios dos y tres (imbibición y reactivación del metabolismo), se seleccionaron con base en la teoría sobre el fenómeno de germinación, en donde la imbibición de la semilla o proceso por el cual la semilla absorbe agua, desencadena los eventos fisiológicos necesarios que reactivan el metabolismo de la semilla para que ésta pueda germinar. La imbibición de la semilla es un proceso indispensable para que se lleve a cabo la germinación (ver capítulo 3, sección 3.3.5.1).

Por último, el cuarto criterio también fue seleccionado por dos razones, en primera, porque la emergencia de la radícula es el evento que marca científicamente el fin de la germinación y segundo, porque al igual que en el primer criterio, el modelo inicial de las alumnas consideró que la germinación finaliza cuando aparece la plántula o cuando la semilla produce flor o fruto (concepciones presentes en el modelo inicial inferido del cuestionario).

Después de revisar los cinco modelos científicos escolares logrados de las estudiantes bajo los criterios anteriores, se consideró que existe mucha semejanza entre los cinco modelos, por lo menos en los primeros tres criterios -factores externos e internos, imbibición y reactivación del metabolismo-. Es decir, las cinco alumnas consideran que existen factores externos (agua, luz, temperatura y oxígeno, entre otros) e internos (maduración, viabilidad, entre otros), que la semilla necesita absorber o embeber agua (imbibición), y que en la semilla se llevan a cabo una serie de eventos fisiológicos (reactivación del metabolismo). Pero en el

cuarto criterio, difieren trascendentalmente los modelos, dado que las alumnas B, C, D y E consideran que la aparición de una plántula o de las primeras hojas fotosintéticas, es el fin de la germinación (Cuadro 11), mientras que la alumna A considera que el fin de la germinación es la emergencia de la radícula (Cuadro 12); por lo tanto, se consideró que cuatro (B, C, D y E) de las cinco estudiantes presentan un mismo modelo, el MCEL1, y la alumna A uno diferente, considerado el MCEL2; para explicar el fenómeno de germinación.

Cuadro 10

Preguntas y respuestas del instrumento aplicado para conocer las ideas de germinación de la estudiante B al final de la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general para el fenómeno.

Pregunta	Respuesta ¹³	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
<p>Realiza un dibujo en el que expreses integres todos los elementos y procesos implicados en el fenómeno de germinación que conoces hasta este momento.</p>		<p>Una semilla requiere agua (imbibición), oxígeno (degradación de cotiledones) y temperatura adecuada (velocidad de reacción) para germinar. Durante la germinación el embrión y los cotiledones de la semilla embeben agua por medio del potencial hídrico (movimiento del agua, de mucha a poca), se degradan las reservas nutrimentales, crece la radícula y emerge.</p>	<p>La germinación es un proceso mediante el cual una semilla madura (morfológica y fisiológicamente), desecada, viable y sin dormición, entrar en contacto con el agua mediante el potencial hídrico y sus cotiledones y el embrión se embeben/absorben agua en el proceso de imbibición. El oxígeno entra al embrión</p>
<p>Imagina que te encuentras en la</p>	<p>"La germinación es un proceso mediante el cual una semilla después de encontrarse en condiciones</p>	<p>La germinación es un proceso mediante el cual una semilla</p>	<p>para que este respire; con la temperatura óptima para</p>

¹³ Ver nota 12.

<p>siguiente situación: debes explicar a Carlos, un alumno de segundo año de bachillerato, el concepto de germinación de las semillas. Carlos sólo sabe que el frijol germina cuando ve una “plantita” con dos hojas verdes, porque es la experiencia que recuerda de la primaria. Para superar esta visión de la germinación, escribe la explicación que le darías a Carlos con la información que ahora tú sabes del fenómeno de germinación de las semillas.</p>	<p><i>obtimas para su germinación estando, (obtimas: es madura morfológica y fisiológicamente) la semilla desecada y viable, no presentando dormición la cual afecta a la semilla con su permeabilidad (dormición física) o con el crecimiento del embrión (fisiologica), al entrar en contacto con el agua mediante el potencial hídrico se embebe y con ayuda del oxígeno que entra al embrión para que este respire y la ayuda de la temperatura óptima para la semilla comience el embrión a degradar las reservas energéticas (lípidos, carbohidratos, proteínas) y produzca ATP suficiente para que la radícula comience a crecer y despues de un determinado tiempo la radícula rompa la testa, emerja la radícula y se degraden por completo las reservas energéticas para que al final salgan las primeras hojas fotosintéticas (de la radícula) que daran fi al proceso de germinación”</i></p>	<p>madura (morfológica y fisiológicamente), desecada, viable y sin dormición (dormición física afecta la permeabilidad; dormición fisiológica afecta el crecimiento del embrión), entra en contacto con el agua mediante el potencial hídrico y se embebe. El oxígeno entra al embrión para que éste respire; con la temperatura óptima para la semilla, el embrión comienza a degradar las reservas energéticas (lípidos, carbohidratos, proteínas) y produce ATP suficiente para que la radícula comience a crecer, la radícula rompe la testa, emerge y se degradan por completo las reservas energéticas para que salgan las primeras hojas fotosintéticas (de la radícula) y finalice el proceso de</p>	<p>la semilla se afecta la velocidad de reacción enzimática y el embrión degrada las reservas energéticas (lípidos, carbohidratos, proteínas) y produce ATP suficiente para que la radícula comience a crecer, rompa la testa, emerja y se degraden por completo las reservas energéticas para que salgan las primeras hojas fotosintéticas (de la radícula) y finalice el proceso de germinación. El sol o luz es diferente para cada tipo de semilla (fotoblástica positiva, fotoblástica negativa, y no fotoblástica). Las semillas pueden presentar problemas físicos o fisiológicos que se pueden tratar con</p>
---	--	--	---

<p>Alejandra es una estudiante de segundo semestre de la carrera de Biología y el día de mañana realizará una práctica sobre germinación. Para ello, el profesor le ha solicitado que lleve a la clase una imagen en la cual se represente <i>el proceso de germinación</i> de las semillas. Alejandra buscó en google imágenes sobre germinación y algunas de las imágenes que le arrojó la búsqueda son: a), b), c), d)</p> <p>¿Qué imagen le recomendarías a Alejandra que lleve a su práctica de laboratorio? ¿Por qué?</p>	<p><i>“c, porque se observa perfectamente como emerge la radícula y se va rompiendo la testa”</i></p>	<p>germinación.</p> <p>En el proceso de germinación emerge la radícula y se rompe la testa.</p>	<p>escarificación mecánica o con ácido giberélico, respectivamente; las semillas también pueden presentar dormición, la cual afecta la permeabilidad de la semilla (dormición física) o el crecimiento del embrión (dormición fisiológica).</p>
---	---	---	---

<p>A continuación se te presentan dos definiciones sobre el fenómeno de germinación de semillas; léelas detenidamente:</p> <p>¿Estás de acuerdo con la definición 1? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la definición 2? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p>1. <i>“No, ya que la semilla no crece en la germinación si no desde la planta madre, no absorbe y asimila nutrientes los degrada. El tipo de sustrato no afecta tanto y el sol o luz pueden ser diferentes para cada tipo de semilla (fotoblastica positiva, fotoblastica negativa, y no fotoblastica)</i></p> <p>2. <i>“En realidad la germinación si es un fenomeno muy complejo y se inicia con la absorción e agua. La definición esta bastante completa. Y explica lo que es la germinación sin ser tan detallado además de que incluye los principales requerimientos de la semilla para que se de la germiancion”</i></p>	<p>1.- La semilla degrada nutrientes durante la germinación. El sol o la luz es diferente para cada tipo de semilla (fotoblastica positiva, fotoblastica negativa y no fotoblastica).</p> <p>2. La germinación inicia con la absorción de agua.</p>
<p>¿Qué experimento propondrías que permitiera conocer el proceso de germinación de estas semillas y que tuviera alta probabilidad de germinación?</p>	<p><i>“Si contara con un número apropiado de semillas para tener más de 4 repeticiones, propondría que se realizara escarificación mecanica con lija a las semillas, por otro lado un tratamiento con ácido giberelico para ver si el problema es fisico o fisiologico respectivamente, utilizaría como sustrato agar-agar ya que contiene los nutrimentos y agua suficientes para que las semillas germinen; seguiría con las condiciones estándar para la germinación (25°C,</i></p>	<p>Las semillas pueden presentar problemas físicos o fisiológicos que se pueden tratar con escarificación mecánica o ácido giberélico respectivamente.</p> <p>Las semillas se embeben durante la imbibición en la germinación; tienen reservas</p>

	<p><i>fotoperiodo 12/12)evaluaría la imbibición que tubieran las semillas comparando con el peso que tenían desde antes de embeberse y con info. de semillas de la misma familia buscaría cuales son las reservas que tienen para trabajar un método de evaluación de la degradación de sus reservas y ver su comportamiento, por ultimo evaluaría el comportamiento de un lote de semillas sin embeber con sus reservas energéticas, el color del embrión y reservas y los compararía de igual forma con semillas embebidas después de los 3 meses color del embrión, reserva energética y degradación de la misma”</i></p>	<p>energéticas que se degradan.</p>	
--	--	-------------------------------------	--

Cuadro 11

Elementos, subelementos, relaciones y condiciones de los Modelos científicos escolares logrados, de las alumnas B, C, D y E, y el Modelo Científico Escolar Logrado 1 que resulta de dichos modelos, sobre fenómeno de germinación.

Modelos alcanzados finales de cada estudiante					
Categorías del modelo	B	C	D	E	Modelo científico escolar logrado 1
Elementos	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla - Temperatura - Agua - Oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla - Temperatura - Humedad/agua - Oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla - Temperatura - Agua - Oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla - Temperatura - Agua - Oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla - Temperatura - Agua - Oxígeno

	<ul style="list-style-type: none"> - Sol o luz - Primeras hojas fotosintéticas - Ácido giberélico como tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Luz - Segunda raíz - Primeras hojas - Ácido giberélico como tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Luz (en algunos casos) - Plántula - Alimento 	<ul style="list-style-type: none"> - Luz/obscuridad - Plántula - Alimento - Fitohormonas como tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Luz - Primeras hojas fotosintéticas/plántula - Alimento - Ácido giberélico como tratamiento
Subelementos	<ul style="list-style-type: none"> - Testa - Embrión - Radícula - Reservas energéticas (lípidos, carbohidratos y proteínas; ATP) - Cotiledones 	<ul style="list-style-type: none"> - Cubierta (testa) - Embrión - Pequeña raíz (radícula) - Reserva de nutrimentos (Energía) - Enzimas 	<ul style="list-style-type: none"> - Testa - Radícula - Reservas nutrimentales (carbohidratos lípidos y proteínas) - Enzimas - Energía - Fitocromos 	<ul style="list-style-type: none"> - Testa - Embrión - Radícula - Reservas nutrimentales (lípidos, proteínas y carbohidratos; energía en ATP) - Enzimas - Endospermo - Hilio 	<ul style="list-style-type: none"> - Testa - Embrión - Radícula - Reservas nutrimentales (lípidos, carbohidratos y proteínas; energía en ATP) - Enzimas
Relaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-agua-cotiledones-embrión Los cotiledones y embrión de la semilla embeben/absorben agua - Semilla: embrión- 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-oxígeno/aireación, agua (humedad), luz, temperatura y sustrato La semilla entra en contacto con el oxígeno/aireación, agua (humedad), luz, 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-agua La semilla se hincha con el agua - Semilla-agua-testa-oxígeno El agua hace que la testa de la semilla sea 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-agua-oxígeno La semilla embebe agua mediante el potencial hídrico y entra oxígeno por el hilio - Semilla-temperatura-enzimas 	<ul style="list-style-type: none"> Semilla-agua-oxígeno La semilla embebe agua y entra oxígeno - Semilla- oxígeno El oxígeno entra a la semilla y ésta respira

	<p>oxígeno El oxígeno entra al embrión para que respire</p> <p>- Semilla: embrión-temperatura-reservas energéticas El embrión degrada las reservas energéticas a temperatura optima</p> <p>- Semilla: embrión-temperatura-reservas energéticas-ATP El embrión produce ATP para que la radícula crezca de las reservas degradadas</p> <p>- Radícula-testa La radícula rompe la testa</p> <p>- Semilla-radícula La radícula emerge de la</p>	<p>temperatura y sustrato para germinar</p> <p>- Temperatura-enzimas La temperatura activa las enzimas</p> <p>- Enzimas- reserva nutrientes Las enzimas degradan la reserva de nutrientes</p> <p>- Semilla: embrión-energía El embrión obtiene energía de los nutrientes degradados</p> <p>- Embrión-testa El embrión rompe la testa</p> <p>- Semilla-pequeña raíz (radícula) De la semilla</p>	<p>permeable al oxígeno</p> <p>- Semilla- oxígeno El oxígeno entra a la semilla y ésta respira</p> <p>- Semilla- oxígeno-energía El oxígeno que entra permite que la semilla respire y <i>produzca</i> energía</p> <p>- Temperatura-enzimas La temperatura activa las enzimas</p> <p>- Temperatura -enzimas- energía-reservas Las enzimas junto con la energía degrada las reservas</p>	<p>La temperatura activa las enzimas</p> <p>- Semilla-temperatura-enzimas-reservas Las enzimas degradan las reservas nutritivas de la semilla</p> <p>- Semilla: embrión maduro-energía en ATP El embrión maduro obtiene energía en ATP de las reservas nutritivas degradadas</p> <p>- Semilla: embrión maduro-energía en ATP-testa El embrión maduro rompe la testa y emerge la radícula</p>	<p>- Temperatura-enzimas La temperatura activa las enzimas</p> <p>- Enzimas- reserva nutrientes Las enzimas degradan la reserva de nutrientes</p> <p>- Semilla: embrión maduro-energía en ATP El embrión maduro obtiene energía en ATP de las reservas nutritivas degradadas</p> <p>- Radícula/embrión-testa La radícula/embrión rompe la testa</p> <p>- Semilla-radícula La radícula emerge de la semilla</p>
--	---	---	--	---	---

	<p>semilla</p> <p>- Primeras hojas fotosintéticas-radícula</p> <p>De la radícula salen las primeras hojas fotosintéticas y finaliza la germinación</p>	<p>brotar/emerge una pequeña raíz (radícula)</p> <p>- Semilla -segunda raíz</p> <p>De la semilla brotar una segunda raíz</p> <p>- Segunda raíz-primeras hojas</p> <p>La segunda raíz crece hasta que salen las primeras hojas</p>	<p>nutrimentales</p> <p>- Semilla-fitocromos-luz</p> <p>La semilla tiene fitocromos que <i>absorben</i> la luz</p> <p>- Semilla-todos los factores- radícula</p> <p>La semilla debe contar con todos los factores para que emerja la radícula</p> <p>- Semilla-plántula-alimento</p> <p>La semilla ha germinado cuando la plántula <i>produce</i> su propio alimento y <i>realiza</i> fotosíntesis</p>	<p>- Plántula-alimento</p> <p>La planta genera su alimento mediante la fotosíntesis y termina la germinación</p>	<p>- Semilla-plántula/primeras hojas</p> <p>La semilla ha germinado cuando la plántula <i>realiza</i> fotosíntesis</p>
Condiciones	<p>- Madura (morfológica y fisiológicamente)</p> <p>- Viabilidad</p>	<p>-Viabilidad</p> <p>- Deshidratación y no deshidratación</p>	<p>- Maduración (morfológica y fisiológica)</p>	<p>- Maduración</p> <p>- Viabilidad</p> <p>- Sin dormición</p>	<p>- Madura (morfológica y fisiológicamente)</p> <p>- Viabilidad</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Desecada - Sin dormición - Fotoblasticidad (positiva, negativa y no fotoblástica) - Potencial hídrico - Imbibición - Respiración - Crecimiento - Velocidad de reacción enzimática - Escarificación mecánica y ácido giberélico como tratamiento - Dormición (física, permeabilidad; fisiológica, embrión) como un problema 	<ul style="list-style-type: none"> - Fotoblasticidad (positiva, negativa y no fotoblástica) - Impermeabilidad - Imbibición - Crecimiento - Dormición (fisiológica) como un problema -Escarificación química como un tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Viabilidad - Fotoblasticidad (positiva, negativa o fotoblástica neutra) - Permeabilidad (testa) - Respiración - Fotosíntesis - Dormición como un problema 	<ul style="list-style-type: none"> - Vida latente - Vida activa - Potencial hídrico - Reactivación del metabolismo - Fotosíntesis - Dormición - Escarificación (mecánica) como tratamiento - Estratificación como tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Desecada - Sin dormición - Fotoblasticidad (positiva, negativa y no fotoblástica) - Potencial hídrico - Imbibición - Respiración - Crecimiento - Fotosíntesis - Dormición como un problema - Escarificación como tratamiento
--	---	---	--	---	---

Cuadro 12

Elementos, subelementos, relaciones y condiciones del Modelo Científico Escolar Logrado 2 de la estudiante A sobre germinación.

Elementos	Subelementos	Relaciones	Condiciones
<ul style="list-style-type: none"> - Semilla - Temperatura (calor) - Agua - Oxigenación/oxígeno - Luz 	<ul style="list-style-type: none"> - Testa - Embrión - Nutrientes (enzimas) - Energía (ATP) - Radícula 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-agua La semilla absorbe/embebe agua - Semilla-agua-oxígeno El oxígeno entra a la semilla por imbibición - Semilla-temperatura-calor La temperatura aporta calor a la semilla. - Semilla: enzimas-calor-temperatura Las enzimas de la semilla se activan con el calor de la temperatura - Semilla: enzimas-calor-temperatura-nutrientes Las enzimas activadas por calor degradan los nutrientes de la semilla - Semilla-enzimas-calor-temperatura-nutrientes-embrión-energía (ATP) El embrión utiliza los nutrientes degradados como energía 	<ul style="list-style-type: none"> - Maduración (fisiológica y morfológica) - Imbibición - Reactivación del metabolismo - Dormición (fisiológica) - Escarificación (física) como tratamiento

		- Semilla-testa La testa se desprende y se rompe - Semilla-radícula De la semilla brota/emerge la radícula y culmina la germinación.	
--	--	---	--

Después de analizar y determinar la existencia de dos modelos logrados sobre germinación entre las estudiantes, MCEL1 (presente en cuatro alumnas) y MCEL2 (logrado por una alumna), lo siguiente es realizar el análisis de dichos modelos en comparación del MCEA propuesto para dicho fenómeno; lo cual se realizó en términos de los componentes de dicho modelo: elementos, subelementos, relaciones y condiciones. El análisis de los MCEL 1 y 2 se presenta a continuación.

5.3.1 Análisis del Modelo Científico Escolar Logrado 1 (MCEL1).

Elementos y subelementos

El MCEL1 de las alumnas B, C, D, y E (ver el MCEL1 del cuadro 11), incluye los cinco *elementos* propuestos del MCEA -semilla, agua, oxígeno, luz, y temperatura- para explicar el fenómeno de germinación; lo anterior implica que las estudiantes alcanzaron los *elementos* propuestos necesarios, para explicar la germinación tal y como se propuso en el MCEA en cuanto a elementos. El hecho de que las alumnas consideren necesarios los *elementos* semilla, agua, oxígeno, luz, y temperatura en MCEL1, y que ya no estén presentes los elementos pH, sustrato y aireación -presentes en el MIE- (ver el MIE de cada estudiante y su proceso de inferencia para lograrlo en el cuadro 9), podría considerarse una evidencia de la modificación del MIE de las estudiantes para explicar la germinación; lo cual significa también un alejamiento de dicho modelo inicial y un

acercamiento al MC a través del MCEA propuesto para la germinación, ya que el MCEA tiene como una de sus bases el MC del fenómeno en cuestión.

Además de los elementos del MCEL1 que se mencionaron en el párrafo anterior, las alumnas también consideran necesarios los *elementos* plántula/primeras hojas fotosintéticas, alimento y ácido giberélico (AG) -como tratamiento-, en su modelo para explicar la germinación. El *elemento* plántula, se conservó del modelo inicial al modelo logrado de las estudiantes, y las hojas fotosintéticas, alimento y AG como tratamiento, se integraron al MCEL1 (ver el MCEL1 del Cuadro 11).

Los *elementos* plántula/primeras hojas fotosintéticas y alimento, se justifican en el MCEL1 de las alumnas, porque ellas consideran que cuando aparece la plántula o las primeras hojas fotosintéticas, éstas producen su propio alimento y con ello finaliza la germinación de la semilla (ver los cuadros AC10-13 de interpretaciones de cada estudiante en el anexo). Sin embargo, dichos *elementos* no forman parte del MCEA que se postuló alcanzaran las estudiantes, ya que la emergencia de la radícula es el evento que marca el fin de la germinación (ver sección 3.3.5.1), y no el desarrollo y crecimiento de la plántula o las primeras hojas fotosintéticas. Cabe mencionar, que las alumnas reconocen el evento de la emergencia de la radícula como parte del proceso de germinación, pero no lo consideran el evento que marca el fin de dicho proceso. En otras palabras, para las alumnas con el MCEL1, primero emerge la radícula de la semilla y después emergen las primeras hojas fotosintéticas o una plántula, capaces de producir su alimento para que termine la germinación.

*Alumna B: "... la radícula rompa la testa, emerja la radícula y se degraden por completo las reservas energéticas para que al final salgan las primeras hojas fotosintéticas (de la radícula) que daran fin al proceso de germinación."*¹⁴

¹⁴ Los fragmentos de texto utilizados como ejemplo para el análisis de los modelos, son transcripciones literales de lo expresado por las alumnas.

Alumna D: “... *la emergencia de la radícula, este proceso [germinación] termina cuando la plántula es capaz de generar su propio alimento mediante la fotosíntesis.*”

La persistencia de la idea de las alumnas, que la germinación finaliza con la emergencia de la plántula o de las primeras hojas fotosintéticas, puede deberse a tres aspectos. Uno de ellos está con relación a que algunos estudiantes, desde el preescolar y la primaria, consideran que hay una *planta completamente formada* dentro de la semilla (Jewell, 2002). La autora considera que los niños son conscientes que si se planta una semilla, eventualmente se obtendrá una flor, un árbol o una planta de algún tipo; por lo que es comprensible que crean que la planta que está dentro de la semilla simplemente esté a la espera de las condiciones correctas para emerger. El segundo aspecto, es que las representaciones que se pueden encontrar en una búsqueda a través de Internet sobre imágenes de germinación, generalmente muestran una semilla con una plántula o con hojas (Figura 5). El último aspecto es, que la emergencia de la radícula es un evento corto; es decir, inmediatamente después de observar la punta de la radícula por fuera de la semilla, comienza el crecimiento y desarrollo de la plántula, lo cual ya no es considerado germinación, sino parte del crecimiento y desarrollo de la plántula.



Figura 7. Algunas representaciones sobre germinación que se pueden encontrar en una búsqueda en Internet.

En el marco de los tres aspectos anteriores, se piensa que la idea de que la germinación termine con una plántula o primeras hojas fotosintéticas del MCEL1 de las alumnas, puede deberse a que, desde edades tempranas (preescolar y primaria), se puede tener la idea que una semilla contiene una planta completamente formada, al reforzamiento negativo a causa de la información de fácil acceso a través del Internet y, debido a que la emergencia de la radícula es un evento de poca duración, el cual puede ocurrir sin que los alumnos se percaten de él, incluso en sus prácticas sobre germinación puede que no sean capaces de observar dicho evento, sino el desarrollo y crecimiento de la plántula, por lo que además dicha puede estarse reforzando negativamente en la escuela.

Además de lo anterior, Vidal y Membiela (2013) han reportado que estudiantes en su último año de formación para ser profesores, consideran que la semilla ha germinado cuando aparece el tallo o las hojas, aún cuando han realizado actividades prácticas en torno a este fenómeno; por lo que la transformación de esta idea puede considerarse de alta dificultad.

El AG como tratamiento presente en el MCEL1 de las alumnas, es un *elemento* que no se consideró en MCEA; pero sí forma parte del MC sobre germinación, como un componente del *subelemento* embrión (Cuadro 3), aunque no como un tratamiento. En la teoría científica sobre el fenómeno de germinación, las fitohormonas ácido giberélico (AG) y ácido abscísico (ABA), tienen la función de ablandar el endospermo de la semilla para que la radícula pueda romperlo; para ello, disminuye la concentración de ABA y aumenta la de AG; debido a esta función, dichas fitohormonas son utilizadas en el desarrollo de investigaciones sobre el proceso de germinación, ya sea como promotoras (AG) en semillas que presenten algún tipo de problema germinativo, o como inhibidoras (ABA) para conocer aspectos específicos del proceso, por mencionar algunas aplicaciones. Con base en ello, es probable que las alumnas reconozcan la función del AG en la germinación, ya que lo consideran un *elemento* que puede ser utilizado para tratar semillas que presenten algún tipo de problema.

Alumna B: “... por otro lado un tratamiento con ácido giberelico para ver si el problema es fisiológico”.

Alumna C: O también podría ser que las semillas tengan dormición fisiológica y por esto sugiero que las semillas se sumerjan en acido giberelico, para romper la dormición”.

La integración del AG como tratamiento, al MCEL1 de las alumnas (a excepción de la alumna D) y no propuesto en el MCEA, puede deberse a que las alumnas abordaron un problema biológico sobre germinación, como parte del objetivo que se pretende alcanzar en el módulo en que se aplicó la secuencia didáctica; lo que implicó que tuvieran la necesidad de leer artículos especializados sobre la investigación en el ámbito de dicho fenómeno, donde el AG era utilizado o se mencionaba, como un tratamiento para resolver problemas de germinación en las semillas.

Subelementos

Los cinco *subelementos* del MCEL1 de las alumnas (testa, embrión, radícula, reservas nutritivas y enzimas) se mencionan en el MCEA propuesto sobre germinación, por lo que se podría considerar que las alumnas alcanzaron, en términos de *subelementos*, el MCEA propuesto. Lo anterior resulta relevante, debido a que la radícula, las reservas nutritivas y las enzimas, son *subelementos* que las alumnas no consideraban antes en su MIE sobre el fenómeno, por lo que se considera que el MCEL1 de las estudiantes es más cercano al MC sobre germinación con el MCEA como intermediario entre el MIE el MC. En el caso del *subelemento* testa, éste no se considera como un subelemento que se haya integrado al MCEL1 como resultado de la intervención didáctica, ya que las alumnas reconocían previamente en su MIE dicha estructura pero no se nombraba con su término técnico; es decir, pasó de cáscara/cubierta protectora en el MIE a testa en el MCEL1.

Lo descrito en el párrafo anterior, puede representar el logro, por parte de las estudiantes, de la integración de aspectos en relación con la estructura interna de la semilla que permite establecer la influencia de factores internos para la comprensión y explicación de la germinación -particularmente la emergencia de la radícula-; ya que en el MIE de las alumnas solo contemplaba la influencia de factores externos, por lo que puede decirse, las alumnas lograron un cambio trascendental en su modelo inicial.

Aunado a lo anterior, es necesario mencionar, que si bien las alumnas reconocen la existencia de dichos *subelementos*, no fue posible determinar -con la información del instrumento aplicado- si las alumnas comprenden que las enzimas y las reservas nutrimentales forman parte del *subelemento* cotiledones y/o endospermo, y la radícula del *subelemento* embrión, como se plantea en el MCEA.

Además de lo anterior, en el MCEL de las estudiantes (modelos de las alumnas B, C y E) se justifica el aspecto de considerar las reservas nutrimentales y las enzimas como *subelementos* necesarios para explicar la germinación; ya que las alumnas consideran que la energía que requiere el embrión durante la germinación, la obtiene de la degradación de las reservas nutrimentales por acción de las enzimas.

Alumna B: *"...la semilla comience el embrión a degradar las reservas energéticas (lípidos, carbohidratos, proteínas) y produzca [energía] suficiente..."*

Alumna C: *"... después con ayuda de la temperatura las enzimas se activaran y degradaran la reserva de nutrimentos que hay dentro de la semilla, al ser degradados la semilla obtiene energía..."*

Alumna E: *"... temperatura para que comience a activarse las enzimas y pueda degradar sus reservas nutrimentales (lipidos, proteínas o carbohidratos) y así pueda obtener la energía"*

La creencia de las estudiantes de que las reservas nutrimentales son fuente de energía para la semilla, puede ser una analogía utilizada por parte de las estudiantes; ya que la idea que los alimentos son fuente de energía, puede ser una idea que ha permeado culturalmente. Es común escuchar que los alimentos son fuente de energía, sin embargo, son fuente de nutrientes; los cuales se asimilan y, para que el proceso de asimilación de nutrientes se lleve a cabo, se requiere de energía, la cual se genera en forma de ATP gracias a la respiración.

La idea de que, por medio de la respiración se obtiene energía, es un aspecto que sí logró ser alcanzado por una de las alumnas (D) en su MCEL para explicar el fenómeno de germinación.

Alumna D: “...la semilla empiece a respirar y así produce energía, la temperatura activa la enzimas para que junto con la energía que ha generado la semilla pueda degradar las reservas nutrimentales...”

Relaciones

La *relación*, de la absorción de agua por parte de la semilla, propuesta en el MCEA, se alcanzó en el modelo de las cuatro estudiantes o MCEL1, quienes relacionan los elementos semilla y agua para establecer dicha *relación*. Dos de las alumnas (B y E) utilizan el término técnico para referirse a esta relación de absorber agua, que es el término embeber y, la alumna D considera coherentemente la participación del potencial hídrico en esta *relación*; a pesar de no ser contemplada en el MCEA propuesto; aunque si forma parte del MC sobre germinación.

Cabe mencionar, que es la misma alumna D, quien considera que se requiere el potencial hídrico para la absorción de agua y la respiración para la producción de energía; ambas como *condiciones* en su MCEL sobre germinación. La consideración de estas ideas por la misma alumna, son difíciles de explicar sólo con base en el instrumento aplicado (Anexo, instrumento 5), porque es

probable que la alumna tenga un modelo diferente a sus compañeras sobre el fenómeno de respiración y otros procesos, que le permitan considerar coherentemente la producción de energía por medio de la respiración y el potencial hídrico en la absorción de agua. El instrumento aplicado, no permite evaluar a profundidad en la alumna otros procesos de forma específica, porque ese no fue el objetivo perseguido.

Las *relaciones* que hacen referencia a la entrada de oxígeno a la semilla, la activación de las enzimas por la temperatura y la degradación de la reserva de nutrimentos por las enzimas del MCEL1 de las alumnas, son *relaciones* que alcanzaron las estudiantes pero que no se presentan en el MCEA. El establecimiento de estas *relaciones* es coherente en el MCEL1 de las estudiantes sobre germinación, porque ellas consideran que la entrada de oxígeno y la activación de las enzimas en la semilla, tienen como consecuencia la degradación de la reserva de nutrimentos. Aunque ésta es una idea alejada de la explicación científica actual en torno al fenómeno de germinación, también puede considerarse alejada de la idea inicial de germinación de las estudiantes y más cercana al MCEA propuesto; ya que el MIE solo considera las relaciones ruptura de la capa protectora y brote de la planta de la semilla (Cuadro 1). Por ello, la incorporación de las relaciones de oxígeno a la semilla, la activación de las enzimas por la temperatura y la degradación de la reserva de nutrimentos por las enzimas al modelo de las estudiantes, puede considerarse una integración positiva en el MCEL, y como un acercamiento al MCEA; pues ayuda a explicar el fenómeno de germinación.

En el MC sobre germinación, las enzimas se activan tras la imbibición de la semilla, el oxígeno se incrementa como resultado de la respiración del embrión, y la degradación de la reserva de nutrimentos no ocurre durante la germinación, sino durante la siguiente etapa de crecimiento y desarrollo de la planta; como se mencionó en el análisis de los elementos del MCEL1 de las alumnas en párrafos anteriores.

A pesar que los procesos de entrada de oxígeno a la semilla, activación de las enzimas por la temperatura y degradación de la reserva de nutrimentos por las enzimas del MCEL1 de las alumnas, son ideas alejadas del MC sobre germinación, dichas ideas de las alumnas pueden ser modificadas en semestres posteriores, a partir de un modelo diferente sobre germinación; ya que la idea sería, en este sentido, modificar el sentido de dichas relaciones y no integrarlas, ya que la integración ya está hecha. Esto se considera posible, debido a que las alumnas tienen en su MCEL los *elementos* necesarios para explicar de mejor manera el fenómeno de germinación -no considerados antes en el MIE- de los cuales se puede partir para el establecimiento de *relaciones* más coherentes con el MC.

Otra *relación* integrada al MCEL1 de las alumnas, es la obtención de energía (Cuadro 11), para la cual consideran las alumnas (a excepción de la alumna D, como se mencionó anteriormente) se requiere de la degradación de las reservas nutrimentales y no de la respiración como se considera en el MCEA -el aspecto de la degradación de las reservas se abordó en párrafos anteriores-. Con respecto a la idea de respiración, se ha considerado que existe una tendencia generalizada a ser considerada como un simple intercambio gaseoso, distanciado casi por completo de los proceso de producción de energía por el organismo (Tamayo, 2009), por lo que no es de extrañar que las alumnas no relacionen la respiración con la producción de energía.

La ruptura de la testa y la emergencia de la radícula son *relaciones* que establecen las alumnas en el MCEL1 (Cuadro 11), y también están presentes en el MCEA (Cuadro 4). Sin embargo, entre los elementos que las estudiantes mencionan para la generación de estas *relaciones*, no consideran la acción del agua. Si bien las alumnas reconocen el establecimiento de las *relaciones* de ruptura y emergencia, la importancia de incorporar el elemento agua en dichas *relaciones* a lo largo del proceso de germinación, es crucial para explicar el fenómeno de germinación porque dicho elemento guía todo el proceso germinativo (ver apartado 3.3.5.1).

La consideración de las *relaciones* que dan pie a la ruptura de la testa y la emergencia de la radícula en el MCEL1 de las alumnas, puede ser atribuido a que estas dos *relaciones* pueden ser percibidas sensorialmente, y por lo tanto, pudieron ser más asequibles para las estudiantes; de acuerdo con Olsher y Beit, (citados en Tamayo, 2009) quien menciona que aquellos aspectos que no son perceptibles sensorialmente por los alumnos, son difíciles de aprender. En el caso particular de este trabajo, pudo haber ocurrido lo contrario.

El hecho de que las alumnas no hayan alcanzado las *relaciones* que permiten concebir la activación de la respiración, incremento de oxígeno en el embrión, producción de ATP durante la respiración del MCEA propuesto, puede ser a causa de que dichas *relaciones* están concatenadas al proceso de respiración, que como se mencionó anteriormente, es un concepto que generalmente se asocia al intercambio gaseoso y no a la producción de energía. Además de ello, es probable que las alumnas no hayan podido establecer dichas *relaciones*, debido a que se encuentran dentro del ámbito bioquímico, y se ha considerado que los estudiantes que se enfrentan a los procesos bioquímicos, se encuentran ante una especie de caja negra constituida por dichos procesos. Así, la dificultad para el aprendizaje de estos conceptos abstractos, está en parte conectada con que los procesos bioquímicos no pueden ser percibidos por los sistemas sensoriales de los estudiantes y, además, son procesos que no tienen equivalentes en su experiencia personal (Olsher y Beit, como se citó en Tamayo, 2009).

Condiciones

La viabilidad, sin dormición, maduración, desecación, fotoblasticidad, imbibición, respiración y crecimiento, son las *condiciones* alcanzadas por las estudiantes del MCEL1 y presentes en el MCEA propuesto sobre germinación. Sin restar valor a los demás componentes del modelo -elementos, subelementos y relaciones-, las *condiciones* establecidas por las alumnas resultan interesantes, debido a que antes de la implementación de la secuencia didáctica las alumnas consideraban las *condiciones* de crecimiento y maduración; las cuales están

alejadas, por mucho, de la explicación científica. Sin embargo, eran coherentes para las alumnas. Para ellas la germinación era el crecimiento o maduración de una semilla, al inicio de la secuencia didáctica.

La germinación es:

Alumna B: “...el proceso mediante el cual se da el “crecimiento” de una semilla...”

Alumna C: “...el proceso mediante el cual una semilla madura...”

Como se mencionó anteriormente, las *condiciones* antes mencionadas -viabilidad, sin dormición, maduración, desecación, fotoblasticidad, imbibición, respiración y crecimiento-, son coherentes con el MCEA y, por lo tanto, también con el MC sobre el fenómeno en cuestión, por lo que las alumnas han integrado condiciones que no consideraban en su MIE, modificando su idea inicial de lo que es la germinación. A este respecto, solo se menciona que la desecación no figura de forma literal en el MCEA propuesto; sin embargo, la desecación está relacionada con la *condición* de quiescencia, como se expresa en el MCEA; por lo tanto, solo haría falta, en futuras secuencias didácticas, que las alumnas incorporaran el nombre técnico. En el caso de la fotoblasticidad que mencionan las alumnas, también sucede lo mismo, ya que el término técnico es fotoblastismo.

Aunado a lo anterior, también es de resaltar la incorporación de la *condición* de imbibición al MCEL1 de las alumnas, ya que es una de las condiciones fundamentales en las que se basa la explicación científica de la germinación de semillas. Dicha *condición* junto con la relación de embeber agua, que también fue alcanzada por las estudiantes, son aspectos fundamentales de la teoría que explica el fenómeno de germinación (ver apartado 3.3.5.1) y que dota al MCEL1 de las alumnas de un grado de coherencia ante dicha teoría; sirviendo como intermediario el MCEA propuesto y alejando, por mucho, el MCEL del MIE sobre germinación. Es probable que esta idea se haya podido alcanzar y afianzar en el

MCEL1 de las alumnas, debido a que fue un tema que se discutió a profundidad en clase y que pudo ser evaluado directamente por las alumnas en la práctica a través de la obtención del aumento en el peso de las semillas durante su germinación.

Potencial hídrico, fotosíntesis, dormición como un problema de la semilla y escarificación como tratamiento, son *condiciones* del MCEL1 de las alumnas que no están contempladas en el MCEA. El potencial hídrico, es una condición del MC de germinación; sin embargo, no se consideró para el MCEA porque es una *condición* compleja de la germinación que requiere de la comprensión de procesos fisiológicos vegetales que los alumnos adquieren en semestres posteriores. Pero, debido a la dinámica de la secuencia didáctica desarrollada con las alumnas, surgió la necesidad de mencionarlo y resultó significativo para las estudiantes E y B, ya que forma parte de su MCEL (Cuadro 11). La consideración del potencial hídrico puede considerarse una característica útil que las alumnas ya han incorporado y que se puede terminar de comprender en el Módulo de Morfofisiología Vegetal del quinto semestre de la carrera de biología donde se aborda el tema de germinación a profundidad.

La *condición* de dormición, como un problema para la germinación de las semillas y, la escarificación como un tratamiento, son aspectos que se conocen científicamente. La consideración de estas *condiciones* en el MCEL1 de las alumnas, pero no en el MCEA propuesto, se debe a que la secuencia didáctica se desarrolló en una asignatura que busca que los alumnos den solución a un problema biológico por medio del diseño de un experimento, por lo que las alumnas desarrollaron un proyecto de investigación en el que aplicaron escarificación a las semillas -de Chupandilla-, como tratamiento para el problema de dormición que presentaban dichas semillas. Las alumnas también tuvieron conocimiento de dichas *condiciones* porque fueron tópicos que se abordaron en algunos artículos científicos leídos por las estudiantes y que pudieron comprender debido a que habían sido abordados teóricamente antes de la lectura de dichos artículos.

Además de lo anterior, las *condiciones* dormición como un problema para la germinación de las semillas y escarificación, no formaron parte del MCEA propuesto, porque éste fue diseñado para la comprensión del fenómeno de germinación de una forma general y no se contemplaron aspectos específicos o particulares que pudieran presentar las semillas como lo es la dormición, o los tratamientos para dichos problemas.

La fotosíntesis es una *condición* presente en el MCEL1 de las estudiantes, debido a que consideran que la germinación de una semilla culmina cuando una plántula o las primeras hojas realizan su propio alimento a través de dicho proceso.

Alumna D: *“...se dice que la semilla ha germinado completamente cuando la plántula es capaz de producir su propio alimento (fotosíntesis).”*

Alumna E: *“...este proceso termina [la germinación] cuando la plántula es capaz de generar su propio alimento mediante la fotosíntesis.”*

La *condición* de fotosíntesis, se relaciona directamente con los elementos plántula y primeras hojas que se mencionaron y discutieron en la sección de elementos y, ahí se aborda el por qué de la persistencia de esta idea. Aunado a ello, es importante mencionar que se ha reportado existen concepciones espontáneas sobre germinación en los estudiantes que hacen referencia a la misma idea en relación con la fotosíntesis; es decir, que la fotosíntesis es un proceso implicado en la germinación de las semillas (Lin, 2004).

5.3.2 Análisis del Modelo Científico Escolar Logrado 2 (MCEL2).

La diferencia que permitió determinar que el MCEL2 de la estudiante A, es diferente al MCEL1 de las alumnas B, C, D y E, fue fundamentalmente la consideración de la idea de las estudiantes con respecto al evento considerado como el fin de la germinación, ya que se consideró como uno de los criterios fundamentales para analizar la semejanza o diferencia entre los cinco MCEL de las estudiantes. La estudiante A, considera que la germinación termina con la *emergencia de la radícula* y las otras estudiantes con la aparición de la plántula o primeras hojas fotosintéticas.

En este apartado de la tesis, corresponde realizar el análisis del MCEL2 o de la alumna A.

Elementos

Si se tiene presente lo establecido en párrafo anterior, la diferencia entre el MCEL1 (Cuadro 11) y el 2 de la alumna A (Cuadro 12) en términos de *elementos*, es la ausencia de primeras hojas fotosintéticas/plántula, alimento y ácido giberélico como tratamiento en el MCEL1 de la alumna A. El hecho de la ausencia de dichos *elementos* en el MCEL1 de esta alumna, está en relación directa a su idea de que la germinación termina con la emergencia de la radícula.

Alumna A: “...así en conjunto pueda brotar una radícula, cumpliéndose con esto la germinación de una semilla.”

El hecho de que la alumna A considere que la germinación termina con la emergencia de la radícula resulta relevante, porque puede ser considerado una transformación fundamental del MIE de la estudiante. Esto no solo porque la emergencia de la radícula sea considerada científicamente como el evento que marca el final de la germinación y con ello su MCEL sea más cercano al MC sobre germinación, a través del MCEA perseguido con el desarrollo de la secuencia didáctica utilizada para este propósito; sino porque en su modelo inicial, la

estudiante A consideraba que la germinación culminaba con la presencia de una plántula. Esta última idea puede tener de fondo la falta de reconocimiento o delimitación de dos etapas diferenciadas de desarrollo y crecimiento del ciclo de vida de las plantas: la germinación y el desarrollo y crecimiento de la plántula, lo cual fue un objetivo a cumplir para el desarrollo e implementación de la secuencia didáctica.

Los *elementos* temperatura, agua, oxígeno y luz de la alumna A, se comparten con el MCEL2, por lo que ya no serán discutidos aquí; lo mismo sucede para el caso de los subelementos.

Relaciones

En función de las *relaciones*, la diferencia entre los MCEL 1 y MCEL 2 para la alumna A, es la ausencia de la *relación* entre la semilla y la plántula con base en la realización de la fotosíntesis. La ausencia de dicha relación es justificada por la idea de la alumna A sobre el fin de la germinación que se ha venido mencionando.

Condiciones

Por último, en relación con las *condiciones*, el modelo de la alumna A considera necesarias la maduración (fisiológica y morfológica), imbibición, reactivación del metabolismo, dormición y escarificación.

La maduración, es una *condición* que forma parte del MCEA propuesto, y fue integrada al MCEL2 de la alumna A. En relación con ello, se considera que la integración de dicha *condición* es relevante, porque la alumna además de integrar la maduración como una *condición* de su modelo, la clasifica en morfológica y fisiológica -clasificación no considerada en el MCEA propuesto-; dicha clasificación es conocida científicamente.

La clasificación de la maduración en morfológica y fisiológica, no se consideró necesaria en el MCEA propuesto sobre germinación, porque son aspectos particulares de la semilla que ocurren en el proceso de maduración, y no

precisamente en la germinación. Ello no quiere decir que estos dos fenómenos - germinación y maduración de la semilla- estén aislados o sin relación.

Así, la consideración de la *condición* y su clasificación en morfológica y fisiológica, se puede considerar de gran relevancia, porque puede ser indicio que la alumna también ha adquirido conocimiento en relación con el proceso de maduración de la semilla. Este proceso vincula una etapa y otra del ciclo de vida de una planta, puesto que, en cuanto una semilla ha alcanzado la madurez morfológica y fisiológica en la planta madre, se desprende de ella -a través de los frutos-, se dispersa y con ello da continuidad a la etapa de germinación de la semilla -lo que es considerado el inicio de un nuevo ciclo de vida-. Por lo que, es posible que la alumna esté avanzando en la dirección de un aprendizaje integral en torno a la germinación y el ciclo de vida de las plantas con flor.

La imbibición y la reactivación del metabolismo son otras *condiciones* del MCEL2 que alcanzó la alumna con relación al MCEA propuesto. La imbibición es una condición que ya fue discutida en el análisis del MCEL1, porque también las alumnas con dicho modelo las integran al mismo.

En lo que respecta a la reactivación del metabolismo, esta *condición* puede estar relacionada con que la estudiante infiera el hecho de que una semilla necesita de dicha reactivación; porque antes de que la semilla comience su germinación, se encuentra en un estado de reposo o de latencia, y se vuelve necesario entonces, que su metabolismo se reactive para que pueda germinar. Sin embargo, no es posible afirmar sin lugar a dudas lo anterior, porque las respuestas al instrumento que se aplicó, no permiten distinguir este aspecto, por lo que una entrevista en relación con esta consideración hubiera ayudado a consolidar dicha creencia.

Las *condiciones* de dormición como un problema y la escarificación como un tratamiento, también ya fueron abordadas en el análisis del MCEL1.

5.4 Análisis de la secuencia didáctica

De acuerdo con López-Mota y Moreno-Arcuri (2014) la construcción en clase y logro de los modelos científicos escolares permiten validar las secuencias didácticas, al comparar el MCEA con los modelos científicos escolares logrados (MCEL). En los apartados anteriores (5.3.1 y 5.3.2) se analizaron y discutieron los modelos alcanzados por las estudiantes (MCEL1 y MCEL2) en comparación con el MCEA propuesto. Con base en dicho análisis, en los siguientes párrafos se analizarán y discutirán los resultados de la comparación entre los modelos logrados y el MCEA, pero ahora en relación con el desarrollo de la secuencia didáctica.

En este sentido, las actividades de la primera etapa de la secuencia didáctica (Cuadro 5) fueron establecidas de tal forma que, en primera instancia, se conociera lo que las alumnas concebían sobre el fenómeno de germinación - aplicación del cuestionario sobre las concepciones alternativas sobre germinación-. Ello, con el fin de ahí partir a la introducción de aspectos teóricos en relación con la actividad práctica de germinación de semillas de frijol desarrollada en el curso - explicitación del modelo de germinación de las estudiantes- que permitiera a las alumnas conocer los aspectos generales que explican el fenómeno de germinación, para posteriormente abordar un problema de investigación en torno a dicho fenómeno en la segunda etapa.

De acuerdo con el diseño de la secuencia didáctica (Cuadro 5) que se implementó, las actividades de la primera etapa -intercambio de ideas en el grupo sobre lo que se considera como germinación, práctica sobre germinación de semillas de frijol, selección de temas a estudiar por parte las alumnas para explicar los resultados de la práctica, exposición y debate de los temas seleccionados, entre otras-, tuvieron como propósito la introducción de elementos -agua, temperatura, oxígeno y luz-, subelementos -testa, embrión (radícula, hormonas, ATP) y cotiledones y/o endospermo (materiales de reserva, enzimas)-, algunas relaciones -la semilla absorbe agua, la testa de la semilla se rompe por acción del

agua- y algunas condiciones -fotoblastismo, maduración, viabilidad, quiescencia y sin dormición- del MCEA sobre germinación propuesto (Cuadro 4 del Capítulo 3). De manera general, se considera que los elementos, subelementos, relaciones y condiciones del MCEA propuestos para ser logrados por las alumnas en la primera etapa, fueron alcanzados por las estudiantes (Cuadros 11 y 12). Dichos alcances de las alumnas, parecen indicar que las actividades planeadas e implementadas para la integración de dichos componentes del MCEA, ayudaron a las estudiantes a integrar estos componentes a su MIE para modificarlo, y transformarlo en su MCEL, por lo que las actividades establecidas para esta etapa de la secuencia (ver cuadro 6), fueron pertinentes y ayudaron a que se alcanzaran los componentes del MCEA mencionados al principio del párrafo. Además, con base en ello, las estudiantes pudieron establecer una hipótesis de trabajo (Anexo, Protocolo de investigación de la primera etapa) para ponerla a prueba en la siguiente etapa.

Además, también es relevante mencionar que los temas a investigar sobre germinación para aclarar dudas durante esta etapa, fueron propuestos por las estudiantes y no por el profesor. Tales propuestas se hicieron de acuerdo a las necesidades de las estudiantes por explicar el fenómeno de germinación. Así, se puede considerar, que la forma en la que se llevó a cabo la secuencia didáctica favoreció la toma de decisiones del aprendizaje por parte de las alumnas, y ello les permitiera integrar los componentes del MCEA que se propusieron -primera etapa-. Con esto, se quiere resaltar que, al conjuntarse el hecho de no poder explicar los resultados obtenidos y ser las propias alumnas quienes propusieran los temas a revisar para poder explicarse dichos resultados -los temas propuestos fueron madurez, viabilidad, luz, agua, temperatura, '*aireación*' y dormición-, pudo haber motivado el aprendizaje de las estudiantes y permitir los logros alcanzados.

Así, la forma en la que se realizaron las actividades durante la primera etapa, consistió en que las alumnas, después de seleccionar los temas sobre germinación de su interés, los investigaban en la literatura y los exponían ante sus compañeras (Cuadro 6, columna de actividades); quienes expresaban sus dudas

sobre el tema expuesto, y la expositora daba respuesta a dichas dudas de acuerdo a lo que había investigado. Dicha forma de llevar a cabo la clase, pudo haber fortalecido la construcción de los modelos, debido a la necesidad de las estudiantes por defender y explicar lo que habían revisado en la literatura y, por el otro, dar respuesta a las interrogantes de sus compañeras. En este punto, fue importante la labor del profesor, para aclarar los aspectos teóricos que resultaran difíciles o confusos, pero dentro del contexto de los temas seleccionados por los estudiantes.

En la segunda etapa de la secuencia -etapa experimental-, se propuso que las alumnas establecieran un protocolo de investigación para solucionar un problema en torno al fenómeno de germinación a través del diseño de un experimento que les permitiera reafirmar el marco teórico abordado en la primera etapa. En esta etapa se abordarían aspectos específicos sobre la teoría de germinación, que las alumnas pudieran ir relacionando con la implementación de su experimento diseñado para resolver el problema de su interés. Por tanto, se propuso introducir la mayoría de las relaciones (ver cuadro 5) y las condiciones restantes -permeabilidad, imbibición y reactivación del metabolismo- del MCEA en dicha etapa. En cuanto a las condiciones, se considera que en el caso particular de la imbibición, las alumnas integraron esta condición desde la primera etapa, a pesar de no estar contemplada en ella, pero pudieron percibirla durante la segunda etapa de la secuencia en la fase experimental -las alumnas pesaron las semillas puestas a germinar y observaron cómo aumentaba el peso de las mismas-. Sin embargo, no ocurrió lo mismo para las condiciones de permeabilidad y reactivación del metabolismo; aunque se considera hay indicio de dichas condiciones en los modelos alcanzados por las estudiantes. Esto se puede decir con base en la idea de la alumna D, de la influencia del potencial hídrico -en la literatura especializada, existe relación entre el potencial hídrico y la permeabilidad de la semilla al agua- en el proceso de germinación. Para el caso de la reactivación del metabolismo, la alumna E hace referencia a una “*vida pasiva*” y una “*vida activa*”, lo cual podría entenderse como esa reactivación del metabolismo.

En el caso de las relaciones, sólo la absorción de agua por parte de la semilla, la ruptura de la testa y la emergencia de la radícula, del MCEA fueron relaciones alcanzadas por las alumnas en sus MCEL; aunado a ello, integraron otras relaciones -entrada de oxígeno, obtención de energía y degradación de reservas-, que si bien no son coherentes con el MCEA, están alejadas del MIE, como ya se discutió anteriormente.

Con base en las relaciones y condiciones logradas por las estudiantes durante la segunda etapa de la secuencia didáctica -en la cual predominó la actividad de experimentación-, se considera que las actividades de esta etapa, si bien ayudaron a integrar algunas de ellas, no se alcanzó el objetivo con relación a las mismas, que se había establecido. Es importante recordar en este momento, que independientemente de las actividades de la secuencia didáctica, se presentó el hecho de que al final las alumnas no pudieron cuantificar lípidos -actividad que permitiría poner a prueba el modelo de las estudiantes- y donde se esperaba que lograsen integrar algunas de las relaciones y condiciones propuestas en el MCEA. Aunado a ello, el proceso de respiración, en el cual también intervienen varias relaciones y condiciones, también pudo haber influido en el que no se alcanzaran las relaciones y condiciones del MCEA propuestas para esta etapa, tema que se abordó en apartados anteriores.

Con base en lo anterior, es posible decir que el MCEA es una guía que permite tener presentes los diferentes componentes del modelo de un fenómeno como una buena herramienta en el diseño y validación de la secuencia didáctica. Sin embargo, para el caso de este trabajo, no fue en sí mismo el MCEA el que permitió que las alumnas alcanzaran o no, los componentes propuestos del mismo. En este sentido, se considera hubo otros factores que actuaron sinérgicamente con el MCEA para el logro de los modelos alcanzados de las estudiantes. Uno de esos factores fue el hecho de ajustar la secuencia didáctica al programa del módulo donde se aplicó; ya que la estructura de dicho módulo, como se mencionó anteriormente, tiene similitud con los planteamientos de los proyectos formativos, y una de las características de dichos proyectos es que se realizan

dentro de situaciones en constante cambio, organización y valoración, por lo que se realizan ajustes y modificaciones en el transcurso de la acción (Tobón, 2005), las cuales dependían en todo momento de las necesidades surgidas en las estudiantes.

Sumado a lo anterior, para conocer las ideas que iban teniendo las estudiantes en torno a la germinación y recabadas mediante diferentes instrumentos (Instrumentos 1 a 4, en el anexo), se discutían en clase todas las respuestas dadas para algunos instrumentos, y para otros se seleccionaba una pregunta y su respuesta (en los instrumentos uno, tres y cuatro se seleccionó una pregunta y, del instrumento 2 todas, ver Cuadro 6, columna de Actividades) y también se analizaban en el aula con los alumnos. La decisión de seleccionar todas o una respuesta fue con base en la dinámica de la clase y en vías de alcanzar los objetivos establecidos en la secuencia didáctica. La selección de las respuestas debía dar pauta al debate de las ideas de las estudiantes.

Otro factor que influyó el desarrollo de la secuencia didáctica, fue el conocimiento de las concepciones alternativas que presentan los estudiantes con los que se iba a trabajar. Para el caso de este trabajo, no se contaba con información sobre las concepciones de estudiantes universitarios sobre el fenómeno de germinación. Sin embargo, por medio del análisis del cuestionario de concepciones espontáneas aplicado a las estudiantes (Anexo, Instrumento 1) con las que se trabajó la secuencia didáctica, se pudieron identificar aspectos problemáticos clave que presentaban las estudiantes en torno al fenómeno de germinación. Tal es el caso de la idea que la germinación culmina con la aparición de la planta y que en ella solo intervienen factores externos. Estos aspectos se volvieron críticos en el diseño y durante la aplicación de la secuencia didáctica, puesto que dichos aspectos, se consideraron como dificultades que presentaban las alumnas para poder explicar el proceso de germinación, en coherencia a lo que se sabe de este proceso en la literatura especializada.

Cabe recordar, que durante la primera etapa de la secuencia didáctica, se tuvo la oportunidad de trabajar con las cinco estudiantes de forma independiente

al resto de su grupo y que ellas conformaron el equipo para trabajar el tema de germinación antes de la implementación de la secuencia didáctica. Este hecho, también pudo haber ayudado desde el comienzo de la secuencia didáctica, a una mayor participación voluntaria y espontánea de las estudiantes. Con base en la experiencia profesional que se tiene trabajando con grupos de alumnos del módulo de Metodología Científica II, donde se implementó la secuencia didáctica; se puede decir que cuando los grupos son numerosos, la participación y expresión de ideas de forma voluntaria y espontánea por parte de los alumnos, a veces es limitada.

Por lo tanto se considera, que el MCEA puede ser una buena guía en el diseño de una secuencia didáctica en términos de modelos, pero no validar en sí mismo toda la secuencia didáctica, ya que no es el único factor que intervienen en el logro de los modelos alcanzados por las estudiantes, como se mencionó anteriormente. El alcance de los modelos al final de la secuencia didáctica, es atribuido a la acción conjunta de conocer de antemano las concepciones alternativas de los estudiantes sobre el tema a abordar (germinación), el diseño de la secuencia didáctica con base en el MCEA, al tipo de secuencia empleada (trabajo por proyectos), a la dinámica en la que se da la secuencia -participación de las estudiantes-, así como el interés o motivación por el tema a abordar en la secuencia didáctica por parte los estudiantes.

Capítulo 6. Conclusiones

El objetivo general de este trabajo, fue evaluar del logro del MCEA sobre germinación por estudiantes de biología, mediante una secuencia didáctica. Para lo cual se conocieron las transformaciones logradas, en términos de modelos (MCEL) por las estudiantes al final de la secuencia didáctica y se compararon con el MIE y con el MCEA, para conocer los logros y limitaciones de los MCEL de las estudiantes frente al propuesto MCEA. Además de ello, su correspondencia con la secuencia didáctica.

Con base en lo anterior, las conclusiones en términos de modelos a las que llegaron en este trabajo, son las siguientes:

- De acuerdo con el análisis realizado, las cinco estudiantes de segundo semestre de la carrera de Biología, presentan un modelo inicial generalizado del fenómeno de germinación. Dicho modelo, solo considera, dentro de la categoría de elementos, la influencia de factores externos para la germinación de una semilla -temperatura, agua/humedad, aireación/oxígeno y pH del sustrato-, así como la estructura de la corteza seminal como subelemento de la semilla. Las relaciones que establecen las estudiantes para explicar el fenómeno de germinación son aquellas que consideran que la corteza seminal de la semilla se rompe y ello da lugar a una plántula para que la semilla germine. Las condiciones que delimitan el proceso de germinación, con base en el modelo inicial de las estudiantes, son el crecimiento y la maduración. Este modelo inicial de las estudiantes, no considera la influencia de elementos y subelementos internos de la semilla, no explica la absorción de agua por parte de la semilla (imbibición), y considera que el evento que marca el fin de la germinación es la emergencia de la plántula. Con base en lo anterior y debido a que dicho modelo no permitió que las estudiantes pudieran explicar lo ocurrido durante la germinación de semillas de frijol, se considera que el modelo inicial de las estudiantes es limitado en elementos, subelementos,

relaciones y condiciones que permitan comprender y explicar el fenómeno de germinación.

- Tras el análisis correspondiente, las estudiantes de segundo semestre de la licenciatura en Biología presentaron dos modelos científicos escolares logrados -MCEL1 y MCEL2-, ambos modelos comparten elementos, subelementos, relaciones y condiciones entre sí, y con el MCEA propuesto; sin embargo, los modelos logrados por las estudiantes, difieren en lo que consideran es el evento que marca el fin de la germinación, establecido en términos de la relación de aparición de la radícula. En el MCEL 1, que comprende a cuatro de las cinco alumnas, el crecimiento de una plántula o la aparición de las primeras hojas fotosintéticas es considerado por las estudiantes como el evento final del proceso de germinación. En el MCEL2, correspondiente a una sola alumna, la emergencia de la radícula es el evento final de la germinación. Por lo que con base en dicho criterio, las alumnas alcanzaron dos modelos al final de la secuencia didáctica.
- Al final de la secuencia didáctica, las alumnas de segundo semestre de Biología, presentaron dos MCEL del fenómeno de germinación. Ambos modelos coinciden en los elementos semilla, agua, luz, oxígeno y temperatura, y en los subelementos testa, embrión, radícula, reservas nutritivas y enzimas, mismos que fueron propuestos en el MCEA. La presencia de tales elementos y subelementos en el modelo de las estudiantes, evidencia la integración de factores externos (elementos) y factores internos (subelementos) para explicar el proceso de germinación. En términos de relaciones, ambos modelos consideran la absorción de agua, ruptura de la testa y la emergencia de la radícula -presentes en el MCEA-, entrada del oxígeno, activación de las enzimas, degradación de reservas y obtención de energía -ausentes en el MCEA-. Las condiciones establecidas por las estudiantes del MCEL1 son viabilidad, sin dormición, maduración, desecación, fotoblasticidad, imbibición, respiración -presentes

en el MCEA-, crecimiento y fotosíntesis –ausentes en el MCEA-; por lo que este modelo considera que el crecimiento de una plántula es el fin de la germinación, idea alejada del modelo inicial de las estudiantes pero más cercano al científico a través del MCEA. El MCEL2 considera que el evento que marca el fin de la germinación es la emergencia de la radícula, lo cual coincide con en MCEA y lo aleja del modelo inicial de la estudiante. Por lo que se considera que las alumnas transformaron trascendentalmente su modelo inicial.

- El diseño de la secuencia didáctica que se implementó con las estudiantes de Biología de segundo semestre, permitió que las alumnas construyeran dos MCEL (1 y 2) coherentes con el MCEA sobre germinación propuesto. Sin embargo, no fue posible establecer, con base en la experiencia de la secuencia didáctica o con los instrumentos aplicados, el por qué de la construcción de dos modelos por parte de las alumnas; pues ello hubiera requerido de la aplicación de entrevistas dirigidas.

Capítulo 7. Propuestas

Con base en la experiencia de la construcción de los modelos referidos en este trabajo, considero que el establecimiento de la categoría de relaciones para cualquiera de los modelos -MIE, MCu, MC, MCEA o MCEL- necesarios para implementación de la secuencia didáctica, basada en el MCEA, requiere de suma atención, ya que éstas son las que permiten establecer con mayor precisión la interacción que puede haber entre los diferentes elementos del modelo, y lo dota de la coherencia necesaria para explicar el fenómeno, en este caso el fenómeno de germinación. En este trabajo, ocurrió que a pesar de que las alumnas alcanzaron los elementos, subelementos y algunas condiciones del MCEA propuesto, no se pudieron establecer todas las relaciones propuestas en dicho modelo. Por lo que considero que un criterio fundamental para el diseño de la secuencia didáctica, debe propiciar el establecimiento de las relaciones del modelo MCEA propuesto.

Con base en los resultados obtenidos de la aplicación de la secuencia didáctica, considero que es importante considerar para trabajos posteriores, la aplicación de encuestas dirigidas que permitan robustecer la información obtenida de los cuestionarios, ya que si bien éstos instrumentos permitieron obtener información confiable, se requiere de mayor especificidad cuando se quiere conocer lo que piensan los alumnos sobre un fenómeno determinado. Además, es probable que las entrevistas puedan potencializar la información de los cuestionarios si se elaboran después de la aplicación y análisis de los cuestionarios, para que con base en ellas se puedan hacer los ajustes necesarios a la secuencia didáctica.

Otro aspecto que podría resultar relevante, es la identificación de los procesos generales implicados en el fenómeno a ser enseñado, ya que como se mencionó en el capítulo cinco con respecto al tema de respiración, pudo resultar útil conocer previamente los modelos de respiración con que contaban los estudiantes -con base en las concepciones alternativas de los estudiantes-; ya que

en este caso, la respiración es una condición necesaria para el modelo de germinación. El conocer estos modelos, podría ayudar a comprender las diferencias entre los modelos alcanzados de los estudiantes sobre el fenómeno al final de la secuencia didáctica.

En relación también con la respiración, considero que este proceso requiere de una actividad práctica dirigida específicamente para su comprensión que permita que los estudiantes puedan percibir que la semilla respira durante la germinación, lo cual podrían ayudar al establecimiento de las relaciones del modelo de germinación relacionadas con dicha condición -el embrión activa su respiración en condiciones adecuadas de agua, luz y temperatura, el oxígeno incrementa en las células del embrión y el embrión de la semilla produce ATP durante la respiración-, que se postularon en torno a dicho fenómeno en el MCEA.

Además de lo anterior, también sería importante conocer las concepciones espontáneas de los estudiantes sobre semilla, antes de abordar temas en relación con ella, como lo es la germinación. Esto podría ayudar a entender las concepciones de los estudiantes sobre germinación, ya que existe la posibilidad de que a pesar de la educación formal que puedan tener los estudiantes, se puedan conservar o arraigar negativamente ideas en los estudiantes que presentan desde edades muy tempranas con relación a la semilla y a su germinación. Por ello, resultaría fundamental aclarar si los estudiantes universitarios conservan ideas reportadas para estudiantes de edad temprana o sus ideas se han transformado a lo largo de su educación formal.

Por otro lado, sería conveniente realizar preguntas como las planteadas por Vidal y Membiela (2013): ¿Cuándo termina la germinación de una semilla y cuándo comienza el desarrollo de la planta?, ya que este tipo de preguntas podrían obligar al estudiante a recurrir a sus ideas sobre el fenómeno e indicar momentos específicos en el ciclo de vida de una planta y con ello, poder identificar específicamente el evento que es considerado por los estudiantes como el fin de la germinación. En este sentido, también se podría plantear otra pregunta: ¿Cuándo inicia la germinación de una semilla y cuándo termina el desarrollo de la

semilla? Con este tipo de preguntas, además de identificar específicamente el inicio y término de la germinación, se pueden conocer las ideas de los estudiantes de procesos previos -la maduración o dispersión de la semilla- o posteriores -crecimiento y desarrollo de la plántula- relacionados con la germinación y el ciclo de vida de una planta. Esto también es importante en la dirección de un conocimiento integral, ya que la germinación no es un fenómeno aislado, no tendría sentido si no es visto como etapa o fase del ciclo de vida de una planta. Ello también podría ayudar a vincular las ideas con las que llegan los estudiantes, con las ideas que se pretenden ser enseñadas a cerca del fenómeno de germinación.

Aunado a lo anterior, el hecho de poder reconocer y explicar claramente y consistentemente el evento que consideran los estudiantes como el fin de la germinación es fundamental, ya que dicha idea, lleva de fondo la concepción general de los estudiantes del fenómeno germinativo. Esto se debe conocer antes y después de la secuencia didáctica. Por ejemplo, en el caso de este trabajo, los estudiantes consideran que la germinación culmina con el crecimiento de la plántula. Esta idea refleja, de alguna manera, la asociación de la germinación con el crecimiento y con la siguiente etapa del ciclo de vida de una planta -crecimiento y desarrollo de la plántula- y no con la germinación. Con base en ello, se considera que los estudiantes no comprenden lo que la teoría científica considera el fin de la germinación.

Otros aspectos a considerar a nivel universitario, pueden ser las concepciones de los estudiantes sobre los principales procesos que intervienen en el fenómeno de germinación. Es decir, sería conveniente conocer las ideas de los alumnos en relación con el crecimiento, ser vivo y/o respiración; ya que ello puede ayudar a explicar y fundamentar sólidamente las ideas en torno al fenómeno de germinación y puede ayudar en la toma de decisiones para promover el establecimiento de las relaciones que se pretendan alcanzar del fenómeno durante una secuencia didáctica.

La información con relación a las concepciones espontáneas de los estudiantes sobre qué necesita una planta para crecer, puede ayudar a aclarar el hecho de que sea posible que los estudiantes estén utilizando analogías de las necesidades de una planta para crecer a la germinación -necesidad del agua, la luz o el sustrato para la germinación-. Ya que como se recordará, de inicio los estudiantes plantean que la semilla requiere nutrientes, agua, luz y sustrato para germinar; si bien el agua y la luz influyen en la germinación de la semilla, también se ha mencionado que los estudiantes mencionan el agua, la luz o el sustrato por la experiencia que pueden tener los alumnos sembrando plantas (Jewell, 2002). Aunado a ello, también se ha reportado que la fotosíntesis también es asociada con la germinación por los estudiantes (Lin, 2004), proceso que se lleva a cabo en las plantas, pero no por las semillas durante su germinación.

A nivel licenciatura, los fenómenos que son seleccionados para su enseñanza y aprendizaje, requieren ser abordados a profundidad, debido a que el aprendizaje de dichos fenómenos por parte de los alumnos; resulta crucial para su desarrollo profesional. En este sentido, la germinación lo es para futuros biólogos. Bajo este esquema, resulta muy complejo y difícil *implementar y construir el MCEA* bajo las categorías diseñadas; es decir, es difícil acotar el fenómeno de germinación en elementos, subelementos, relaciones y condiciones como se realizó en este trabajo; debido a que esto limita en alguna medida el movimiento a lo largo de los diferentes niveles de organización biológica que se pueden requerir para la enseñanza de los fenómenos biológicos a nivel licenciatura; ya que se tienen que tomar en cuenta desde aspectos moleculares -ATP, AG, ABA- hasta aspectos de poblaciones -vida de las fanerógamas-, aspectos considerados en la disciplina pero difíciles de reflejar bajo las categorías de modelo utilizadas en esta tesis.

Por último, la implementación de la secuencia didáctica en consideración del objetivo que persigue el Módulo de Metodología Científica II -los alumnos realizarán un proyecto de investigación con base en el diseño experimental para solucionar un problema biológico-, se pudo adecuar y acotar a las etapas

establecidas por el módulo, para cumplir con los objetivos del módulo y de la secuencia didáctica, permitiendo que los alumnos pudieran desarrollar actividades experimentales en dos momentos, en la primera etapa de la secuencia didáctica -germinación de semillas de frijol- para el establecimiento del marco teórico de su proyecto y, durante la segunda etapa -germinación de semillas de Chupandilla como parte de su proyecto de investigación- correspondiente a la fase experimental. Sin embargo, no se puede dejar de lado que la secuencia se implementó solo con cinco estudiantes, y en condiciones especiales, ya que se pudo contar con espacio determinado para ello y, con cierta libertad para llevar el curso, pero los cursos regulares de Metodología Científica II, son de aproximadamente 35 alumnos por grupos, y el tema que aborden para su proyecto puede ser a veces seleccionado por los profesores -el módulo es impartido entre dos profesores- o bien por los estudiantes; por lo que llevar a cabo un trabajo como el que se realizó en esta tesis, requiere tomar en cuenta estas consideraciones.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, 40-48.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. y Jackson, R. B. (2009). *Biology*. San Francisco Pearson: Benjamin Cummings.
- Castañeda, M. (2009). La Solución: Incentivo y Limitante... En La Resolución de Problemas como Estrategia en la Enseñanza de la Biología. *Bio-grafia: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 2(3), 132-139.
- Cherubini, M., Gash, H. y McCloughlin, T. (2008). The DigitalSeed: an interactive toy for investigating plants. *Journal of Biological Education*, 42(3), 123-129.
- Diversidad Vegetal II. (s.f.). Recuperado el 6 de abril del 2013, de http://biologia.iztacala.unam.mx/anterior/a_a/diversidad_vegetal_2.pdf
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las Ciencias. Importancia de las Teorías y su desarrollo*. Madrid, España: Narcea.
- Finch-Savage, W. E. y Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171, 501-523.
- García, M. R. (2013). *La construcción de un modelo científico escolar del crecimiento de las plantas en relación con la transformación de energía mediante una intervención didáctica* (Tesis de maestría inédita). Universidad Pedagógica Nacional, Distrito Federal, México.
- Giere, R. N. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 9-13.
- Giere, R. N. (1999b). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 63-70.

- Gómez, G. A. A. (2011). La enseñanza de la biología en educación básica: Modelización y construcción de explicaciones multimodales. *Bio-grafía Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*. Edición Extra-Ordinaria, 521-532.
- Izquierdo, A. M. (2005). Hacia una teoría de los conocimientos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar Ciencias, una nueva Ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias. Número extra*, 79-92.
- Jaramillo, S. y Baena, M. (2000). *Material de apoyo a la Capacitación en Conservación Ex situ de Recursos Fitogenéticos*. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Jewell, N. (2002). Examining Children's Models of Seed. *Journal of Biological Education*, 36(3), 116-122.
- Jones, R., Ougham, H., Thomas, H. y Waaland, S. (2013). *The molecular life of plants*. American Society of Plant Biologists.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de las Ciencias basada en Modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Kigel, J. y Galili, G. (1995). *Seed development and Germination*. New York, E.U.A.: Marcel Dekker. Inc.
- Lesh, R. y Doerr, H. M. (2003). Foundations of a Models and Modeling Perspective on Mathematics Teaching, learning, and problema Solving. En R. Lesh y H. M. Doerr (Eds.), *Beyond Constructivism, Models and Modeling Perspectives on Mathematics Problem Solving, Learning and Teaching* (pp.8-10). Mahwah, New Jersey, London: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers (LEA).

- Leubner, G. (2012). *The Seed Biology Place*. Recuperado el día 3 de junio del 2013, de www.seedbiology.de
- Levins, L. y Pegg, J. (1993). Students' understanding of concepts related to plant growth. *Research in Science Education*, 23, 165-173.
- Lin, S.-W. (2004). Development and application of a two-tier diagnostic test for high school students' understanding of flowering plant growth and development. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2, 175-199.
- López-Mota y Moreno-Arcuri, (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación. *Bio-Grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 1-25.
- López-Mota, A. y Rodríguez-Pineda., D. (2013). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *Enseñanza de las Ciencias, Número extra*, 2008-2013.
- Martínez, G. M. (2013). Las angiospermas. En G. J. Márquez, O. M. Collazo, G. M. Martínez, S. A. Orozco y S. S. Vázquez (Eds.), *Biología de las angiospermas* (pp. 4-9). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Márquez, G. J. (2013). Semilla. En G. J. Márquez, O. M. Collazo, G. M. Martínez, S. A. Orozco y S. S. Vázquez (Eds.), *Biología de las angiospermas* (pp. 137-149). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mendoza, H. M. N. (2013). *Estrategia didáctica para la construcción de un modelo científico escolar sobre movimiento con alumnos de secundaria* (Tesis de maestría inédita). Universidad Pedagógica Nacional, Distrito Federal, México.
- Metodología Científica II. (s.f.). Recuperado el 21 de octubre del 2012, de http://biologia.iztacala.unam.mx/anterior/a_a/metodologia_cientifica_2.pdf
- Morfofisiología Vegetal. (s.f.). Recuperado el 06 de abril del 2013, de http://biologia.iztacala.unam.mx/anterior/a_a/morfofisiologia_vegetal.pdf

- Moreno, A. G. (2010). *Construcción de modelos escolares, en un grupo de primero de secundaria, acerca de la fermentación* (Tesis de maestría inédita). Universidad Pedagógica Nacional, Distrito Federal, México.
- Öpik H. y Rolfe, S. A. (2005). *The physiology of flowering plants*. (4^a). Cambridge: University Press.
- Orozco, S. A. y Sánchez, C. M. E. (2013). Concepto e importancia. En G. J. Márquez, O. M. Collazo, G. M. Martínez, S. A. Orozco y S. S. Vázquez (Eds.), *Biología de las angiospermas* (pp. 212). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Orozco, S. A. y Sánchez, C. M. E. (2013). La germinación. En G. J. Márquez, O. M. Collazo, G. M. Martínez, S. A. Orozco y S. S. Vázquez (Eds.), *Biología de las angiospermas* (pp. 219-222). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Orozco, S. A. y Sánchez C. M. E. (2013). Quiescencia y latencia. En G. J. Márquez, O. M. Collazo, G. M. Martínez, S. A. Orozco y S. S. Vázquez (Eds.), *Biología de las angiospermas* (pp. 223-232). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pfundt, H. y Duit, R. (2009). Bibliography – Students' Alternative Frameworks and Science Education.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C. y Job, D. (2012). Seed Germination and Vigor. *Annu. Rev. Plant Biol*, 63, 507-533.
- Reece, J. B., Taylor, M. R., Simon, E. J. y Dickey, J. L. (2012). *Campbell Biology, Concepts & Connections* (7^a). San Francisco, C A: Pearson.
- Rodríguez, P. D. P., Izquierdo, A. M y López, V. D. M. (2011). ¿Por qué y para qué enseñar ciencias? En L. F. G. Rodríguez y N. G. García (Eds.). *Las Ciencias Naturales en la Educación Básica: formación de ciudadanía en el siglo XXI* (13-33pp). México: Secretaría de Educación Pública.
- Rovira, P. y Sanmartí, N. (2006). La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos. En M. Quintanilla y A. Adúriz-Bravo (Eds.) *Enseñar*

ciencias en el nuevo milenio: retos y desafíos. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Salgado, J. G. I. (2012). *Construcción de modelos escolares sobre evolución biológica: una estrategia didáctica sustentada en la modelización* (Tesis de maestría inédita). Universidad Pedagógica Nacional, Distrito Federal, México.

Sanmartí, N. (2002). Enseñar ciencias en los inicios del siglo XXI. En N. Sanmartí, *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria* (pp.11-29) Madrid, España: Síntesis Educación.

Sigüenza, A. y Sáez, M. (1990). Análisis de la resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la Biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 223-230.

Schwartz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. doi: 10.1002/tea.20311

Tamayo, A. O. E. (2009). *Didáctica de las Ciencias: la evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales, Colombia: Editorial Universidad de Caldas.

Tamayo, M. y González, F. (2003). Algunas dificultades en la enseñanza de la histología animal. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(2), 177-200.

Tirado, S. F. y López, T. A. (1994). Problemas de la enseñanza de la Biología en México. *Perfiles Educativos*, 66, 51-57.

Tobón, T. S. (2006). *Formación basada en competencias. Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.

Vidal, M. y Membiela, P. (2013). On teaching the scientific complexity of germination: a study with prospective elementary teachers. *Journal of Biological Education*, 2-6. doi: 10.1080/00219266.2013.823881.

Weitbrecht, K, Müller, K. y Leubner-Metzger, G. L. (2011). First off the mark: early seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 62(10), 3289–3309.

Yip, D. Y (1997). A lesson learnt from the apple. *Australian Science Teachers Journal*. 43, (2), 461-477.doi: 10.1080/0950069980200406

Anexo

Protocolo de investigación

Evaluación del efecto de la escarificación mecánica sobre la dormición física que inhibe la germinación en *C. procera*

Autoras: Arriaga, L. L. A., Camacho, G. D. L., Franco, A. S., Montoya, B. K. y Varona, V.T.

Introducción

La germinación es un fenómeno, en el cual se producen cambios en una semilla para que el embrión pase de la vida latente a la vida activa, esto para que brote la radícula y comience a crecer una plántula. Cuando una semilla germina, su contenido nutricional disminuye favoreciendo el crecimiento del embrión. En cuanto la semilla entra en contacto con el agua, oxígeno, temperatura, luz, reactiva su metabolismo para que pueda germinar.

La imbibición es cuando una semilla entra en contacto con agua, el cual es absorbido en un lapso de 24 a 36 horas (García, 2006), mediante el potencial hídrico se embebe la semilla, permitiendo la rehidratación y así reactivar su metabolismo, por esta razón es importante la presencia de agua para iniciar la germinación.

Otro factor primordial para la germinación es la presencia de oxígeno, ya que después de que la semilla se ha embebido necesita la entrada de oxígeno al embrión, junto con la reserva nutrimental (endospermo o cotiledones) de la semilla genera energía (ATP) para la reactivación de su metabolismo (García, 2009).

La temperatura también es un factor importante, ya que uno de sus principales efectos sobre la germinación, es su capacidad para influir sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas, por ejemplo la degradación de lípidos, proteínas, carbohidratos que ocurren en la semilla tras su

rehidratación (Courtis, 2013), por lo tanto es de gran importancia la presencia de temperatura en el proceso de germinación.

La luz es un factor indispensable para las semillas que son fotoblásticas positivas ya que solo germinan bajo condiciones de luz, también existen semillas fotoblásticas negativas las cuales germinan en oscuridad y las semillas no fotoblásticas, que germinan ya sea en luz u oscuridad (Pérez, 2009).

La presencia de agua, luz, oxígeno y temperatura son trascendentales para la germinación, también es indispensable que la semilla sea viable y no presente dormición.

La dormición es a veces una desventaja para las semillas ya que es el estado en el cual una semilla viable y madura (al desprenderse de la planta madre, presentando madurez fisiológica y morfológica) no puede germinar aunque las condiciones externas (temperatura, humedad, oxígeno, etc.) sean las adecuadas para su germinación. Existen diferentes tipos de dormición, entre ellas la fisiológica que es cuando intervienen diferentes mecanismos que se localizan principalmente en el embrión (embriones inmaduros y presencia de ácido abscisico que inhibe la germinación), otro tipo es la dormición física que es cuando la testa de la semilla es impermeable al agua y/o gases, ya sea por su constitución (testa cerosa) o por poseer una testa gruesa que impiden que emerja la radícula (Courtis, 2013), por ejemplo las leguminosas y algunas plantas de la familia Anacardiaceae, Geranaceae, etc; son semillas que tienen una cubierta impermeable (dormición física) (Camacho, 1994).

La Chupandilla (*Cyrtocarpa procera*) originaria de México, se distribuye en los estados de Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Puebla, (Servia, Tuxill, Jarvis. 2004). *C. procera* es una especie arbórea que pertenece a la familia Anacardiaceae.

Según (Aguilar, 2004). *C. procera* es una árbol de 6 metros de alto, su fruto es pubescente de 2 cm de largo es comestible con sabor acido, la semilla es el lóculo mas grande, oblonga, ligeramente reniforme, su testa es de color café con manchas de color café oscuro, es una semilla dicotiledónea de 7-8 mm de largo y

de 2-3 mm de ancho, es una semilla ortodoxa (soporta temperaturas muy elevadas o muy bajas y tiene poca reserva de agua), su radícula llega a medir aproximadamente 2mm de largo (Aguilar, 2004).

De acuerdo con (Martínez, 2011). *C. procera* además ser un alimento se usa comúnmente, en el estado de México para curar trastornos del aparato digestivo tales como la diarrea rebelde y disentería. La corteza también se utiliza junto con Cuachalalate (*Juliana adstringens*) para lavar heridas o llagas y lograr una cicatrización más rápida. En Nayarit administrarla vía oral se usa para quitar el dolor de cintura, en Michoacán se recomienda masticarla para aliviar el dolor de muela, otros usos medicinales que tiene *C. procera* es disminuir la fiebre, se utiliza como gastroprotector y contra la lepra (Boletín UNAM, 2013).

En nuestro país las enfermedades infecciosas intestinales y gastrointestinales ocupan una alta mortandad en la población. La especie *C. procera* que presenta propiedades medicinales puede ser utilizada para contrarrestar este problema, más sin embargo esta especie solo se reproduce por medio de esquejes, perdiendo su variabilidad genética, evitando su adaptación y evolución de la misma, es por esto que es de gran importancia estudiar su reproducción por semilla ya que tiene problemas en su germinación, al presentar dormición física por tener una testa dura o gruesa (Ramírez, 1991). La dormición física se pierde cuando el agua penetra en la semilla, es decir, debe desaparecer la impermeabilidad de la testa (Camacho, 1994). Como tratamiento pregerminativo para inhibir la dormición en la testa de *C. procera* se pretende utilizar escarificación, como se menciona antes es un tratamiento pregerminativo utilizado regularmente para inhibir la dormición en la testa de una semilla, existen dos tipos de escarificación, la química que consiste en remojar las semillas por periodos breves de 15 min a 2 horas en compuestos químicos (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, etc.), la escarificación mecánica de lotes pequeños de semillas se hace frotándolas con papel lija, apretándolas con tenazas, con un cautín, tornillos de banco, martillo o con una aguja.(Camacho, 1994)

Por lo tanto se pretende utilizar el método de escarificación mecánica para poder inhibir la dormición física que presenta la semilla de *C.procera* y cómo afecta en la su germinación.

Antecedentes

Según Xiaojie, Barskin, BarskiN, 1999. Mencionan que la semilla shrubs *Rhus aromatic* de la familia Anacardiaceae, presenta una semilla con madurez fisiológica pero presenta dormición física (permeabilidad en su testa).

En el artículo de Dorneles, Ranal y Santana (2005). Se menciona que la semilla *Myracrodruon urundeuva* de la familia Anacardiaceae se utilizó estratificación con temperatura por 6 días la cual mostro una germinación más rápida y arriba del 60%.

De acuerdo con León–Lobos, Kalin-Arroyos, (1994) que trabajaron con la semilla de *Lithrea caustica* de la familia Anacardiaceae las semillas comenzaron a germinar a partir del día 13 y se obtuvo una germinación del 34% en condiciones de fotoperiodo 12/12, temperatura 25 °C.

Se realizó un experimento con la semilla *Schinus molle L.*, de la familia Anacardiaceae, sujeta a los siguientes tratamientos i) semillas con el exocarpio intacto. ii) Semillas a las cuales se les removió el exocarpio iii) semillas que pasaron por el tracto digestivo de las aves. Las pruebas de germinación indican que aquellas semillas que se les removió el exocarpio germinan más rápidamente que las semillas intactas. (Corkidi, Cacho, Búrquez 1991)

Hipótesis

Si la semilla de *Cyrtocarpa procera* es una semilla que presenta dormición física y la escarificación mecánica funciona para inhibir la dormición en las semillas con tegumentos impermeables al agua y/o gases, permitiendo que se embeban mediante potencial hídrico y así reactivar su metabolismo permitiendo la entrada de oxígeno para que la semilla pueda respirar y producir la energía (ATP) necesaria para mantener las actividades metabólicas que activaran las enzimas

que degradaran los lípidos de reserva en la semilla, entonces se espera que la aplicación de escarificación mecánica en la testa de *C.procera* inhiba la dormición en ella.

Objetivos

General

- Evaluar el porcentaje de germinación de *C. procera*

Particulares

- Determinar qué tipo de escarificación mecánica favorece la germinación de *C.procera*.
- Medir y comparar el contenido de lípidos en la semilla *C. procera* antes y después de la germinación.
- Conocer el porcentaje de agua absorbida en el proceso de imbibición en la semilla de *C. procera*.

Materiales y Métodos

Se obtuvieron 48 semillas *Cyrtocarpa procera*, divididas en dos lotes de 24 semillas las cuales fueron recolectadas en los años 2009 y 2013 por el banco de semillas de la facultad de estudios superiores Iztacala, UNAM, en la comunidad de San Rafael Tehuacán, Puebla.

Pruebas de Germinación

Se realizará una prueba de flotación en agua con las semillas de *C. procera* para estimar de forma indirecta la viabilidad de las semillas (Bonfil-Sanders, Cajero-Lázaro y Evans, 2002), las semillas se desinfectaron por inmersión en hipoclorito de sodio al 10% (10 min). Se colocaran en cajas Petri de 9 cm con papel Whatman # 1, con un riego de agua destilada 5ml cada tercer día, a temperatura constante de 25°C con un Fotoperiodo de 12h/12h. En cada caja petri se colocaran 2 semillas de *C. procera* una del año 2009 y otra del 2013.

Tratamiento 1: Escarificación mecánica I: Se utilizará un cautín o quemador incandescente, se perforará la testa con 2 y 4 orificios con 4 repeticiones cada una. Escarificación mecánica II: Lija del número 100 y 500 con cuatro repeticiones cada una (Bonfil-Sanders, Cajero-Lázaro y Evans, 2002). Cada tratamiento consiste en 4 réplicas con 2 semillas y un control de 4 repeticiones (sin escarificación mecánica).

Escarificación mecánica

Se utilizaran dos tipos de escarificación para la semilla de *C. procera*, el cautín o quemador incandescente el cual consiste en que la punta del cautín (o cualquier punta de una varilla de hierro al rojo incandescente) toca la testa por medio segundo, se hace un pequeño agujero y algunas pequeñas rajaduras se hacen en la capa exterior impermeable de la testa de la semilla. Es particularmente adecuado para pruebas de semillas. Este método es preciso y fácil se puede replicar y alcanza el 100% de escarificación y se puede determinar el máximo potencial de capacidad germinativa. (Pouslen y Finn, 1999). Para la escarificación mecánica con lija se utilizará una lija del no. 100 y 500, se realizará manualmente en lapsos de 40s por semillas (Bonfil-Sanders, Cajero-Lázaro y Evans, 2002).

Durante 15 días se anotará diariamente el número de semillas germinadas (observando la presencia de la radícula 2 mm), para evaluar el porcentaje de germinación de *C. procera* por medio de un análisis estadístico.

Agua absorbida durante la imbibición

Antes de embeber a las semillas de *C. procera* se medirá su peso individual (peso inicial), después de colocar en cajas de petri y que se embeban las semillas se medirá la absorción de agua en periodos de 12 horas por 5 días. Después de cada intervalo se pondrán las semillas en papel suave libre de pelusas, se pesaran individualmente y una vez hecho esto se regresaran a las cajas petri. Con estos datos se calculara el porcentaje de agua absorbida desde su peso inicial (Li, Baskin and Baskin. 1999).

Extracción de lípidos

Se utilizará el Método de Bligh-Dyer para la cuantificación de lípidos en la cual se utilizarán 8 semillas de *C. procera* 4 de la colecta del 2009 y 4 del 2013, se cuantificarán lípidos solamente de 2 semilla de la colecta del 2009 y 2 del 2013 sin escarificación y se cuantificarán lípidos después de haber aplicado escarificación a 2 semillas de la colecta del 2009 y 2013.

El método de Bligh-Dyer así como su modificación por Hanson y Olley proporcionará un método rápido para la extracción de lípidos de tejidos y productos alimenticios que contienen una cantidad significativa de agua. El método se basa en la homogenización de la muestra con cloroformo, metanol y agua en proporciones tales que se forme una sola fase miscible con el agua de la muestra. Al añadir alícuotas de cloroformo y agua se logra la separación de fases. El material lipídico se encuentra en la fase no acuosa, mientras que el material no lipídico se encuentra en la fase acuosa. Los lípidos se pueden extraer de dos gramos de muestra seca hasta veinte gramos de muestra húmeda. El contenido de agua de la muestra se ajusta a dieciséis mililitros para conservar la proporción de cloroformo, metanol y agua la cual es esencial si se pretende una separación de fases y una extracción cuantitativa de lípidos. La ventaja de este procedimiento es que las etapas de filtrado y lavado son eliminadas (Arreola, 2012).

En la siguiente tabla se muestra los elementos del diseño experimental antes mencionado.

Control	Semillas sin escarificación
Niveles de factor	Tratamiento 1: 2, 4 agujeros. Tratamiento 2: lija de no.100 y no.500
Población objetivo	<i>Cytocarpa procera</i>

Variable dependiente	Porcentaje de germinación, Porcentaje de agua absorbida durante la imbibición Cantidad de lipidos en la semilla
Variable independiente	Escarificación mecánica
Variabes control	Temperatura, Agua destilada, Fotoperiodo 12h/12h
Unidad Experimental	Caja de Petri de 9cm con papel filtro Wathman #1 con 2 semillas
Tratamientos	2 Tratamientos de escarificación mecánica
Repeticiones	4
Criterios de inclusión	No habrá criterios de inclusión solo prueba de flotación para verificar su viabilidad.

REFERENCIAS

- Aguilar, S.R.2004. Catálogo de plantas reportadas como parte de la dieta de la guacamaya verde (en la región de cañada oaxaqueña), Instituto Politécnico Nacional, p.p 1.
- Arreola Navarrete Julio C. , 4 de Junio del 2012 , Métodos de Extracción y Cuantificación, Determinación de Grasas , <http://carnestercerparcial.blogspot.mx/2012/06/los-lipidos-junto-con-las-proteinas-y.html>
- Boletín- UNAM-DGCS-435.19 DE Julio 2013

- Bonfil-Sanders, C. Cajero-Lazaro y Evans, R.Y. 2008. Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. México. Agrociencia. 42(7).p.p.827-834.
- Camacho, M.F. 1994. Dormición de semillas, causas y tratamientos. Edi. Trillas.p.p.25,34, 36
- Corkidi Lea , Cacho Sonia, Búrquez Alberto ,1991, Dispersión del pirú (*Schinus molle* L., Anacardiaceae) por aves en Teotihuacán, México , Acta Botánica Mexicana, Instituto de Ecología, A.C. México, núm. 15, p.p. 17-22
- Courtis. A.C.2013. Guía de estudio. Germinación de semillas, cátedra de fisiología vegetal. UNNE. FaCENA. P.p.9,14,15,19
- Dorneles, C.M, Ranal M. A. Santana D. G.2005. Germinação de diásporos recém-colhidos de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) ocorrente no cerrado do Brasil Central. Revista Brasil.28(2). P.p. 399-408.
- García, B.F.J. 2009 Germinación y dormición de semillas material vegetal de reproducción: manejo, conservación y tratamiento. pp. 185.
- García, B.J.2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Edi. Universidad politécnica de Valencia. p.p 167
- Li, X, Barskin, M.J. and Barskin, C.C. 1999. Comparative morphology and physiology of fruit and seed development in the two shrubs *Rhus aromatic* and *RE. Glabra*(Anacardiaceae). American journal of botany. 86(9). P.p. 1218
- Li, X, Barskin, M.J. and Barskin, C.C. 1999. Physiological dormancy and germination requirements of seeds of several north American *Rhus* species (Anacardiaceae).Seed science research. 9. p.p. 237-245
- León-Lobos, P.M. Kalin-Aroyo, M.1994. Germinación de semillas de *Lithrea caustica* (MOL.) H.et A.(Anacardiaceae) dispersas por *Pseudalopex*

spp.(Canidae) en el bosque esclerófilo de Chile central. Revista Chilena de historia natural. 67.p.p.59-64

- Martínez-Elizalde K. S. , 2011 Mexico Distrito Federal , Tesis Propiedades Nutraceuticas del fruto *Cyrtocarpa procera* Kunth, Escuela Superior de Medicina , Instituto Politécnico Nacional. pp 64.
- Pérez, F.R.2002. Germinación y dormición de semillas. Universidad de Colombia.
- Pouslen M. Karen y Finn Stubsgaard, 1999, Técnicas para la escarificación de semillas forestales/ Centro Agronómico Tropical de investigación y enseñanza proyectos de semillas forestales, Turrialba C.R. CATIE PROFESOR, DANIDA Forest Seed Centre, p.p 38- 45.
- Servia-Chavez J.L Tuxill J. y Jarvis D.I., 2004, Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales, Instituto Internacional de Recursos Fitogeneticos, Cali Colombia, pp 100.

Elementos del informe de investigación

El informe solicitado a las estudiantes tenía que cubrir los siguientes aspectos:

- Portada: Nombre de la institución donde se realizó el trabajo, título del proyecto de investigación, autores y grupo.
- Introducción
- Antecedentes directos para la investigación
- Objetivos: generales y particulares.
- Materiales y métodos: narración del procedimiento seguido para llevar a cabo el diseño experimental planteado, así como el material, técnicas utilizadas y análisis estadístico a realizar.
- Resultados: análisis y descripción de los resultados obtenidos de la fase experimental, la cual debe incluir gráficas, tablas y/o figuras necesarias para expresar dichos resultados.
- Discusión de los resultados: se explica el porqué de los resultados obtenidos en contrastación con la literatura revisada y los antecedentes directos.
- Conclusiones
- Referencias

Instrumentos aplicados durante la secuencia didáctica

Instrumento 1.

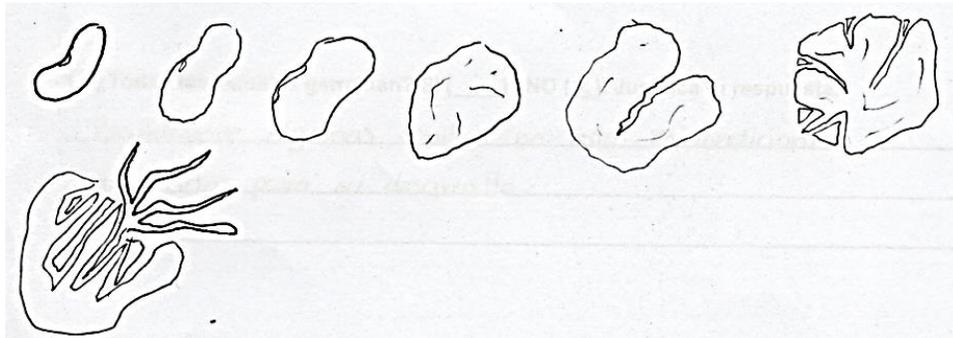
Esta actividad tiene como finalidad que conozcas que sabes acerca de la germinación. Por tal motivo, es importante que utilices todo el espacio que se te proporciona para las respuestas.

a) ¿Qué consideras que es la germinación?

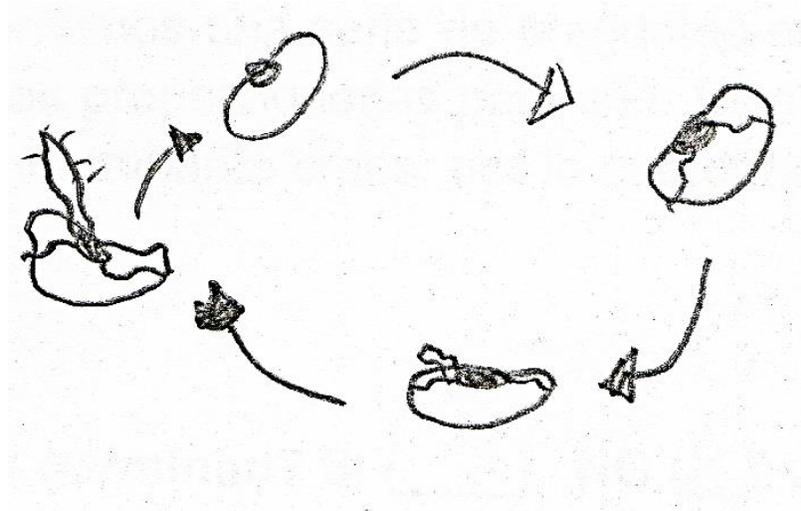
b) ¿Cuáles crees que son los principales factores que afectan la germinación?

Con base en los siguientes dibujos de tus compañeros, contesta las preguntas que se te plantean.

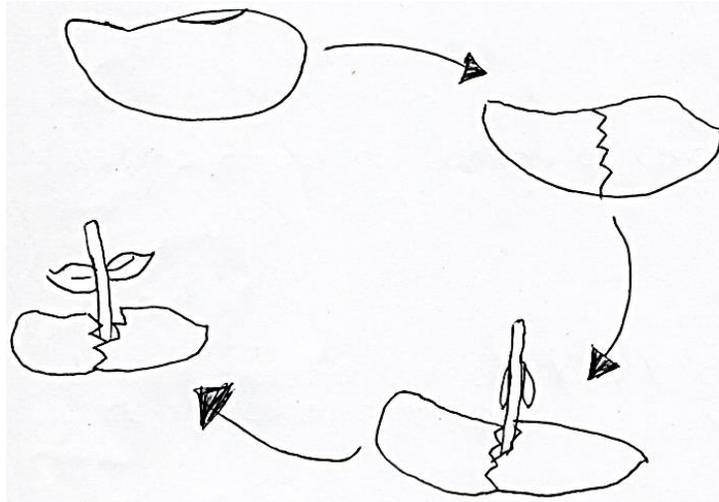
I)



II)



III)



c) ¿Estás de acuerdo con la representación I) de tu compañero a cerca de la germinación?

SI () NO (). Justifica tu respuesta.

d) ¿Estás de acuerdo con la representación II) de tu compañero a cerca de la germinación?

SI () NO (). Justifica tu respuesta.

e) ¿Estás de acuerdo con la representación III) de tu compañero a cerca de la germinación?

SI () NO (). Justifica tu respuesta.

f) ¿Podrías mejorar la representación? SI () NO () ¿Cómo?

g) ¿Es posible inferir algunas características de las semillas a partir de los dibujos?

SI () ¿Cuáles? NO (). Justifica tu respuesta.

h) Para poder dar respuesta el inciso c, ¿Qué proceso seguiste?

Instrumento 2.

Nombre: _____

Fecha: _____

Juan es un estudiante de la asignatura de Metodología Científica II, y en un examen, le han solicitado que con base en los siguientes ejemplos: el del día y la noche, ciclo de vida de una planta, el ciclo del agua, el desarrollo del ser humano y la digestión de los alimentos, justifique porque cada uno de ellos podría ser un ciclo. Escribe cómo podría Juan justificar el por qué son o no son ciclos. Para la justificación, utiliza todo el espacio que se te proporciona para ello.

- El día y la noche

Justificación

- Ciclo de vida de una planta:

Justificación

- Ciclo del agua:

Justificación

- Desarrollo del ser humano:

Justificación

- La digestión de los alimentos:

Justificación

Instrumento 3.

Después de revisar la información con relación al ciclo de vida de las fanerógamas (angiospermas y gimnospermas), se solicita contestes lo siguiente:

a) ¿Es posible establecer alguna relación entre la germinación y el ciclo de vida de las fanerógamas? SI () NO (). Justifica tu respuesta.

b) ¿Crees que ha cambiado tu idea de germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.

c) ¿Por qué crees que es importante la germinación?

Instrumento 4.

Nombre: _____

Fecha: _____

Analiza las siguientes ideas de algunos de tus compañeros a cerca de la germinación de las semillas, y da las razones por las cuales estás o no de acuerdo con dichas ideas.

Idea 1

La germinación es cuando la semilla se encuentra en el desarrollo para que esta pueda madurar y se llegue a convertir en una planta adulta, pero para que se dé la germinación, la semilla debe de tener la temperatura, humedad, pH, sustrato y aireación

Idea 2

La germinación es el proceso mediante el cual la planta da sus primeros pasos, dónde se encuentra con todos los elementos que lo rodean y que esta usa para su desarrollo

Idea 3

La germinación es un proceso a través del cual las plantas con semillas continúan su descendencia garantizando la permanencia como especies, ocurre mediante procesos de división celular en la semilla producido por la acción de agentes externos del medio.

a) ¿Estás de acuerdo con las idea uno? SI () NO ().

Las razones que apoyan mi elección son:

b) ¿Estás de acuerdo con las idea dos? SI () NO ().

Las razones que apoyan mi elección son:

c) ¿Estás de acuerdo con las idea tres? SI () NO ().

Las razones que apoyan mi elección son:

Instrumento 5.

Nombre: _____

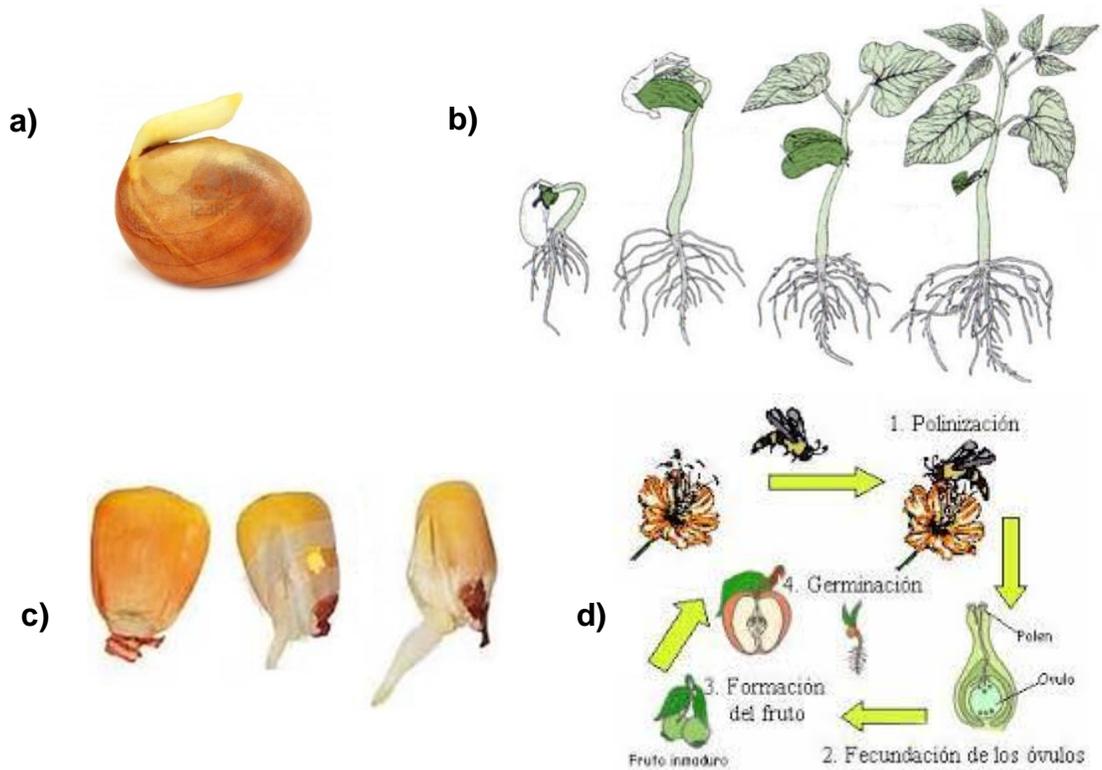
Fecha: _____

Después de haber tenido la experiencia de trabajar en un proyecto de investigación sobre germinación de semillas, efectúa las acciones que se te solicitan sobre dicho fenómeno.

1.- Realiza un dibujo en el que expreses integres todos los elementos y procesos implicados en el fenómeno de germinación que conoces hasta este momento.

2.- Imagina que te encuentras en la siguiente situación: debes explicar a Carlos, un alumno de segundo año de bachillerato, el concepto de germinación de las semillas. Carlos sólo sabe que el frijol germina cuando ve una “plantita” con dos hojas verdes, porque es la experiencia que recuerda de la primaria. Para superar esta visión de la germinación, escribe la explicación que le darías a Carlos con la información que ahora tú sabes del fenómeno de germinación de las semillas.

3.- Alejandra es una estudiante de segundo semestre de la carrera de Biología y el día de mañana realizará una práctica sobre geminación. Para ello, el profesor le ha solicitado que lleve a la clase una imagen en la cual se represente el proceso de germinación de las semillas. Alejandra buscó en google imágenes sobre germinación y algunas de las imágenes que le arrojó la búsqueda son las siguientes:



¿Qué imagen le recomendarías a Alejandra que lleve a su práctica de laboratorio?
 ¿Por qué?

4.- Si en este momento realizaras un examen sobre el tema de germinación de semillas, y se evaluara de uno a diez, ¿cómo consideras sería tu resultado?
 Justifica el porqué de tu apreciación.

5.- Si en la pregunta anterior tu nota no es la mejor, ¿Qué aspectos consideras son los que dificultan obtener un resultado más satisfactorio? ¿Cómo lograrías superar esas dificultades y lograr mejores conocimientos?

6.- A continuación se te presentan dos definiciones sobre el fenómeno de germinación de semillas; léelas detenidamente:

Definición 1

La germinación es el proceso mediante el cual se va fecundar o evolucionar una semilla dando lugar a que ésta realice su proceso de crecimiento. Los principales factores que afectan la germinación son la temperatura, humedad, aireación y pH del sustrato.

Definición 2

La germinación de las semillas es un proceso fisiológico complejo que comienza con la absorción de agua por imbibición de la semilla deshidrata, seguida por la expansión del embrión. Bajo condiciones favorables, el crecimiento rápido del embrión, culmina en la ruptura de las capas de la semilla y emerge la radícula. La emergencia de la radícula es considerada como el fin de la germinación. Además de los requerimientos básicos de agua, oxígeno y temperatura apropiada la semilla también es sensible a la luz en el proceso de germinación

¿Estás de acuerdo con la definición 1? SI () NO (). Justifica tu respuesta.

¿Estás de acuerdo con la definición 2? SI () NO (). Justifica tu respuesta.

7.- El día de hoy, te enteras que están solicitando alumnos de la carrera de Biología para trabajar en el Banco de Semillas de la FES-Iztacala. Los requisitos que te solicitan son los siguientes:

- Haber realizado algún trabajo en la carrera relacionado con semillas.
- Ser mayor de 18 años.
- Presentar una propuesta experimental para resolver lo siguiente:

En el Banco de semillas pusieron a germinar unas semillas bajo condiciones estándares de germinación (25°C, fotoperiodo 12/12 y en cajas Petri con agar) por un periodo de tres meses. Al término de este periodo, ninguna de las semillas había germinado. Por lo anterior, decidieron realizar una prueba de viabilidad a las semillas en la cual el 90% de los embriones fue viable. Las semillas son de una planta de la familia Asteraceae de zonas áridas de México, pero existe poca información acerca de su Biología.

¿Qué experimento propondrías que permitiera conocer el proceso de germinación de estas semillas y que tuviera alta probabilidad de germinación?

Criterios solicitados para la redacción de un informe de laboratorio

Cuadro 1

Criterios para la redacción de un informe de laboratorio (modificado de Sanmartí, 2002).*

REDACCIÓN DE UN INFORME DE UNA EXPERIENCIA DE LABORATORIO	
Acciones que debo hacer	Estará bien hecho si...
1.- Escoger un título para el informe	1.1 está de acuerdo con la experiencia 1.2 resume el objetivo principal 1.3 es sugerente ¹ .
2.- Plantear una introducción	2.1 explica el fenómeno que se abordó en la experiencia. 2.2 está en un contexto de justificación 2.3 los párrafos son cortos, preciso ² y concisos ³ 2.4 contiene citas 2.5 es coherente
3.- Plantear la (s) hipótesis	3.1 se indican las variables dependiente e independiente 3.2 se indican las variables que se controlan 3.3 se redactan utilizando la forma : "Si....., entonces....."
4.- Identificar el principal objetivo	4.1 está de acuerdo con las finalidades del trabajo realizado 4.2 es específico 4.3 empieza con un verbo
5.- Describir el procedimiento seguido	5.1 indica todos los materiales y los métodos correctamente 5.2 está de acuerdo a la(s) hipótesis 5.3 tiene un orden coherente con la experiencia. 5.4 se describen los diferentes pasos en párrafos separados. 5.5 los párrafos son cortos, preciso y concisos

	5.6 se acompaña de esquemas (diagrama de flujo).
6.- Redactar los resultados	6.1 incluye las observaciones y los datos obtenidos 6.2 se ajustan con relación a la variable independiente. 6.3 se utilizan cuadros, gráficas o esquemas 6.4 se visualizan fácilmente. 6.5 incluyen observaciones sobre aspectos divergentes u otros. 6.6 se permite visualizar y llegar a conclusiones en relación con la(s) hipótesis planteada(s).
7.- Discutir los resultados	7.1 contrasta los resultados con la(s) hipótesis 7.2 explica los resultados obtenidos con base en la literatura. 7.3 se diferencian las interpretaciones personales de las que son aceptadas científicamente. 7.4 en la redacción se utilizan los términos científicos adecuados y sin errores. 7.5. contiene citas 7.6 tiene un orden coherente con la experiencia. 7.7 los párrafos son cortos, preciso y concisos
8.- Redactar las conclusiones	8.1 responden a la(s) hipótesis y resultados obtenidos. 8.2 corresponden a la experiencia realizada 8.3 son claras, cortas, precisas y concisas
9.- Elaborar la lista de referencias	9.1 si tiene concordancia con las citas hechas en el texto 9.2 la lista tiene un orden (alfabético o por aparición) 9.3 cada referencia tiene un orden y cuenta con todos los elementos necesarios para su localización.
10.- Revisar el texto elaborado	10.1 contiene una portada 10.2 se comprueba que una persona que no ha hecho el experimento puede repetirlo. 10.3 la presentación permite leer fácilmente el texto. 10.4 la puntuación y la ortografía son correctas

* Sanmartí, N. (2002). Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria. Editorial Síntesis. Madrid, España. p223.

1.- Sugerente: Que provoca ideas, que resulta atrayente.

2.- Preciso: Conveniente, que resulta necesario para un fin determinado.

3.- Conciso: Que expresa las ideas con claridad y las menos palabras posibles.

Cuadros con las interpretaciones hechas de las respuestas de las estudiantes al instrumento 1 y los modelos iniciales de cada estudiante derivados de ellos

Cuadro 2

Preguntas y respuestas de la estudiante B al instrumento aplicado para conocer sus concepciones espontáneas sobre el fenómeno de germinación al inicio la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general con base en ellas.

Pregunta	Respuesta	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
¿Qué consideras que es la germinación?	<i>Es el proceso mediante el cual se da el “crecimiento” de una semilla a través de varios procesos de absorción y síntesis de nutrientes.</i>	La germinación es cuando una semilla crece por medio de procesos de absorción y síntesis de nutrientes.	La germinación es cuando una semilla crece por medio de procesos de absorción y síntesis de nutrientes; la semilla rompe/abre su capa protectora (permeable) que protege su material genético, y la germinación termina con el crecimiento de la plántula. Los principales factores que afectan la germinación son
¿Cuáles crees que son los principales factores que afectan la germinación?	<i>La cantidad adecuada para la semilla de agua, tipo sustratos, sol-Luz, oxígeno sobre todo la oxigenación.</i>	Los principales factores que afectan la germinación son agua, tipo de sustrato, sol o luz y oxígeno (oxigenación).	
Con base en los siguientes dibujos de tus compañeros,	<i>No. Ya que a mi parecer es un frijol y no se abre su semilla de esa manera es</i>	Durante la germinación la semilla se	

<p>contesta las preguntas que se te plantean.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación I) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación II) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación III) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>más bien parecido a la forma de germinación de una semilla más dura.</i></p> <p><i>No. Porque no es un proceso cíclico la germinación solo se da hacia el crecimiento de la planta más no vuelve a ser semilla.</i></p> <p><i>Sí. Bueno el ciclo de germinación si se da con la ruptura de la “capa protectora” y termina en el momento donde crece la plantula.</i></p>	<p>abre.</p> <p>Existen semillas duras.</p> <p>Durante la germinación se rompe la capa protectora y ésta termina con el crecimiento de la plántula.</p>	<p>agua, tipo de sustrato, sol o luz y oxígeno (oxigenación).</p> <p>Las semillas pueden ser duras.</p>
<p>¿Podrías mejorar la representación?</p> <p>SI () NO () ¿Cómo?</p>	<p><i>Sí. Uniendo algunas partes de los otros dos ejemplos ya que me parece unas partes faltan.</i></p> 		

<p>¿Es posible inferir algunas características de las semillas a partir de los dibujos?</p> <p>SI () ¿Cuáles?</p> <p>NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>Sí. Esta protegido el material genético mediante una capa permeable que al absorber suficientes nutrientes se libera y da la plántula.</i></p>	<p>La semilla tiene una capa permeable que protege el material genético; la semilla absorbe los nutrientes suficientes y se libera la plántula.</p>	
<p>Para poder dar respuesta el inciso c, ¿Qué proceso seguiste?</p>	<p><i>Inductivo Deductivo bueno ya que de lo que sabia previamente recordé que las semillas con capas mas delgadas como el frijol no se "inchan" para abrirse por tanto solo se da un proceso en pocos pasos.</i></p>	<p>Las semillas se abren</p>	

Cuadro 3

Modelo inicial de la estudiante B sobre germinación, inferido de la interpretación general a las respuestas al cuestionario destinado para ello.

Elementos	Subelementos	Relaciones	Condiciones	Interpretación general
<ul style="list-style-type: none"> - Semilla (dura) - Agua - Sustrato - Nutrientes - Sol/Luz - Oxígeno/ oxigenación - Plántula 	<ul style="list-style-type: none"> - Capa protectora (delgada) - Material genético 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-nutrientes La semilla absorbe y sintetiza nutrientes - Semilla-capa-protectora-plántula la capa protectora se rompe/abre durante y crece la plántula 	<ul style="list-style-type: none"> - Permeabilidad - Crecimiento 	<p>La germinación es cuando una semilla crece por medio de procesos de absorción y síntesis de nutrientes; la semilla rompe/abre su capa protectora (permeable) que protege su material genético, y la germinación termina con el crecimiento de la plántula. Los principales factores que afectan la germinación son agua, tipo de sustrato, sol o luz y oxígeno (oxigenación).</p> <p>Las semillas pueden ser duras.</p>

Cuadro 4

Preguntas y respuestas de la estudiante C al instrumento aplicado para conocer sus concepciones espontáneas sobre el fenómeno de germinación al inicio la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general con base en ellas.

Pregunta	Respuesta	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
¿Qué consideras que es la germinación?	<i>Es el proceso mediante el cual una semilla madura en condiciones de temperatura, aireación, humedad para dar lugar a una plántula.</i>	En la germinación una semilla madura bajo condiciones de temperatura, humedad y aireación para dar una plántula.	Durante la germinación, una semilla se transforma y madura bajo condiciones de temperatura, pH del suelo (ácido o alcalino), oxígeno (aireación) y humedad, para dar lugar a una plántula. En la germinación de las semillas (cotiledóneas y monocotiledóneas), primero sale la raíz primaria y después las hojas, se rompe la corteza seminal, crece la plántula con sus primeras hojas y se desprende la semilla de las raíces.
¿Cuáles crees que son los principales factores que afectan la germinación?	<i>El pH del suelo que sea demasiado ácido o alcalino y que la semilla no se adapte a este, la temperatura, la aereación que algunas semillas necesitan mucho o poco oxígeno para germinar, la humedad o en algunas ocasiones la dormancia que es el estado de latencia de la semilla que no permite que se de una rápida germinación.</i>	Los principales factores que afectan la germinación son pH del suelo (ácido o alcalino), temperatura, oxígeno (aireación) y humedad. La dormancia es el estado de latencia de una semilla que no permite que la semilla germine rápidamente.	
Con base en los siguientes	<i>No por que de los diferentes tipos de</i>	En la germinación de semillas	

<p>dibujos de tus compañeros, contesta las preguntas que se te plantean.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación I) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación II) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación III) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>germinación ya sea en semillas cotiledonias o monocotiledonias sale ambas partes ya sea la raíz primaria y las hojas, y en la imagen solo muestra la ruptura de la corteza seminal y las raíces son secundarias.</i></p> <p><i>Sí. Por que lo poco que recuerdo en el frijol primero se hace presente la plántula con sus primeros hojas y después se desprende la semilla de las raíces.</i></p> <p><i>No. Por que la semilla se ve a la mitad y el tallo muy ancho como para que sea de una germinación.</i></p>	<p>cotiledóneas y monocotiledóneas sale la raíz primaria y las hojas. Hay ruptura de la corteza seminal.</p> <p>En la germinación de frijol aparece la plántula con sus primeras hojas y después se desprender la semilla de las raíces.</p>	<p>Una semilla cotiledónea no es gruesa, por lo que el embrión la puede perforar.</p> <p>La dormancia es el estado de latencia de una semilla que no permite que la semilla germine rápidamente.</p>
---	--	--	--

<p>¿Podrías mejorar la representación?</p> <p>SI () NO () ¿Cómo?</p>	<p><i>Sí. Con lo poco que pude observar en la germinación de las semillas Primero se da lugar a la raíz primaria y despues a las que van a ser las hojas, pondrian el proceso en el que se vea las dos partes pero con su semilla y despues las partes de estas o como va creciendo la plantula.</i></p>	<p>Durante la germinación, primero aparece la raíz primaria, después las hojas y crece la plántula.</p>
<p>¿Es posible inferir algunas características de las semillas a partir de los dibujos?</p> <p>SI () ¿Cuáles?</p> <p>NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>Si. El proceso por el cual una semilla se va transformando para dar lugar a la germinación</i></p>	<p>En la germinación una semilla se transforma.</p>
<p>Para poder dar respuesta el inciso c, ¿Qué proceso seguiste?</p>	<p><i>La germinación de una semilla cotiledonea ya que su semilla no es muy gruesa o dificil de que el embrion la perfore</i></p>	<p>Una semilla cotiledónea no es gruesa, por lo que el embrión la puede perforar.</p>

Cuadro 5

Modelo inicial de la estudiante C sobre germinación, inferido de la interpretación general a las respuestas al cuestionario destinado para ello.

Elementos	Subelementos	Relaciones	Condiciones	Interpretación general
<ul style="list-style-type: none"> - Semilla (Cotiledónea y monocotiledónea) - Temperatura - Humedad - Aireación/oxígeno - pH del suelo - Raíz primaria/Raíces - Hojas - Plántula/Plántula con primeras hojas 	<ul style="list-style-type: none"> - Corteza seminal - Embrión 	<ul style="list-style-type: none"> - Semilla-plántula-temperatura-pH del suelo-oxígeno-humedad La semilla dar lugar a una plántula - Semilla-raíz primaria, hojas De la semilla salen la raíz primaria y las hojas - Corteza seminal-x La corteza seminal se rompe - Semilla-raíces La semilla se desprende de las raíces - Semilla-embrión El embrión perfora la semilla 	<ul style="list-style-type: none"> - No gruesa - Dormancia o latencia - Maduración - Transformación - Crecimiento - Alcalinidad - Acidez 	<p>Durante la germinación, una semilla se transforma y madura bajo condiciones de temperatura, pH del suelo (ácido o alcalino), oxígeno (aireación) y humedad, para dar lugar a una plántula. En la germinación de las semillas (cotiledóneas y monocotiledóneas), primero sale la raíz primaria y después las hojas, se rompe la corteza seminal, crece la plántula con sus primeras hojas y se desprende la semilla de las raíces. Una semilla cotiledónea no es gruesa, por lo que el embrión la puede perforar.</p> <p>La dormancia es el estado de latencia de una semilla que no permite que la semilla germine rápidamente.</p>

Cuadro 6

Preguntas y respuestas de la estudiante D al instrumento aplicado para conocer sus concepciones espontáneas sobre el fenómeno de germinación al inicio la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general con base en ellas.

Pregunta	Respuesta	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
¿Qué consideras que es la germinación?	<i>Es cuando la semilla se encuentra en el desarrollo para que esta pueda madurar y se llegue a convertir en una planta adulta, pero para que se de la germinación, la semilla debe de tener la temperatura, humedad y aereación adecuada.</i>	La germinación es cuando una semilla se desarrolla y madura para convertirse en una planta adulta. Para que la semilla germine necesita temperatura, humedad y aireación adecuadas.	La germinación es cuando una semilla se desarrolla, transforma y madura. La semilla está cerrada, se abre y brota para la plántula para convertirse en una planta adulta. Para que la semilla germine necesita
¿Cuáles crees que son los principales factores que afectan la germinación?	<i>Uno de ellos debe ser que no se encuentre en el ambiente correcto, que cambie la temperatura, la humedad y aereación.</i>	Los principales factores que afectan la germinación son temperatura, humedad, aireación y un ambiente correcto.	temperatura, humedad, aireación y un ambiente correcto.

<p>Con base en los siguientes dibujos de tus compañeros, contesta las preguntas que se te plantean.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación I) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación II) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación III) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>Sí. Porque esta tiene más a detalle y mejor desarrollado el proceso de la germinación, hasta que empieza a brotar la plántula.</i></p> <p><i>Sí. Porque a pesar de que es poca información te ayuda a ver el proceso de germinación y ya que la planta es adulta esta produce semillas para que se generen más plantas de la misma.</i></p> <p><i>No. Porque aquí te da una idea de como se da la germinación, pero es algo poco suficiente para que puedas saber el proceso de la germinación.</i></p>	<p>Durante la germinación brota la plántula.</p>	
<p>¿Podrías mejorar la representación?</p>	<p>No.</p>		

SI () NO () ¿Cómo?		
¿Es posible inferir algunas características de las semillas a partir de los dibujos? SI () ¿Cuáles? NO (). Justifica tu respuesta.	<i>Sí. Que primero la semilla esta completamente serrada, ya en base a la temperatura, humedad y aereación, esta va abriendo poco a poco hasta que sale la plántula.</i>	La semilla está cerrada y se abre para que salga la plántula, con temperatura, humedad y aireación.
Para poder dar respuesta el inciso c, ¿Qué proceso seguiste?	<i>Pues que ahí es donde viene mejor explicando el proceso de la germinación, porque te da más detalle de como va transformándose poco a poco la semilla.</i>	La semilla se transforma durante la germinación.

Cuadro 7

Modelo inicial de la estudiante D sobre germinación, inferido de la interpretación general a las respuestas al cuestionario destinado para ello.

Elementos	Relaciones	Condiciones	Interpretación general
- Semilla (cerrada)	- Semilla-plántula	- Desarrollo	La germinación es cuando una semilla se desarrolla, transforma y madura. La semilla está cerrada, se abre y brota para la plántula para convertirse en una planta adulta. Para que la semilla germine necesita temperatura, humedad, aireación y un ambiente correcto.
- Temperatura	La semilla se abre y brota la plántula	- Maduración	
- Humedad	- Plántula-planta adulta	- Transformación	
- Aireación	La semilla se convierte en planta adulta		
- Ambiente correcto			
- Plántula			
- Planta adulta			

Cuadro 8

Preguntas y respuestas de la estudiante E al instrumento aplicado para conocer sus concepciones espontáneas sobre el fenómeno de germinación al inicio la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general con base en ellas.

Pregunta	Respuesta	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
¿Qué consideras que es la germinación?	<i>Es el proceso mediante el cual la semilla mediante el embrión da origen a un nuevo vegetal.</i>	La germinación es un proceso en el cual el embrión de la semilla origina un nuevo vegetal.	Durante la germinación, el embrión maduro de la semilla origina un nuevo
¿Cuáles crees que son los principales factores que afectan la germinación?	<i>Temperatura PH Luz Aireación Agua Nutrientes Tipo de sustrato.</i>	Los principales factores que afectan la germinación son temperatura, pH, luz, aireación, agua y tipo de sustrato.	vegetal/plántula pequeña; el caparazón/cáscara/ cascarón de la semilla se rompe y crece la plántula.
Con base en los siguientes dibujos de tus compañeros, contesta las preguntas que se te plantean. ¿Estás de acuerdo con la representación I) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.	<i>No. Puedo observar en la imagen que no se trata de germinación si no de como se esta formando una semilla.</i>	Durante la germinación el caparazón de la semilla se rompe y crece la plántula. La cascara que cubre la semilla se rompe y crece la plántula.	Los principales factores que afectan la germinación son agua, luz, oxígeno (aireación), temperatura, pH, nutrientes y tipo de sustrato.

<p>¿Estás de acuerdo con la representación II) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la representación III) de tu compañero a cerca de la germinación? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>Si estoy de acuerdo porque Se Muestra como la Semilla, su caparazon comienza a Romperse y puede crecer la plántula.</i></p> <p><i>Como la figura anteRior muestra el Rompimiento de la Cascara que Cubre a la semilla, dando pie a que Continue Creciendo la plántula, aunque es muy general esta imagen x que se Requieren otras factores para germinar.</i></p>		
<p>¿Podrías mejorar la representación? SI () NO () ¿Cómo?</p>	<p><i>Sí. Agregando los diversos factores que se ven Implicados en la germinación como lo es principalmente el Agua, la luz, oxigeno, Temperatura.</i></p>	<p>Los factores implicados en la germinación son agua, luz, oxígeno y temperatura.</p>	
<p>¿Es posible inferir algunas características de las semillas a partir de los dibujos? SI () ¿Cuáles? NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>No porque no Sabemos que tipo de Semilla es por lo tanto no podremos Saber mas Aspectos, Si tiene problemas en su Germinación o al Contrario Si Germina Con facilidad.</i></p>		
<p>Para poder dar respuesta el inciso c, ¿Qué proceso seguiste?</p>	<p><i>Pues supuse que primero se tiene la semilla que Contiene el embrión ya maduro el Cascaron Se Rompe y da origen a una pequeña plántula.</i></p>	<p>Para germinación, primero se tiene la semilla con su embrión maduro, se rompe el cascarón y se origina una plántula pequeña.</p>	

Cuadro 9

Modelo inicial de la estudiante E sobre germinación, inferido de la interpretación general a las respuestas al cuestionario destinado para ello.

Elementos	Subelementos	Relaciones	Condiciones	Interpretación general
- Semilla - Temperatura - Luz - Agua - Aireación/oxígeno - pH - Nutrientes - Sustrato - Nuevo vegetal/ plántula pequeña	- Caparazón, cáscara o cascarón - Embrión	- Semilla-embrión-nuevo vegetal/plántula pequeña La semilla origina un nuevo vegetal mediante el embrión - Semilla: caparazón/cáscara/ cascarón-plántula El caparazón/cáscara/ cascarón de la semilla se rompe y la plántula crece	- Maduración - Crecimiento	Durante la germinación, el embrión maduro de la semilla origina un nuevo vegetal/plántula pequeña; el caparazón/cáscara/ cascarón de la semilla se rompe y crece la plántula. Los principales factores que afectan la germinación son agua, luz, oxígeno (aireación), temperatura, pH, nutrientes y tipo de sustrato.

Cuadros con las interpretaciones hechas de las respuestas de las estudiantes al instrumento 5

Cuadro 10

Preguntas y respuestas del instrumento aplicado para conocer las ideas de germinación de la estudiante A al final de la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general para el fenómeno.

Pregunta	Respuesta	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
<p>Realiza un dibujo en el que expresas integres todos los elementos y procesos implicados en el fenómeno de germinación que conoces hasta este momento.</p>		<p>Una semilla viable requiere temperatura, fotoperíodo (luz/obscuridad), oxigenación y estar un sustrato húmedo para germinar</p>	<p>Para el proceso de germinación, se requiere una semilla viable y madura (morfológica y fisiológicamente) bajo condiciones favorables de agua, oxigenación,</p>
<p>Imagina que te encuentras en la siguiente situación: debes explicar a Carlos, un alumno de segundo año de bachillerato, el concepto de germinación de las semillas. Carlos</p>	<p><i>“El proceso de una semilla madura tanto morfológicamente como fisiológicamente que en condiciones favorables como lo es agua, oxigenación, temperatura y dependiendo del tipo de semilla, con luz, dara lugar a que brote la radícula de la semilla ya que cada una de estas condiciones favorece o perjudica a la semilla, por ejemplo: el agua es muy importante para la semilla ya que con esta inicia el proceso de</i></p>	<p>La germinación es un proceso donde una semilla madura morfológica y fisiológicamente, en condiciones favorables de agua, oxigenación, temperatura y, dependiendo del tipo de semilla, con luz, da lugar a que brote la radícula</p>	<p>temperatura y, dependiendo del tipo de semilla, con luz. El agua es importante para la semilla porque con ella inicia el proceso de imbibición (absorber o embeber agua), el cual</p>

<p>sólo sabe que el frijol germina cuando ve una “plantita” con dos hojas verdes, porque es la experiencia que recuerda de la primaria. Para superar esta visión de la germinación, escribe la explicación que le darías a Carlos con la información que ahora tú sabes del fenómeno de germinación de las semillas.</p>	<p><i>imbibición (absorción de agua) que permitira reactivar el metabolismo de la semilla al igual que le permitira que por esta absorción de agua también permite la entrada de oxígeno a la semilla, pero si es demasiada agua, haogaras a la semilla, la temperatura también es importante ya que esta le aporta calor a tú semilla y como esta en su nterior tiene nutrientes que necesita el embrión, en estos nutrientes hay enzimas que se activan con el calor ayudando a degradarlos para que el embrión logre utilizarlos como energía (ATP) y así en conjunto pueda brotar una radícula, cumpliéndose con esto la germinación de una semilla”</i></p>	<p>de la semilla, ya que cada una de estas condiciones favorece o perjudica a la semilla. El agua es importante para la semilla porque con ella inicia el proceso de imbibición (absorber agua), el cual permite reactivar el metabolismo y la entrada de oxígeno a la semilla. La semilla contiene nutrientes que necesita el embrión; en estos nutrientes hay enzimas que se activan con el calor que aporta la temperatura para degradar los nutrientes y el embrión los utilice como energía (ATP) y brote la radícula para culminar la germinación de la semilla.</p>	<p>permite reactivar el metabolismo y la entrada de oxígeno a la semilla. La semilla contiene nutrientes que necesita el embrión; en estos nutrientes hay enzimas que se activan con el calor que aporta la temperatura para degradar los nutrientes y el embrión los utilice como energía (ATP). Posteriormente se desprende una parte de la testa, se rompe y brota/emerge la radícula para culminar la germinación de la semilla. Los embriones pueden presentar dormición</p>
<p>Alejandra es una estudiante de segundo semestre de la carrera de Biología y el día de mañana realizará una</p>	<p><i>“La imagen c ya que en las otras se muestra b) crecimiento de la plántula, d) reproducción de una angiosperma y en la a) solo muestra una radícula y en la c) se observa desprendimiento de una parte de la testa y posteriormente se ve como emerge la radícula”</i></p>	<p>En el proceso de germinación de una semilla se observa desprendimiento de una parte de la testa y posteriormente emerge la radícula.</p>	<p>fisiológica, pero con un tratamiento pregerminativo o escarificación mecánica se puede romper la dormición.</p>

<p>práctica sobre germinación. Para ello, el profesor le ha solicitado que lleve a la clase una imagen en la cual se represente el proceso de germinación de las semillas. Alejandra buscó en google imágenes sobre germinación y algunas de las imágenes que le arrojó la búsqueda son: a), b), c), d)</p> <p>¿Qué imagen le recomendarías a Alejandra que lleve a su práctica de laboratorio? ¿Por qué?</p>			
<p>A continuación se te presentan dos definiciones sobre el fenómeno de germinación de semillas;</p>	<p>1. <i>“No estoy de acuerdo ya que durante este proceso no se lleva a cabo una fecundación en la semilla, no evoluciona como tal y el ph del sustrato no es muy importante”</i></p>	<p>1. Durante la germinación no se lleva a cabo la fecundación de una semilla y no evoluciona. El pH no es muy importante</p>	

<p>léelas detenidamente:</p> <p>¿Estás de acuerdo con la definición 1? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la definición 2? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p>2. <i>“Si estoy de acuerdo ya que la semilla necesita estar madura tanto morfológicamente como fisiológicamente para que la semilla pueda embeber agua llevándose acabo el proceso de imbibición el cual como se menciona, se observa el crecimiento de la semilla el cuál con las condiciones o factores que también menciona son los importantes, los cuales ayudaran a romper la testa y así emerge la radícula como lo menciona en la definición es considerado como el fin dela germinación”</i></p>	<p>para la germinación.</p> <p>2. Durante la germinación, una semilla madura, morfológica y fisiológicamente, embebe agua por imbibición y la semilla crece. Los factores necesarios ayudan a que se rompa la testa y emerja la radícula, considerada el fin de la germinación.</p>
<p>¿Qué experimento propondrías que permitiera conocer el proceso de germinación de estas semillas y que tuviera alta probabilidad de germinación?</p>	<p><i>“Pues conforme a la información obtenida en la investigación se podría creer que el embrión presentara dormición fisiológica como lo fue en el caso de <u>C. procerá</u> entonces se tendría que aplicar algún tratamiento pregerminativo o escarificación física el cual pudiera romper la dormancia fisiológica”</i></p>	<p>Los embriones pueden presentar dormición fisiológica, pero se le puede aplicar un tratamiento pregerminativo o escarificación mecánica para romper la dormición.</p>

Cuadro 11

Preguntas y respuestas del instrumento aplicado para conocer las ideas de germinación de la estudiante C al final de la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general para el fenómeno.

Pregunta	Respuesta	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
<p>Realiza un dibujo en el que expresas integres todos los elementos y procesos implicados en el fenómeno de germinación que conoces hasta este momento.</p>	 <p>La temperatura es importante para la activación de enzimas y para la degradación de la reserva nutricional.</p> <p>Inicio del proceso de imbibición al concluir la tercera fase de la imbibición</p> <p>degradación de la reserva nutricional</p> <p>La semilla casi siempre germina inmediatamente para esto necesito completar la tercera fase de imbibición para obtener la energía (ATP) para romper la testa.</p>	<p>La semilla requiere luz, temperatura, sustrato, humedad y oxígeno para germinar.</p> <p>La semilla inicia el proceso de imbibición con la humedad. La semilla necesita completar la tercera fase de la imbibición para obtener la energía (ATP) para romper la testa y germinar.</p> <p>En la semilla se degrada la reserva nutricional y aparece la radícula. La temperatura es importante para que se activen las enzimas y comience la degradación de la</p>	<p>La germinación es un proceso o fenómeno que ocurre en semillas deshidratadas o con un porcentaje de humedad alto. Las semillas al entrar en contacto con oxígeno/aireación, humedad, luz, temperatura y un sustrato adecuados para ellas, comienzan a germinar. Primero, la semilla entra en contacto con agua (humedad), después la temperatura activa las enzimas que degradan la</p>

		reserva nutrimental.	reserva de nutrimentos de
Imagina que te encuentras en la siguiente situación: debes explicar a Carlos, un alumno de segundo año de bachillerato, el concepto de germinación de las semillas. Carlos sólo sabe que el frijol germina cuando ve una "plantita" con dos hojas verdes, porque es la experiencia que recuerda de la primaria. Para superar esta visión de la germinación, escribe la explicación que le darías a Carlos con la información que ahora tú sabes del fenómeno de germinación de las semillas.	<i>"La germinación es un proceso o fenómeno que sufren las semillas, estas al entrar en contacto con Oxígeno, Humedad, Luz y temperatura adecuadas para ellas, comienzan su proceso de germinación, primero al entrar en contacto con agua (humedad), después con ayuda de la temperatura las enzimas se activaran y degradaran la reserva de nutrimentos que hay dentro de la semilla, al ser degradados la semilla obtiene energía y así puede romper la cubierta (testa) y brotara una pequeña raíz, llamada radícula despues brotara la segunda raíz y con el paso de los días seguira creciendo y saldran las primeras hojas"</i>	Las semillas al entrar en contacto con oxígeno, humedad, luz y temperatura adecuados para ellas, comienzan el proceso o fenómeno de germinación; primero entran en contacto con agua (humedad), después la temperatura activa las enzimas que degradan la reserva de nutrimentos de la semilla, obtiene energía, rompe la cubierta (testa) y brota una pequeña raíz llamada radícula, después brota la segunda raíz, continua creciendo y salen las primeras hojas.	la semilla, al ser degradados los nutrimentos, el embrión de la semilla obtiene energía (ATP), romper la cubierta (testa) y brota una pequeña raíz llamada radícula, después brota la segunda raíz, continua creciendo y hasta que salgan las primeras hojas. Solo algunas semillas requieren luz, ya que existen semillas fotoblásticas positivas, fotoblásticas negativas y no fotoblásticas. La testa puede presentar impermeabilidad, en este caso se puede aplicar escarificación química para quitar la testa.
Alejandra es una estudiante de segundo	<i>"Pienso que la C seria una imagen adecuada para mostrar el proceso de germinación ya que se</i>	Una semilla ha germinado cuando brota la radícula.	Las semillas pueden presentar dormición

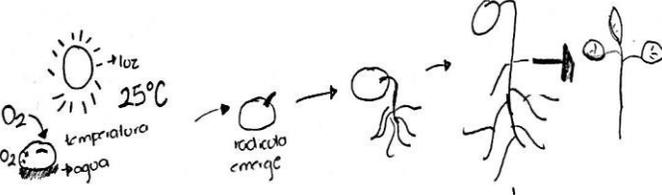
<p>semestre de la carrera de Biología y el día de mañana realizará una práctica sobre germinación. Para ello, el profesor le ha solicitado que lleve a la clase una imagen en la cual se represente el proceso de germinación de las semillas. Alejandra buscó en google imágenes sobre germinación y algunas de las imágenes que le arrojó la búsqueda son: a), b), c), d)</p> <p>¿Qué imagen le recomendarías a Alejandra que lleve a su práctica de laboratorio? ¿Por qué?</p>	<p><i>considera que una semilla ha germinado cuando brota la radícula y a pesar de que la imagen A muestra la semilla con la radícula, la imagen C muestra como era la semilla antes y después de germinar, y como son los cambios en la semilla durante el proceso”</i></p>		<p>fisiológica, pero pueden ser tratadas con ácido giberélico para romper la dormición, ya que la dormición no permite que las semillas germinen.</p>
--	--	--	---

<p>A continuación se te presentan dos definiciones sobre el fenómeno de germinación de semillas; léelas detenidamente:</p> <p>¿Estás de acuerdo con la definición 1? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la definición 2? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p>1. No, <i>“Porque la semilla no madura cuando esta en condiciones de temperatura aireación y humedad ya que estos son los factores que afectan la germinación mas no su maduración, además de casi todas las semilla al desprenderse de la planta madre ya están maduras. En cuestión a los factores que afectan a la germinación en la definición falto mencionar la luz ya que para algunas semillas es importante o no la presencia de luz, y en el caso de la dormición si es un factor que afecta ya que no permite que germine la semilla mas no que retrase su germinación”</i></p> <p>2. <i>“No estoy de acuerdo ya que al decir que la germinación es un proceso fisiológico creo que se refiere al embrión entonces no solo es un proceso del embrión de la semilla sino todo el conjunto de ella, en cuestión a la semilla deshidratada no solo se da la germinación en la semillas deshidratadas sino se puede dar en semillas con un porcentaje de humedad alto. Estoy de acuerdo que una semilla ha germinado cuando emerge la radícula, pero no estoy de acuerdo que todas las semillas son sensibles a la luz ya que existen semillas, botoblasticas positivas, fotoblásticas negativas y no fotoblastica”</i></p>	<p>La mayoría de las semillas cuando se desprenden de la planta madre están maduras. La temperatura, aireación, humedad y luz afectan la germinación. La dormición no permite que la semilla germine.</p> <p>2. La germinación se da en semillas deshidratadas y también en semillas con un porcentaje de humedad alto. La semilla germina cuando emerge la radícula. No todas las semillas son sensibles a la luz, existen fotoblásticas positivas, negativas y no fotoblásticas.</p>
<p>¿Qué experimento</p>	<p><i>“Primero pienso que las semillas al ser de la familia</i></p>	<p>La testa puede presentar</p>

<p>propondrías que permitiera conocer el proceso de germinación de estas semillas y que tuviera alta probabilidad de germinación?</p>	<p><i>Asteraceae y ser de zonas áridas, estas necesitan una temperatura mas elevada de 25°C por lo menos arriba de los 30°C, después pienso que no necesitan una gran cantidad de agua al ser de zonas áridas y que al colocarlas en un sustrato (agar) con demasiada agua podría provocar que la semilla se ahogara.</i></p> <p><i>Al realizar la prueba de viabilidad y resultado que el 90% de los embriones eran viables pienso que la testa presenta impermeabilidad y que al estar 3 meses en el agar no funciona y que por eso los embriones seguían vivos entonces yo aplicaría una escarificación química para quitar o reducir la testa.</i></p> <p><i>O también podría ser que las semillas tengan dormición fisiológica y por esto sugiero que las semillas se sumerjan en acido giberelico, para romper la dormición”.</i></p>	<p>impermeabilidad, en este caso se puede aplicar escarificación química para quitar la testa.</p> <p>Las semillas pueden presentar dormición fisiológica, pero pueden ser tratadas con ácido giberélico para romper la dormición.</p>	
--	---	--	--

Cuadro 12

Preguntas y respuestas del instrumento aplicado para conocer las ideas de germinación de la estudiante D al final de la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general para el fenómeno.

Pregunta	Respuesta	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno germinación
<p>Realiza un dibujo en el que expreses integres todos los elementos y procesos implicados en el fenómeno de germinación que conoces hasta este momento.</p>		<p>Una semilla requiere agua, oxígeno, temperatura (25°C) y luz solar para germinar. De la semilla emerge la radícula, la cual crece hasta ser una plántula con hojas.</p>	<p>Para que una semilla germine debe ser madura y viable; la semilla es madura morfológica y fisiológicamente cuando se desprende de la planta madre, y es viable cuando</p>
<p>Imagina que te encuentras en la siguiente situación: debes explicar a Carlos, un alumno de segundo año de bachillerato, el concepto de germinación de las semillas. Carlos sólo sabe que el frijol</p>	<p><i>“La germinación no es solo cuando salen las hojitas, para que esto se de la semilla requiere pasar por muchos procesos, la semilla en primera instancia debe de ser madura y viable ¿a que se refiere con esto? que la semilla es madura cuando se desprende la planta madre, entre ellas está la maduración fisiologica y morfologica, una semilla es viable cuando tiene la capacidad de germinar, estos dos son factores internos y los factores externos son el agua, el oxígeno, la</i></p>	<p>Para que una semilla germine debe ser madura y viable; la semilla es madura morfológica y fisiológicamente cuando se desprende de la planta madre, y es viable cuando tiene la capacidad de germinar, estos dos son factores internos; y los factores externos son</p>	<p>tiene la capacidad de germinar, estos son factores internos. Los factores externos son agua, oxígeno, temperatura y luz (en algunos casos), todos ellos trabajan en conjunto. El agua ayuda a la semilla</p>

<p>germina cuando ve una “plantita” con dos hojas verdes, porque es la experiencia que recuerda de la primaria. Para superar esta visión de la germinación, escribe la explicación que le darías a Carlos con la información que ahora tú sabes del fenómeno de germinación de las semillas.</p>	<p><i>temperatura y la luz (en algunos casos) todos ellos trabajan en conjunto ¿Por qué? Porque el agua ayuda a la semilla a que se hinche, hace que la testa de la semilla sea permeable al oxígeno y así permitir la entrada de este para que la semilla empiece a respirar y así produce energía, la temperatura activa las enzimas para que junto con la energía que ha generado la semilla pueda degradar las reservas nutrimentales (carbohidratos, lípidos o proteínas) dependiendo el tipo de semilla que sea va a requerir o no la luz, fotoblástica negativa no requiere de luz, fotoblástica positiva si requiere de luz porque tiene fitocromos que absorben la luz y fotoblástica neutra que es indiferente a la presencia o ausencia de luz.</i></p> <p><i>Ya que la semilla cuenta con todos estos factores la semilla va a hacer que la radícula emerja porque dentro de ella ya ocurrieron todos los procesos para que pueda crecer, se dice que la semilla ha germinado completamente cuando la plántula es capaz de producir su propio alimento (fotosíntesis)”</i></p>	<p>agua, oxígeno, temperatura y luz (en algunos casos), todos ellos trabajan en conjunto. El agua ayuda a la semilla a que se hinche, hace que la testa de la semilla sea permeable al oxígeno y permite la entrada de éste para que la semilla empiece a respirar y producir/liberar energía; la temperatura activa las enzimas, que junto con la energía producida degradan las reservas nutrimentales (carbohidratos, lípidos o proteínas) y, dependiendo del tipo de semilla que sea, se va a requerir o no la luz; fotoblástica negativa no requiere de luz, fotoblástica positiva si requiere de luz porque tiene fitocromos que absorben la luz, y fotoblástica neutra que es indiferente a la presencia o ausencia de luz.</p>	<p>a que se hinche, hace que la testa de la semilla sea permeable al oxígeno y permite la entrada de éste para que la semilla empiece a respirar y producir/liberar energía; la temperatura activa las enzimas, que junto con la energía producida, degradan las reservas nutrimentales (carbohidratos, lípidos o proteínas) y, dependiendo del tipo de semilla, se va a requerir o no la luz; fotoblástica negativa no requiere luz, fotoblástica positiva requiere luz porque tiene fitocromos que la absorben, y fotoblástica neutra que es indiferente a la presencia o ausencia de luz. Posteriormente, la radícula</p>
--	--	--	--

		Posteriormente, emerge la radícula de la semilla porque creció dentro de ella; se dice que la semilla ha germinado completamente cuando la plántula es capaz de producir su propio alimento (fotosíntesis).	crece y emerge de la semilla. La germinación termina cuando la plántula produce su propio alimento (autótrofa) a través de la fotosíntesis. Las semillas pueden presentar dormición, pero se les puede aplicar tratamiento para romperla.
Alejandra es una estudiante de segundo semestre de la carrera de Biología y el día de mañana realizará una práctica sobre germinación. Para ello, el profesor le ha solicitado que lleve a la clase una imagen en la cual se represente el proceso de germinación de las semillas. Alejandra buscó en google imágenes sobre germinación y algunas de las imágenes que le	<i>“La b) porque aqui te muestra como es que la semilla va germinando y hasta que momento se considera germinada, porque una semilla ha germinado cuando esta produce fotosíntesis”</i>	Una semilla ha germinado cuando realiza fotosíntesis.	

<p>arrojó la búsqueda son: a), b), c), d) ¿Qué imagen le recomendarías a Alejandra que lleve a su práctica de laboratorio? ¿Por qué?</p>			
<p>A continuación se te presentan dos definiciones sobre el fenómeno de germinación de semillas; léelas detenidamente: ¿Estás de acuerdo con la definición 1? SI () NO (). Justifica tu respuesta. ¿Estás de acuerdo con la definición 2? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p>1. <i>“No estoy de acuerdo porque ahí menciona que cuando la semilla va madurando, cuando la semilla se desprende de la planta madre se dice que esta ha madurado tanto morfológicamente como fisiológicamente”</i> 2. <i>“Tampoco estoy de acuerdo porque dice que la semilla es sensible a la luz y aquí esta generalizado, no todas las semillas son sensibles a la luz porque hay fotoblásticas negativas y estas no requieren de la luz, otra cosa la germinación no culmina cuando la radícula ha emergido, la germinación culmina desde el momento en que la plántula puede generar su propio alimento (autótrofa) y por ende la fotosíntesis”</i></p>	<p>1. Cuando la semilla se desprende de la planta madre está madura morfológica y fisiológicamente. 2. Las semillas fotoblásticas negativas no son sensibles a la luz. La germinación termina cuando la plántula produce su propio alimento (autótrofa) a través de la fotosíntesis.</p>	
<p>¿Qué experimento propondrías que permitiera conocer el proceso de</p>	<p><i>“Dice que las semillas son de zonas aridas y de la familia Asteraceae entonces yo creo que estas semillas requieren de una temperatura mas alta ya que son de zonas aridas, otra cosa investigar si las</i></p>	<p>Las semillas pueden presentar dormición, pero se les puede aplicar tratamiento para romperla.</p>	

germinación de estas semillas y que tuviera alta probabilidad de germinación?	<i>semillas tienen algún problema de dormición y aplicarle algún tratamiento para poder romperla”</i>		
--	---	--	--

Cuadro 13

Preguntas y respuestas del instrumento aplicado para conocer las ideas de germinación de la estudiante E al final de la secuencia didáctica aplicada; así como la interpretación hecha a cada respuesta y una general para el fenómeno.

Pregunta	Respuesta	Interpretación de cada respuesta	Interpretación general del fenómeno de germinación
Realiza un dibujo en el que expresas integres todos los elementos y procesos implicados en el fenómeno de germinación que conoces hasta este momento.		<p>La semilla requiere luz u obscuridad, agua, oxígeno y temperatura para germinar. La semilla tiene endospermo, testa e hilio; a través del hilio entra el agua y el oxígeno y se activan las enzimas en el interior de la semilla y degradan los lípidos, proteínas y carbohidratos que van al embrión maduro de la semilla. La semilla germina cuando</p>	<p>Durante la germinación, una semilla viable y sin dormición, pasa de la vida latente a la vida activa, reactiva su metabolismo con la ayuda de factores externos: agua, oxígeno, temperatura y luz. La semilla, mediante el potencial hídrico, embebe agua y entra oxígeno a través del hilio. La</p>

		sale la radícula.	temperatura activa las
Imagina que te encuentras en la siguiente situación: debes explicar a Carlos, un alumno de segundo año de bachillerato, el concepto de germinación de las semillas. Carlos sólo sabe que el frijol germina cuando ve una "plantita" con dos hojas verdes, porque es la experiencia que recuerda de la primaria. Para superar esta visión de la germinación, escribe la explicación que le darías a Carlos con la información que ahora tú sabes del fenómeno de germinación de las semillas.	<i>"La germinación es un fenómeno en el cual una semilla viable, y que no presente dormición pasa de la vida latente a la vida activa, reactivando su metabolismo con la ayuda de factores externos agua, oxígeno, temperatura y luz para que la semilla mediante el potencial hídrico pueda embeber agua permitiendo la entrada de oxígeno y temperatura para que comience a activarse las enzimas y pueda degradar sus reservas nutrimentales (lipidos, proteinas o carbohidratos) y así pueda obtener la energía en ATP para la emergencia de la radícula, este proceso termina cuando la plántula es capaz de generar su propio alimento mediante la fotosíntesis"</i>	Durante la germinación, una semilla viable y sin dormición, pasa de la vida latente a la vida activa; reactiva su metabolismo con la ayuda de factores externos: agua, oxígeno, temperatura y luz. La semilla, mediante el potencial hídrico, embebe agua y entra de oxígeno. La temperatura activa las enzimas para que degraden las reservas nutrimentales (lípidos, proteínas o carbohidratos) de la semilla y obtenga energía en ATP para que emerja la radícula. La germinación termina cuando la plántula es capaz de generar su propio alimento mediante la fotosíntesis.	enzimas para que degraden las reservas nutrimentales (lípidos, proteínas o carbohidratos) de la semilla y el embrión maduro obtenga la energía en ATP para romper la testa y emerja la radícula. La germinación termina cuando la plántula genera su propio alimento mediante la fotosíntesis. Las semillas pueden presentar dormición; para conocer el tipo de dormición se pueden aplicar diferentes tratamientos pregerminativos: escarificación mecánica, fitohormonas o estratificación a las semillas.
Alejandra es una estudiante de segundo	<i>"La c) porque es la mas próxima al proceso de la germinación se observa como va rompiendo la testa y</i>	En el proceso de germinación se rompe la testa y emerge la	

<p>semestre de la carrera de Biología y el día de mañana realizará una práctica sobre germinación. Para ello, el profesor le ha solicitado que lleve a la clase una imagen en la cual se represente el proceso de germinación de las semillas. Alejandra buscó en google imágenes sobre germinación y algunas de las imágenes que le arrojó la búsqueda son: a), b), c), d)</p> <p>¿Qué imagen le recomendarías a Alejandra que lleve a su práctica de laboratorio? ¿Por qué?</p>	<p><i>va emergiendo la radícula”</i></p>	<p>radícula.</p>	
<p>A continuación se te presentan dos definiciones sobre el</p>	<p>1. <i>“No porque es muy general la información además solo necesita agua oxígeno temperatura y luz para que una semilla pueda germinar además de ser viable y no</i></p>	<p>1. Una semilla viable y sin dormición solo necesita agua, oxígeno, temperatura y luz</p>	

<p>fenómeno de germinación de semillas; léelas detenidamente:</p> <p>¿Estás de acuerdo con la definición 1? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p> <p>¿Estás de acuerdo con la definición 2? SI () NO (). Justifica tu respuesta.</p>	<p><i>presentar dormición”</i></p> <p>2. <i>“Si estoy de acuerdo aunque le falta explicar mas detalladamente algunos aspectos de la semilla que esta sea viable y no presente dormición”</i></p>	<p>para germinar.</p> <p>2. La semilla necesita ser viable y sin dormición para germinar.</p>
<p>¿Qué experimento propondrías que permitiera conocer el proceso de germinación de estas semillas y que tuviera alta probabilidad de germinación?</p>	<p><i>“Realizaría varios tratamientos pregerminativos como se conoce poca información aplicaria tratamientos con todas las condiciones mencionadas para saber que tipo de dormición presenta la semilla.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Tratamiento 1: Escarificación mecánica</i> - <i>Tratamiento 2: Escarificación mecánica</i> - <i>Tratamiento 3: Fitohormonas</i> - <i>Tratamiento 4: Estratificación</i> 	<p>Las semillas pueden presentar dormición; para conocer el tipo de dormición se pueden aplicar diferentes tratamientos pregerminativos: escarificación mecánica, fitohormonas o estratificación.</p>