

**ESTUDIO DE LOS PROCESOS Y CONDICIONES EN LA GERMINACIÓN DE LA  
SEMILLA DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) Y SU APORTE PARA LA ENSEÑANZA  
DE LA BIOLOGÍA EN EDUCACIÓN BÁSICA**

**NATALIA MARTÍNEZ MORALES**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTADO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES  
BOGOTÁ, D.C.**

**2022**

**ESTUDIO DE LOS PROCESOS Y CONDICIONES EN LA GERMINACIÓN DE LA  
SEMILLA DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) Y SU APORTE PARA LA ENSEÑANZA  
DE LA BIOLOGÍA EN EDUCACIÓN BÁSICA**

**NATALIA MARTÍNEZ MORALES**

**Trabajo de Grado como requisito para optar por el título de Magister en Docencia  
de las Ciencias Naturales**

**Asesorado por:**

**STEYNER EDGAR VALENCIA VARGAS**

**INGRID VERA OSPINA**

**ANDREA TOLEDO ARANDA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTADO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2022**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

**JURADO**

---

**JURADO**

**BOGOTÁ, D.C., 2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas aquellas personas que aportaron de manera directa o indirecta a este trabajo.

Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría: en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores o investigadores, he dado los respectivos créditos.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CONTEXTO PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
LA GERMINACIÓN COMO OBJETO DE ESTUDIO EN LA EDUCACIÓN BÁSICA ....	6
Sentido en la enseñanza de las ciencias .....	10
Reflexiones derivadas de los espacios del programa Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales .....	13
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
GENERAL .....	18
ESPECÍFICOS .....	18
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>PROCEDER METODOLÓGICO .....</b>	<b>21</b>
LA PROFUNDIZACIÓN TEÓRICA EN LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	23
DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN: ELEMENTOS CLAVES EN LA CONFIGURACIÓN DE LA INTERVENCIÓN EN EL AULA.....	26
<b>PROFUNDIZACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>30</b>
EL CAMBIO COMO PARTE DE LA DINÁMICA DE LO VIVIENTE .....	32
El Cambio, el Desarrollo y la Germinación.....	34
Sobre el Cambio y la organización .....	37
La Historia de vida de las plantas y el papel del desarrollo.....	39
El programa y la germinación .....	41
LA CONFIGURACIÓN DE LA GERMINACIÓN COMO OBJETO DE ESTUDIO PARA LA BIOLOGÍA.....	43
DINÁMICA DE LOS CAMBIOS EN LA SEMILLA.....	55
La Embriogénesis como punto de partida.....	56
La semilla una entidad organizada .....	62
Fitohormonas: Acción y control.....	67
LA ORGANOGÉNESIS DE LA SEMILLA DE FRÍJOL .....	70
<b>PROFUNDIZACIÓN TEÓRICA PEDAGÓGICA.....</b>	<b>80</b>
PROBLEMAS DE CONOCIMIENTO.....	81

Referentes epistemológicos: el caso de la germinación en la enseñanza de las ciencias naturales .....	81
Referentes Pedagógicos en la enseñanza de la germinación como problema de conocimiento.....	85
Referentes didácticos de los problemas de conocimiento .....	86
<b>EL PAPEL DE LA EXPERIENCIA Y DEL EXPERIMENTO EN LA CLASE DE CIENCIAS .....</b>	<b>87</b>
<b>LA OBSERVACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE EXPLICACIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>INTERVENCIÓN EN EL AULA: HISTORIA DE VIDA DEL FRIJOL DE LA SEMILLA A LA PLANTA .....</b>	<b>91</b>
CONTEXTOS INSTITUCIONALES .....	91
SENTIDOS ORIENTADORES DE LA INTERVENCIÓN EN EL AULA .....	92
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	94
FASES DE LA PROPUESTA .....	97
Fase I: Introducción.....	98
Fase II: Profundización .....	103
Fase III: Socialización .....	114
<b>LA ENSEÑANZA DE LA GERMINACIÓN COMO UNA OPORTUNIDAD DE RECUPERACIÓN Y REFLEXIÓN DE LA EXPERIENCIA DOCENTE .....</b>	<b>117</b>
LA ACTIVIDAD DESENCADENANTE Y SU PAPEL EN LA CONFIGURACIÓN DE OBJETOS DE ESTUDIO.....	119
LOS SEMILLEROS Y SU APOORTE EN LA COMPRENSIÓN DE LOS CAMBIOS Y CONDICIONES PARA LA GERMINACIÓN DE UNA SEMILLA.....	122
LA COMPLEJIZACIÓN DE EXPLICACIONES EN LA COMPRENSIÓN DE LAS PLANTAS COMO ENTIDADES HISTÓRICA.....	127
<b>PRODUCCIÓN DISCURSIVA .....</b>	<b>131</b>
EL PAPEL DE LA PROFUNDIZACIÓN DOCENTE EN LA COMPRENSIÓN DE LA GERMINACIÓN Y SU ENSEÑANZA .....	133
La germinación de la semilla de frijol: precisiones derivadas de la profundización teórica .....	135
El papel de los procesos y las condiciones.....	136
DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE PROPUESTAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA GERMINACIÓN .....	138
Los problemas de conocimiento como estrategias para la enseñanza de las ciencias en Educación Básica.....	139
Las actividades desencadenantes y los montajes experimentales .....	140

El papel de la experiencia .....	142
RECOMENDACIONES, LIMITACIONES Y PROYECCIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA GERMINACIÓN EN LA EDUCACIÓN BÁSICA .....	143
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>145</b>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Estados sucesivos de la germinación de <i>Phaseolus vulgaris</i> . Imagen tomada de Rost et al., (1979) Botany capítulo 14 semillas y frutos.....	35
Imagen 2. Estructura de distintos tipos de semillas. Imagen tomada de Moore, R. et al., (1998) Botany. 2nd ed. ....	42
Imagen 3. Descripción de Semillas. Gessner Historia Plantarum pp 153 (1555). Tomado del Repositorio de la Universidad Erlangen. Alemania.....	48
Imagen 4. Etapas de cambio en plantas. Gessner Historia Plantarum pp 142 (1555). Tomado del Repositorio de la Universidad Erlangen. Alemania .....	49
Imagen 5. El detalle en las estructuras. Gessner Historia Plantarum pp 198 (1555). Tomado del Repositorio de la Universidad Erlangen. Alemania.....	50
Imagen 6. Las estructuras en la reproducción. Gessner Historia Plantarum pp 233 (1555). Tomado del Repositorio de la Universidad Erlangen. Alemania.....	51
Imagen 7. Semillas, Sustratos y Plantas. Gessner Historia Plantarum pp 240 (1555). Tomado del Repositorio de la Universidad Erlangen. Alemania .....	52
Imagen 8 . Descripción e Ilustración de plantas de enredadera. Rumphius Herbarii Amboinensis pp 2-3 (1750) Tomo V. Tomado de la Biblioteca Digital del Real Jardín Botánico de Madrid. España .....	53
Imagen 9. Estructuras internas en semillas de Palma. Rumphius Herbarii Amboinensis pp 38 y 52 (1750) Tomo I. Tomado de la Biblioteca Digital del Real Jardín Botánico de Madrid. España .....	54
Imagen 10. Proceso reproductivo de <i>Phaseolus vulgaris</i> . Imagen editada de Biology Evolution Of Plants (2008).....	57
Imagen 11. Formación de la semilla de <i>Phaseolus vulgaris</i> . Imagen editada de Biology Evolution Of Plants (2008).....	58
Imagen 12. Visión general de la embriogénesis vegetal. Esquemas a partir de etapas embrionarias basadas en microscopía. Tomado de Wendrich y Weijers (2013) The seed embryo as a miniature morphogenesis model. ....	59
Imagen 13. Ilustración y Microscopia de la embriogénesis tardía. Tomado de Gilbert, S. (2000). Developmental Biology, Sexta edición.....	62
Imagen 14. Microscopía y tinción de la testa de leguminosas. Tomado de Smýkal et al., (2014) El papel de la testa en el desarrollo y la latencia de leguminosas. ....	64
Imagen 15. Estructuras de testa, hilio y micrópilo en <i>Phaseolus vulgaris</i> . Tomado de Alves et al., (2016) Mecanismos de captación de agua y la germinación de semillas .....	65
Imagen 16. Estructura en la semilla de <i>Phaseolus vulgaris</i> . Tomado de Da Silva et al. (2019) Efecto de plasma frio en la inactivación de frijol negro y estabilidad de microestructuras .....	66
Imagen 17. Concentración de Giberelinas en los momentos de embriogénesis tardía. Tomado de Hu et al., (2018). Gibberellins play an essential role in late Embryogenesis.....	68
Imagen 18. Detención del desarrollo embrionario. Tomado de Wu et al., (2009). Functional characterization of the Ketoacyl Coenzyme A reductase candidates of the fatty acid elongase. ....	69
Imagen 19. Germinación de <i>Quercus ilex</i> . Tomado de Romero et al., 2018. Germinación y desarrollo temprano de plántulas en semillas recalcitrantes y no latentes de <i>Quercus ilex</i> . .....	74
Imagen 20. Semillas de <i>Phaseolus vulgaris</i> en desarrollo. Tomado de Romero et.al (2020) Evaluación de la calidad de semillas de frijol común.....	76



Imagen 21. Estructuras de Phaseolus vulgaris posterior a la germinación. Tomado de Barrios et al., (2014) Morfología del embrión del frijol. ....	76
Imagen 22. Diferentes Momentos de crecimiento y desarrollo de Phaseolus vulgaris. Tomado de Exploring and learning about trees and Nature. National Wildlife Federation´s .....	77
Imagen 23. Crecimiento y Desarrollo de Phaseolus vulgaris. Tomado de Manual de Huerta, Dirección de Educación Agraria.....	78
Imagen 24. Presentación de la intervención. Fuente elaboración propia. ....	100
Imagen 25. Presentación de la actividad desencadenante. Fuente elaboración propia.....	100
Imagen 26. Material para el registro de observaciones de la actividad desencadenante. Fuente elaboración propia.....	101
Imagen 27. Crecimiento vs aumento de tamaño actividad desencadenante. Fuente elaboración propia.....	102
Imagen 28. Cierre de la fase de introducción. Fuente elaboración propia.....	102
Imagen 29. Material de apoyo previo la fase de profundización. Fuente elaboración propia. ...	103
Imagen 30. Introducción a la fase de profundización. Fuente elaboración propia.....	105
Imagen 31. Material de apoyo inicio de la fase de profundización. Fuente elaboración propia.	106
Imagen 32. Material Organización de la semilla en antes de la germinación. Fuente elaboración propia.....	107
Imagen 33. Disección de semillas y tinción. Fuente Elaboración propia.....	108
Imagen 34. Material de apoyo registro de observaciones tinción de semillas. Fuente elaboración propia.....	109
Imagen 35. Material de apoyo las condiciones que inciden en el cambio de las semillas. Fuente elaboración propia.....	111
Imagen 36. Análisis del Test de Germinado. Fuente elaboración propia.....	112
Imagen 37. Introducción a las Fitohormonas en la germinación de las semillas. Fuente elaboración propia.....	113
Imagen 38. Material de apoyo para el seguimiento de los semilleros. Fuente elaboración propia. ....	114
Imagen 39. Evidencias de los estudiantes actividad desencadenante.....	120
Imagen 40. Testimonio E1 sobre la semilla del frijol.....	121
Imagen 41. Montajes experimentales de los estudiantes. ....	123
Imagen 42. Tinción de semillas y cambios en los montajes experimentales.....	124
Imagen 43. Variación del montaje por humedad.....	125
Imagen 44. Montaje experimental con instrumentos de medida. ....	130

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción general de las fases de la intervención en el aula. Fuente elaboración propia.	96
Tabla 2. Descripción general de la Fase de Introducción. Fuente Elaboración propia.	99
Tabla 3. Descripción general de la Fase de Profundización. Fuente elaboración propia.	104
Tabla 4. Descripción general de la Fase de Socialización. Fuente elaboración propia.	115

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo titulado, ESTUDIO DE LOS PROCESOS Y CONDICIONES EN LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLA DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) Y SU APORTE PARA LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA EN EDUCACIÓN BÁSICA, se desarrolla bajo las directrices de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional, las cuales se encuentran orientadas desde diferentes aspectos en el campo de la profundización epistemológica, disciplinar y pedagógica que han permitido consolidar el objeto de estudio de este trabajo y con ello dar origen a reflexiones producto del diseño e implementación de una intervención en el aula en torno a la germinación de la semilla de frijol, que finalmente aportan significativamente a los procesos de enseñanza de las ciencias naturales, particularmente en la enseñanza de la biología.

A lo largo del trabajo se desarrollan diferentes elementos de profundización sobre la germinación, desde conceptos como el cambio, la organización, el programa, los procesos, las condiciones, el crecimiento y el desarrollo, de los cuales se han podido construir nuevas nociones sobre este fenómeno de estudio que antes no se conocían y así mismo permiten problematizar su incorporación en la enseñanza de las ciencias en Educación Básica.

A partir de esto, surge como objetivo general de este trabajo el dar cuenta de los procesos y condiciones que hacen posible el desarrollo y posterior germinación de las semillas y su aporte en la comprensión de las plantas como entidades históricas como una base desde la cual se pueden tejer las relaciones que existen entre las condiciones y los procesos necesarios para el cambio en la semilla de frijol.

Así, para lograr este objetivo en el capítulo de Profundización Teórica se presentan los elementos de orden histórico y epistemológico que permitieron configurar la germinación como un objeto de estudio para la biología, de igual manera, se recogen diferentes estudios que desde los aspectos técnicos y teóricos permiten ver a la germinación como una convergencia de procesos en donde las condiciones son determinantes para su

funcionamiento entre las que se pueden encontrar el programa de formación en la embriogénesis, el papel del agua como activador del metabolismo celular y el control fitohormonal como regulador del crecimiento y el desarrollo de las estructuras que dan paso de la semilla a la planta.

Con la profundización teórica en el campo disciplinar se obtienen algunos elementos de orden pedagógico que se incorporan al trabajo con el propósito de consolidar la intervención en el aula. Entre estos elementos se pueden encontrar, el papel de las actividades desencadenantes, la observación y del experimento en la construcción de explicaciones sobre la germinación de la semilla de frijol.

Igualmente, en el capítulo de la intervención en el aula se encuentran descritas una serie de fases mediante las cuales se aproximó a los estudiantes a nuevas experiencias para la construcción de explicaciones en torno a la germinación. Esta experiencia se construyó bajo la idea de la historia de vida de las plantas, en la cual por medio del diseño de semilleros los estudiantes experimentaron de primera mano el cambio en la semilla, problematizando así el fenómeno y construyendo explicaciones desde lo observado.

Con la implementación, se obtuvieron registros que permitieron la construcción del capítulo de sistematización, en este se reconocen tres formas de proceder de los estudiantes que son relevantes en la enseñanza de la germinación, entre estos se destacan las actividades desencadenantes y su papel en la configuración de objetos de estudio, los semilleros y su aporte en la comprensión de los cambios y condiciones para la germinación y finalmente la complejización de explicaciones en la comprensión de las plantas como entidades históricas.

Finalmente con los elementos de la profundización teórica, pedagógica y sistematización de la experiencia de intervención en el aula se construye el capítulo final de producción discursiva en el cual se presentan dos puntos de reflexión, el primero sobre el papel de la profundización docente en la comprensión de la germinación y su enseñanza y el segundo sobre el diseño, implementación y sistematización de propuestas para la

enseñanza de la germinación, se desglosan reflexiones que a la luz de los problemas de conocimiento plantean a la germinación como un fenómeno que posibilita en la enseñanza de las ciencias experiencias significativas que movilizan a los estudiantes en el campo de la experimentación y promueven nuevas formas de conocer en ciencias.

## CONTEXTO PROBLEMA

En las últimas décadas, diferentes investigaciones, han mostrado cómo dentro del campo de la enseñanza de las ciencias existen diversas problemáticas. Algunos de estos trabajos hacen énfasis en la desconexión que existe entre lo que se enseña en la escuela y lo que terminan por entender los estudiantes (Guisasola, Gras, Martínez, Almudi y Becerra, 2004). Otros, por el contrario, abordan aspectos procedimentales de lo que sucede dentro y fuera de la escuela (Arca, Guidoni y Mazzolli, 1990) o el escaso aporte de la enseñanza de las ciencias para la comprensión del mundo contemporáneo en el que viven los maestros y los estudiantes (Segura, Arcos y Pedreros, 2005).

En estas investigaciones, diversos elementos como los análisis histórico-críticos, epistemológicos y sociológicos de la construcción del conocimiento científico; o el estudio de los procesos cognitivos, comunicativos y culturales que tienen lugar dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Ayala, 2006), se muestran como elementos fundamentales a tener en cuenta para la construcción de nuevas estrategias que contrastan con lo que tradicionalmente se ha hecho en este campo.

La desconexión entre lo escolar y lo que ocurre fuera de la escuela exige de los maestros de ciencias una reflexión y reformulación acerca de los contenidos de la clase de ciencias y de la manera como se presentan, así como de las estrategias utilizadas en la misma (Duschl, 1997). Igualmente se requiere de parte del maestro mayor conciencia acerca de los fundamentos que se instauran en su discurso y se visibilizan en su quehacer docente.

Ahora bien, en el caso de la enseñanza de la Biología, la Botánica y particularmente en el caso de la germinación, el panorama parece ser igual, diferentes investigaciones (Serrato, 2011) (Ruiz y Zapata, 2017) y (Rivera, 2018) evidencian cómo efectivamente la enseñanza tradicional y los textos de apoyo o de difusión, desconocen el carácter histórico de los procesos estudiados, así como las relaciones que se pueden establecer al profundizar en los conceptos que se derivan de estos procesos y las explicaciones que los estudiantes pueden construir sobre los mismos.

Ilustrando un poco lo anterior en Barrera et al., (2013) la enseñanza de la germinación no suele tener un papel protagónico en los currículos de Ciencias Naturales, además cuando se considera es superficial e incluso insuficiente o de manera descontextualizada, lo cual se puede deber en palabras del autor, a *barreras conceptuales y uso de términos complejos*, que enfrentados a lo largo de las explicaciones en el aula constituyen problemas que se traducen en dificultades para la enseñanza y la comprensión, no solo de la germinación sino también de otros temas relacionados con el crecimiento de las plantas.

Así también, para Barrera et al., (2013) la temática de germinación dentro de la enseñanza de la Biología se encuentra estrechamente relacionada con las diferentes formas de explicar que poseen los docentes (ilustrativa, teórica o práctica) lo que supone una problemática adicional, puesto que no es característico del docente de Ciencias Naturales profundizar más allá de lo escrito en los libros de texto sobre el tema (explicación teórica) o establecer diferencias claras y significativas del concepto de germinación y otros temas asociados a procesos de cambio en las plantas.

Frente a estas afirmaciones en el siguiente apartado se presenta una reflexión y comparación a propósito del significado que tiene la germinación en las políticas públicas del campo educativo, la manera como se encuentra formulada en los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (1998), los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales (2004), los Derechos Básicos de Aprendizaje (2016) y así mismo en los Planes de estudio de Básica Secundaria para el área de ciencias naturales, esto permite generar reflexiones producto de experiencias en el aula, su relación con la germinación y la relevancia para la enseñanza de las ciencias y particularmente para el estudio de las plantas, finalmente se evidencia cómo los espacios de formación en el programa de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales aportan a la formación docente y a la profundización de temáticas relacionadas con la enseñanza de la Biología en la educación Básica.

## **LA GERMINACIÓN COMO OBJETO DE ESTUDIO EN LA EDUCACIÓN BÁSICA**

A continuación, se exponen las principales consideraciones curriculares y legislativas con el propósito de problematizar la germinación dentro de la enseñanza de las Ciencias en educación Básica Secundaria, teniendo en cuenta su mención, interpretación y relación con procesos biológicos en las plantas.

En primera instancia con respecto a los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (1998), para el apartado de los contenidos curriculares de primaria, de grado primero a tercero, se tiene una primera mención de la germinación como una fase de los procesos vitales y de organización en las plantas, además se encuentra dentro de un subíndice sobre los procesos biológicos, lo cual solo se vuelve a considerar para grados cuarto, quinto y sexto como parte del ciclo de vida de las plantas, sin embargo, no hay mayor desarrollo o profundización.

Lo anterior da cuenta del poco protagonismo del tema, ya que desde los Lineamientos Curriculares no hay mayor detalle de la temática o del por qué se considera necesario incluirla en el currículo de primaria o bachillerato. Si bien se reconoce como una fase del proceso de crecimiento de las plantas no se entiende cómo su comprensión permite dar cuenta de los procesos vitales y de organización en las plantas en los grados en los que se debe estudiar.

Así mismo, al revisar los Estándares Básicos de Competencias para el Área de Ciencias Naturales (2004) elaborados por el Ministerio de Educación Nacional, se encuentra que la enseñanza de la germinación nuevamente no tiene mayor mención o relevancia, aunque se reconoce que podría llegar a tener un espacio propio dentro del campo de la enseñanza de las Ciencias Naturales, no es claro el cómo se podría llegar a incluir.

En primer lugar, para el caso de los Estándares Curriculares de grado primero a tercero se describen temáticas como: el estudio de los seres vivos, sus características y funciones, donde se problematizan conceptos como cambio, desarrollo, ciclo de vida y



crecimiento<sup>1</sup>, que, aunque se relacionan con el proceso de germinación, no son diferenciados, así como tampoco se precisa por qué son conceptos necesarios para el estudio de los seres vivos.

Por ejemplo, en grado tercero se expone que el estudiante al terminar el año logra “Comprender que los seres vivos (plantas y animales) tienen características comunes, se alimentan, respiran, tienen un ciclo de vida, responden al entorno y logra diferenciarlos de los objetos inertes”, lo que da sentido a la pertinencia de las temáticas en los primeros cursos escolares, sin embargo, en otros apartados se afirma que el estudiante terminado grado tercero “Explica los procesos de cambios físicos que ocurren en el ciclo de vida de plantas y animales de su entorno, en un período de tiempo determinado”, esto permite suponer que para los Estándares en este grado, el ciclo de vida en las plantas está asociado a cambios físicos, sin embargo, se desconoce o hay poca mención de los procesos que permiten dar cuenta de estos cambios (la germinación no se menciona a lo largo del documento, se intuye que en las competencias de comprensión sobre ciclo de vida de las plantas y en los apartados de características morfológicas y fisiológicas, sea necesario incluir el tema).

En segundo lugar, en los Estándares de grado cuarto a sexto no se da más información sobre estos procesos de cambio en los seres vivos ya que se enmarca el currículo en análisis físicos, químicos y ecológicos, es decir, factores externos a los seres vivos y muy poca mención de lo que sucede al interior de estos, desconociendo lo que se pudo construir en grados anteriores.

En tercer lugar, desde grado séptimo a octavo el currículo se centra en la organización, composición y características de distribución geográfica, como es el caso de las adaptaciones, relaciones en los ecosistemas o biogeografía, direccionando las competencias de los estudiantes de manera general al determinar cómo los seres vivos

---

<sup>1</sup> Estos conceptos de cambio, desarrollo, ciclo de vida y crecimiento, serán profundizados en el apartado de marco teórico, sin embargo, para este trabajo es de particular interés el concepto de desarrollo, involucrado en la germinación, que desde algunas perspectivas teóricas está relacionado con los conceptos al inicio mencionados.

se relacionan con el ambiente, desconociendo nuevamente lo trabajado en los primeros grados de escolaridad y lo que sucede particularmente en el interior de los seres vivos.

Finalmente, en los Estándares para grado noveno, siendo el último grado de enseñanza de la Biología, se presenta una aproximación a los procesos de transformación en los seres vivos producto de la evolución, no obstante, los cambios en las plantas no tienen mucha mención y no hay competencias asociadas a las mismas en este grado.

En trabajos como los realizados por Salgado y Guevara (1998) y García (2005), se analizan algunas experiencias en aula que incorporan la temática de germinación y en las cuales se deja como conclusión que el proceso de germinación tiene una comprensión compleja que requiere de conocimientos previos detallados de procesos biológicos, químicos y bioquímicos los cuales desde el caso del currículo y libros de texto se encuentran casi ausentes en primaria y no muy desarrollados o fraccionados en básica secundaria.

Es por esta razón que en la enseñanza de la germinación el reto que el docente debe afrontar para facilitar el aprendizaje se traduce en la simplificación de varios aspectos del proceso, ya que no se cuenta con la preparación previa en el estudiante que le permita comprender toda una serie de relaciones complejas en torno a la germinación.

Los autores Salgado y Guevara (1998) y García (2005) comparten la idea que, para posibilitar la comprensión de los procesos biológicos de las plantas, la germinación es un tema base e indispensable, sin embargo, reconocen que los procesos transmisionistas de la enseñanza de este tema dificultan o son el principal obstáculo de comprensión para los estudiantes.

Problemáticas como las señaladas anteriormente, pueden relacionarse con el poco material educativo que hay sobre la germinación, como consecuencia de esto en los Lineamientos, Estándares y DBA no se reconoce esta temática como algo relevante para la formación del estudiante, de ahí que se tengan que tomar medidas para mejorar la

enseñanza de temáticas botánicas debido principalmente a la ausencia de las plantas como un objeto de estudio significativo en el currículo de las Ciencias Naturales.

Por otro lado, en lo referente a los Derechos Básicos de Aprendizaje de Ciencias Naturales (2016), solo hay mención de la temática de germinación en grado segundo al considerar que el estudiante “Representa con dibujos u otros formatos los cambios en el desarrollo de plantas y animales en un período de tiempo, identificando procesos como la germinación, la floración y la aparición de frutos”, lo que en parte se relaciona con las competencias tratadas anteriormente.

De igual forma, en los Planes de Estudio se evidencia, en primer lugar, que el papel de las plantas como objeto de estudio de las ciencias naturales no es relevante, si bien hay un interés en los primeros grados de escolaridad por desarrollar competencias de observación y análisis de este grupo de seres vivos, conforme se avanza en el proceso formativo se pierde su mención, por lo que al terminar la educación Básica el objeto de estudio en Ciencias Naturales está más relacionado con otros reinos de la naturaleza; en segundo lugar, la germinación, se moviliza desde varias perspectivas conceptuales ya que al hablar de ciclos de vida, crecimiento, desarrollo o cambios físicos en grados iniciales no es claro si la germinación hace parte de todos los procesos o si es un ejemplo de ciclo de vida, una fase de crecimiento, de desarrollo o si por el contrario es un proceso producto de un cambio físico en las semillas.

Esto no difiere mucho de lo que se puede visibilizar en los libros de texto<sup>2</sup>, en donde inicialmente, en términos de espacio ocupado en las temáticas, las plantas tienen muy poca mención o atención a su estructura, composición y función. Para los grados de primaria hay apartados superficiales sobre las plantas, su organización, disposición de las partes, funciones nutricionales y sus aportes a los ecosistemas. En los grados superiores (Séptimo, Octavo y Noveno) se presenta de manera fraccionada las temáticas

---

<sup>2</sup> Se realiza un análisis de material en físico de libros de texto que actualmente se manejan en el ejercicio docente de Ciencias Naturales, grados Cuarto de primaria, Séptimo, Octavo y Noveno de Bachillerato. Así mismo se tienen en cuenta revisiones digitales de algunos de los textos más representativos en la enseñanza de las ciencias naturales para primaria y secundaria.

anteriores y de manera poco representativa, pareciera ser que lo que se aprende en primaria no es necesario que se profundice en secundaria.

En algunos textos de básica secundaria las plantas se detallan desde las estructuras que intervienen en los procesos fotosintéticos, pero no tiene mayor mención a los procesos de crecimiento, condiciones nutricionales o funciones relevantes para entender cómo las semillas, tras el proceso de germinación, permiten la constitución de una planta.

### **Sentido en la enseñanza de las ciencias**

En este apartado se reconoce que la temática a trabajar no surge de manera arbitraria, responde a un interés personal por profundizar y mejorar los procesos de enseñanza de la Botánica, configurar las plantas como objeto de estudio en Básica Secundaria y tratar así de dar respuesta a la notoria falta de estudio y contextualización de concepciones en torno a la botánica evidenciadas en los apartados anteriores.

Inicialmente las reflexiones producto de la práctica se deben a las limitantes encontradas al incorporar en el aula estrategias centradas en la enseñanza de la botánica, si bien, se han desarrollado proyectos, experiencias desde la siembra de plantas e incluso se han elaborado productos a partir del uso de frutas o semillas cultivadas por los propios estudiantes, se ha hecho difícil contextualizar las concepciones, relacionar los procesos y dar sentido a las explicaciones de los estudiantes a partir de las descripciones de los procesos que acontecen en el interior de las plantas.

En los últimos años en el marco del evento de la semana de la ciencia de la institución<sup>3</sup>, se ha profundizado en temáticas botánicas, el encuentro invita a todos los cursos y aunque se celebra en el mes de octubre, su preparación demanda un arduo trabajo que inicia desde los meses de marzo y abril e incluso convoca a otras asignaturas fuera de las Ciencias Naturales con el propósito de que los proyectos sean transversales a varias

---

<sup>3</sup> Colegio Parroquial Santiago Apóstol de Funza, institución de carácter privado en donde se labora como Docente de Biología de Básica Secundaria desde hace 3 años.

áreas y puedan ejecutarse con el apoyo de la mayoría del cuerpo docente, esto ha permitido que en los últimos años haya continuidad y sean profundizados los procesos de aprendizaje.

Para los últimos dos años en la semana de la ciencia se han desarrollado proyectos como semilleros en casa, huertas urbanas, seguridad alimentaria, bioplásticos y cultivos sostenibles que pretenden, pero no siempre logran, hacer de las temáticas ambientales y agroecológicas algo relevante para la formación de los estudiantes, que dinamizan el desarrollo de las propuestas y permiten que los estudiantes se aproximen desde diversos frentes a lo que cotidianamente aprenden en las clases de Agroindustria, seminario obligatorio para todos los cursos con intensidad horaria de dos horas a la semana y el cual es responsabilidad del área de Ciencias Naturales.

Desde estos planteamientos, es necesario potenciar los procesos de enseñanza en la institución puesto que el énfasis Agroindustrial del colegio en los últimos años se ha limitado al desarrollo de temáticas, sin promover la formación de habilidades y formas de proceder en los estudiantes en función del crecimiento, desarrollo, germinación y otros fenómenos biológicos asociados a las plantas, que hacen posible dar mayor coherencia al énfasis de la institución y responder a las condiciones del contexto agrícola de la región.

A propósito de lo anterior, también se ha hecho difícil generar experiencias en aula ya que la institución no cuenta con la infraestructura necesaria para llevar a cabo las actividades prácticas de cultivo donde se evidencian los cambios asociados a las plantas producto de la germinación u otras aproximaciones para que el estudiante construya nociones particulares sobre este fenómeno, no solo como respuesta a los proyectos de La Semana de la Ciencia, sino también para su formación como Bachiller Agroindustrial que es el título que otorga la institución a los graduados en grado once.

Otro problema que reúne y sintetiza lo anterior es el interés que tiene el docente por conocer y enseñar sobre las plantas, lo que también sugiere una limitante ya que, si no está dentro del currículo, los DBA, Estándares, Lineamientos o Planes de estudio, es

poco probable que el docente explique por su cuenta algunas temáticas o determine ciertos espacios para diseñar unidades temáticas de profundización sobre nuevos temas.

Así mismo, la carga horaria de un docente de Ciencias Naturales dificulta en muchas ocasiones el desarrollo de proyectos transversales que permitan incorporar las plantas de manera viable, pero la limitante más significativa puede evidenciarse en las formas de explicar que han tenido los estudiantes a lo largo de su proceso educativo que en algunos casos los llevan a entender y a hablar del crecimiento, desarrollo, ciclo de vida, germinación, etc., como aspectos semejantes, no diferenciados y simplificados que demandan del docente un esfuerzo mayor al reestructurar o direccionar lo que los estudiantes han aprendido y entendido sobre germinación.

Por esta razón, en el estudio de las Ciencias Naturales y en el caso particular de la Biología, se presenta un problema entre lo que enseña el docente y lo que entiende el estudiante, por ejemplo, la germinación como proceso se relaciona con las etapas de desarrollo en las plantas dado que se explica cómo el paso mediante el cual la semilla se convierte en planta (aunque no es claro en qué momento comienza o en qué momento termina) sin embargo, es poco lo que se dice sobre qué condiciones hacen posible el proceso de germinación o lo que ocurre en la semilla para dar lugar a las estructuras que conforman la planta.

De ahí que, sea difícil separar los diferentes sentidos que puede tener el proceso de cambio en la semilla y si estos cambios son propios de la germinación o configuran otras etapas de desarrollo en las plantas, dando así razón a las posibles confusiones que pueden tener los estudiantes o incluso los mismos docentes.

Ahora bien, lo anterior expone otro momento de crisis en el desarrollo del trabajo ya que las concepciones sobre el cambio en la semilla también son variadas y se aplican a diferentes momentos del ciclo de vida de una planta, por ejemplo, en los libros de texto se encuentra que las semillas son la etapa inicial de las plantas, es decir, una planta comienza su ciclo de vida a partir de una semilla, pero al mismo tiempo los textos también

mencionan que una semilla puede hacer parte de la fase final de la planta al provenir de un fruto, debido a que en algunas plantas después de la etapa de maduración de los frutos se marchitan y mueren dejando solo sus semillas.

Lo anterior, lleva tanto al maestro como al estudiante a enfrentar las *barreras conceptuales*<sup>4</sup> (Barrera et al., 2013) que impiden la profundización y claridad en la enseñanza de la Botánica, específicamente de los procesos en las plantas, como lo es la germinación y su relación con los cambios que sufre la semilla para convertirse en una planta.

En este sentido, la germinación en los procesos de enseñanza de las ciencias naturales deja en evidencia las dificultades que hay en el abordaje de las plantas como objeto de estudio en las Ciencias Naturales y su incorporación en el currículo.

Las preocupaciones que se han tenido sobre la práctica y el sentido de la enseñanza de las ciencias se relacionan con los saberes y sentires producto de la reflexión derivada de los espacios de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales.

### **Reflexiones derivadas de los espacios del programa Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales**

El programa de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional propone desde sus seminarios consideraciones que hacen posible ver la germinación como una complejidad, problematizada desde los procesos biológicos, químicos, bioquímicos etc., que la hacen posible, así como el análisis de lo que sucede al interior del aula, la clase de ciencias naturales y la práctica docente, dando sentido a la emergente necesidad de profundizar en aspectos Históricos, Disciplinarios y

---

<sup>4</sup> Barrera et al., (2013) presenta las barreras conceptuales como los momentos críticos en los cuales tanto el docente como el estudiante abarcan una temática de estudio de manera superficial ya que la comprensión de la temática en su totalidad demandaría de especialistas formados en ese campo de saber, en el caso de las plantas, los contenidos bioquímicos requerirían de un docente capacitado para desarrollar toda la trama explicativa de la acción fitohormonal en los tejidos vegetales que dan lugar a la diferenciación celular en la semilla, su desarrollo y posterior germinación.

Epistemológicos que permiten dar cuenta de cómo se configura la germinación como un objeto de estudio para las ciencias naturales y la biología.

Esta complejidad emergente en las explicaciones que se dan sobre la germinación de una semilla se visibiliza como un desafío y posibilidad para hacer de la enseñanza de las Ciencias Naturales un campo de reflexión y cuestionamiento de lo vivo, reformulando tal vez lo que desde la práctica se ha dejado de lado, simplificado o por desconocimiento no se ha considerado.

Para este contexto inicialmente, el seminario la comprensión de lo vivo permitió una aproximación teórico-práctica del estudio y complejización de los procesos biológicos, ampliando las concepciones iniciales sobre los organismos, sus estructuras y funciones. Así, el arduo trabajo de observación y atención al detalle permitió hacer de la función de respiración un punto de quiebre entre lo que se conocía anteriormente y lo que se llegó a comprender sobre la respiración en los insectos.

Las estructuras y su disposición son claves para la comprensión de la función que permite a un organismo como en el caso de los insectos respirar. Estas reflexiones fueron aspectos fundamentales para considerar desde el seminario de la comprensión de lo vivo, a la germinación como un objeto de estudio de interés para la biología y particularmente para la enseñanza de las ciencias naturales.

En lo planteado anteriormente sobre las reflexiones derivadas de la práctica, el espacio del seminario de la comprensión de lo vivo direccionó algunas de las inquietudes y problemáticas evidenciadas en torno a las plantas en la enseñanza de las ciencias y que desde el reconocimiento de la importancia de los procesos en lo vivo permitieron consolidar este trabajo y que si bien antes se habían considerado, no se contaba con la perspectiva necesaria para hacer de esas temáticas discusiones y problemas de conocimiento (Valencia et al., 2003).



Así mismo, el seminario de la Ciencia como Actividad Cultural y El Aula como Sistema de Relaciones, desde sus consideraciones pedagógicas, han permitido reflexionar sobre lo que sucede en el aula, la práctica docente y la enseñanza de las ciencias naturales, junto con sus limitaciones, ventajas y potencialidades. De ahí que las consideraciones del apartado anterior de la práctica docente hayan emergido a propósito de la observación e incluso de la sistematización de experiencias que se tuvieron en aula en los últimos años.

Además de lo anterior, dentro de los espacios de la maestría, particularmente los seminarios de pedagogía, se evidencia en diferentes actividades de sistematización de experiencias, que dentro de la práctica pedagógica hay algunas problemáticas recurrentes en la enseñanza de las ciencias, ciertas perspectivas y concepciones que rondan la escuela y que dan lugar a preocupaciones sobre el lugar que tiene la información en la enseñanza de las ciencias naturales y lo que se entiende por conocimiento.

Es relevante reconocer que autores referentes de los seminarios como Elkana (1983), Segura (1998) Arca, Guidoni y Mazzoli (1990) sobre la enseñanza de las ciencias naturales, las imágenes de ciencia y el papel de la experimentación, hacen suponer que el docente de Ciencias, el estudiante y el aula son agentes dinámicos, contextuales y así mismo es indispensable la continua reflexión y reestructuración para aportar a los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En el caso del seminario de Fundamentación en Investigación Educativa se retoman aspectos importantes sobre la complejidad del aula y el replanteamiento de las instituciones educativas y la respuesta ante las necesidades disciplinares y pedagógicas de la sociedad actual. De ahí que la investigación en educación sea vital para determinar las mejores formas de proceder y de transformar la escuela, la enseñanza y la ciencia.

Es importante reconocer al docente como un investigador, el cual, a través de los ejercicios de sistematización de sus propias experiencias, recupera no sólo su proceso

sino también las formas de proceder, en el caso de las Ciencias Naturales se constituye como un agente que reconfigura su práctica y aporta a la enseñanza de las ciencias naturales en la educación básica.

Los seminarios de pedagogía e investigación en educación son un punto de partida que posibilita desde la sistematización, comprender las prácticas implementadas en el aula, lo que se puede optimizar e identificar las prácticas que no son acordes y se deben reestructurar. Así mismo la sistematización no solo representa un trabajo escritural sobre lo que construye el estudiante, es una posibilidad de reconocer lo que significa para el docente lo que hace, cómo lo hace y para qué lo hace (Elkana, 1983).

Finalmente, el seminario de Fenomenología de la Transformación de las Sustancias aporta al reconocimiento de la importancia que tiene la experimentación para generación de aprendizajes dinámicos más acordes a los propósitos de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, en donde el docente es un facilitador de experiencias que permiten al estudiante construir y reconstruir fenómenos propios de las ciencias reconociendo su historia y las condiciones que los hacen posibles.

De esta manera los espacios dentro del programa de la Maestría son un punto de reflexión tanto disciplinar como pedagógica en torno a diferentes aspectos tales como: ¿Qué se enseña cuando se enseñan ciencias en la escuela?, ¿Cuáles son los métodos?, ¿Qué teorías se orientan?, ¿Cuál es la historia detrás de las teorías?, ¿Qué papel juega el experimento? y todas las preguntas y reflexiones que surgen en el docente con motivo de reconocer sobre su práctica sus éxitos y aspectos a reconfigurar para mejorar los procesos de aprendizaje con los estudiantes.

## DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Pensar elementos como el carácter memorístico de las explicaciones sobre la germinación, su relación con otros procesos, y la importancia de reconocer la diferencia que subyace en los mismos, así como el papel relevante que tiene la contextualización en su construcción; nos invita a repensar las maneras, las rutas o las secuencias que se siguen en la educación media para la enseñanza y aprendizaje de las plantas, al igual que el significado que adquieren, no solo los estudiantes al permitirles una comprensión del mundo que los rodea, sino también para el docente y su formación pedagógica y disciplinar.

En este trabajo, el interés por profundizar en el fenómeno de la germinación de una semilla, surge en un contexto particular, por lo que es necesario considerar dichos elementos y construir a la par un discurso en lo disciplinar y lo pedagógico frente a este proceso y su configuración como un objeto de estudio para la educación básica, lo cual permita darle un significado claro en el contexto de la botánica y en el caso de la educación básica posibilitar la articulación de éste en las maneras en que los estudiantes se aproximan a la comprensión de procesos relacionados con el cambio no solo en las plantas sino también en otros organismos.

En este orden de ideas este trabajo se propone dar cuenta de la siguiente afirmación:

*El estudio de los procesos y condiciones que hacen posible el desarrollo y posterior germinación de las semillas permiten comprender las plantas como entidades históricas*

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Dar cuenta de los procesos y condiciones que hacen posible el desarrollo y posterior germinación de las semillas y su aporte en la comprensión de las plantas como entidades históricas.

### **ESPECÍFICOS**

- Profundizar en aspectos Históricos, Disciplinarios y Epistemológicos que dan cuenta de las plantas como entidades históricas objeto de estudio de las Ciencias Naturales y particularmente de la Biología.
- Diseñar, implementar y sistematizar una intervención en el aula acerca de los procesos y condiciones que hacen posible el desarrollo y germinación de las semillas.

## JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se consolida a partir de la profundización teórica en el campo disciplinar de la biología en lo referente a la germinación de una semilla y cómo esta ampliación da cuenta de las condiciones que hicieron posible la configuración de la germinación como un objeto de estudio para la botánica y la biología.

Así mismo, en el campo de trabajo de la Docencia de las Ciencias Naturales, pueden identificarse perspectivas que permiten dar cuenta del por qué se enseñan estas temáticas en básica secundaria y la forma de aproximación que tienen los estudiantes a su comprensión, de ahí que con la profundización disciplinar se determinen aspectos relevantes para el diseño y posible ejecución de una intervención pedagógica y didáctica en el aula, una sistematización sobre la experiencia y la producción de un discurso sobre lo que se dice y hace sobre la germinación.

Gracias a los avances científicos y tecnológicos de la actualidad se ha hecho preciso que la educación y formación en ciencias avance del mismo modo, conjugando tanto metodologías innovadoras como procesos de enseñanza-aprendizaje de las aulas que aporten a los estudiantes en su formación científica. Esto se debe a dos motivos principales, uno en relación con el intento de introducción y fomento real de las Ciencias en las aulas desde temprana edad, ya que se suelen encontrar relegadas a un segundo plano debido principalmente al uso de terminologías complejas. Mientras que, por otro lado, se pretende desarrollar el gusto por el método científico en las aulas para brindar las herramientas, destrezas y habilidades necesarias para el estudiante, con el fin de formar personas críticas frente al mundo que los rodea. Así, potenciando la curiosidad y puesta en acción de la indagación y experimentación para lograr un conocimiento y aprendizaje significativo de los fenómenos del mundo.

Comúnmente en la enseñanza de las ciencias naturales, y sobre todo en los niveles de formación primaria hay proyectos de germinación, particularmente de frijol, lenteja o arveja, en donde los estudiantes ven de primera mano el surgimiento de una planta a

partir de sus semillas. Sin embargo, es hasta grados superiores que se comprende parte de la serie de sucesos y condiciones que posibilitan este proceso.

Finalmente se identifica desde una perspectiva y fundamento que responda a la integración de las dimensiones disciplinares y pedagógicas de la ciencia y la tecnología en la formación en ciencias, y le apuesta a la incorporación de los aspectos teóricos y epistemológicos que hacen de la germinación un punto de partida para comprender a las plantas como entidades históricas.

## PROCEDER METODOLÓGICO

Teniendo en cuenta las directrices del grupo de investigación Eco-perspectivas de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, es preciso reconocer que las imágenes de conocimiento cumplen un papel importante en las prácticas escolares que desarrolla el docente de ciencias (Valencia, 2017). Así, aspectos relevantes como las explicaciones del mundo natural y el asumir el conocimiento como un proceso de construcción colectiva permiten presentar en este capítulo la forma de proceder de este trabajo, en el cual se establecen las relaciones de conexión entre los diferentes capítulos del trabajo, el diálogo en los referentes teóricos y pedagógicos, así como también los elementos que permitieron configurar la intervención en el aula, la sistematización de experiencias y la producción discursiva.

En este trabajo se reconoce el papel que ocupa el conocimiento en la enseñanza de las ciencias, el cual es considerado desde el referente de los problemas de conocimiento (Valencia y otros, 2003), debido a que al concebir la enseñanza de las ciencias como una dinámica que cobra sentido a partir de complejas relaciones que se entretajan entre las imágenes de ciencia y de conocimiento, se pueden reformular las formas de proceder en la escuela y el papel que cumple en la sociedad a partir de estrategias de innovación. De igual manera, la construcción de explicaciones del mundo natural desde los postulados epistemológicos, pedagógicos y didácticos de los problemas de conocimiento también aportan en la forma de proceder metodológica de este trabajo.

Así pues, con el propósito de llevar a cabo el objetivo general de este trabajo: Dar cuenta de los procesos y condiciones que hacen posible el desarrollo y posterior germinación de las semillas y su aporte a la comprensión de las plantas como entidades históricas fue necesario establecer en este capítulo una serie de momentos que desde la metodología de investigación cualitativa se presentan en el siguiente diagrama.

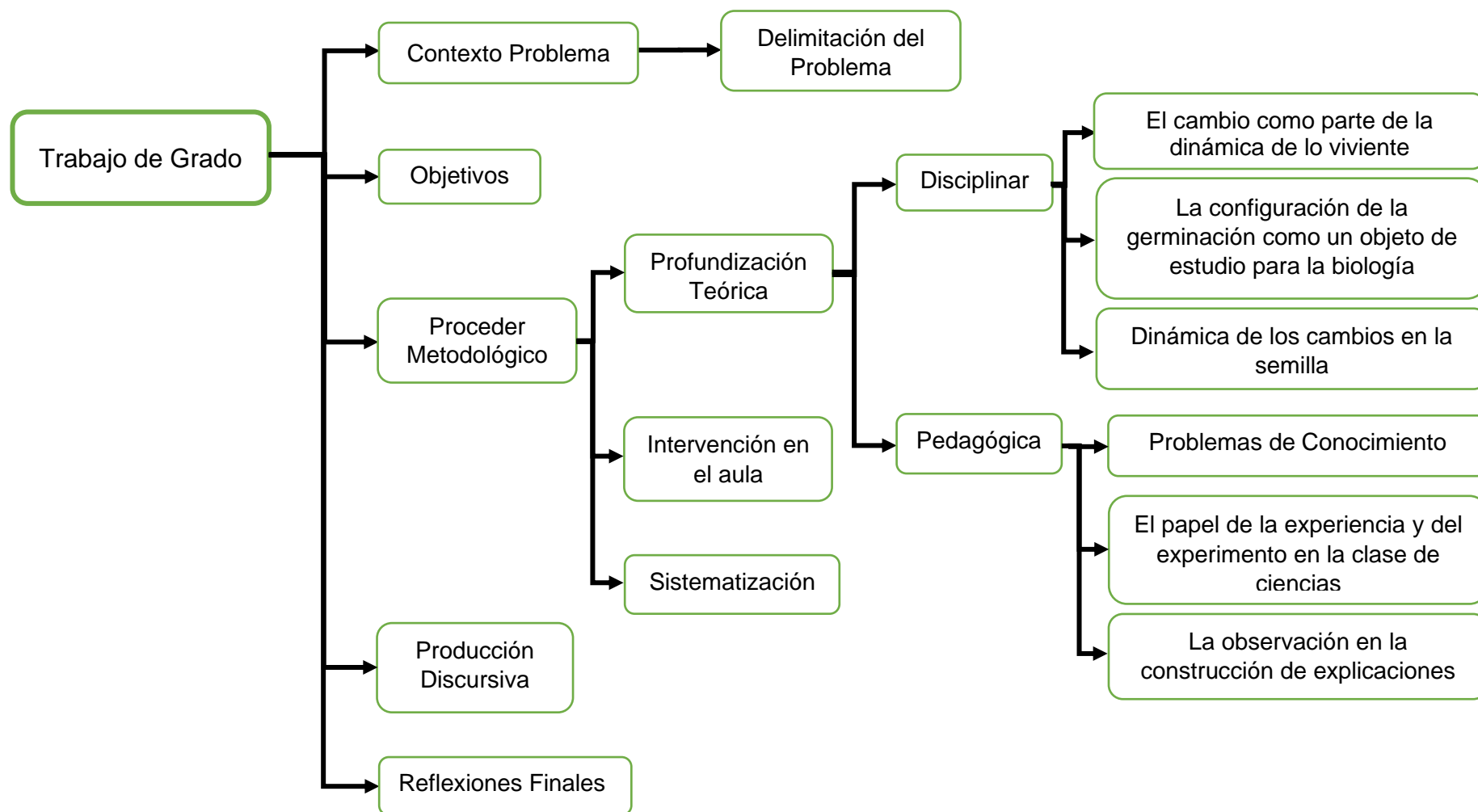


Diagrama 1. Diseño del trabajo de grado<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Esquema de diseño del trabajo de grado, fuente elaboración propia. Presenta de manera general los capítulos del trabajo y algunos de los subíndices generales que fueron importantes para la consolidación del tema.



En primera instancia, la delimitación del objeto de estudio del trabajo, la germinación, se logró a partir de un interés inicial, el cual, a través de diferentes diálogos en los espacios de asesoría, permitió proyectar y reconocer aspectos claves a considerar en la profundización teórica y pedagógica, como resultado se obtienen aportes en el ejercicio de diseño e implementación de la intervención en el aula de la cual se recogieron registros significativos en la sistematización de la experiencia. Todos estos elementos aportan a la construcción de un discurso particular respecto a la enseñanza de las ciencias en la Educación Básica y la incorporación de la germinación como un objeto de trabajo pertinente con las exigencias del contexto en el que se realizó.

A continuación, se desglosa la forma de proceder de la profundización teórica disciplinar y pedagógica, así mismo, se puntualiza en cada uno de los aspectos que fueron relevantes de la profundización y su impacto en la configuración de la intervención en el aula y la sistematización de la experiencia.

## **LA PROFUNDIZACIÓN TEÓRICA EN LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

A través de la profundización teórica, aspecto clave de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, este trabajo de grado sienta sus bases en la importancia de reconocer que los procesos en lo vivo, particularmente en el caso de las plantas, requieren de un marco referencial más amplio del que se puede encontrar en libros de texto escolares o en los estándares curriculares, ya que, desde las diferentes disciplinas de las ciencias naturales se puede enriquecer la explicación de fenómenos y particularmente la germinación en plantas.

De igual modo, es importante reconocer que el docente de ciencias, como investigador, enriquece su labor al profundizar en los aspectos disciplinares, históricos y epistemológicos que le posibilitan, en términos educativos, reconociendo los fenómenos de estudio y permitiendo en los estudiantes construcciones más profundas que aporten a una mejor comprensión de lo que se está estudiando.

Con estos dos principales argumentos la profundización teórica de este trabajo toma como referentes, desde lo disciplinar, a autores como Baker y Allen (1970) en *Biología e Investigación científica*, debido a que en sus capítulos 1, 6, 7, 8 y 9 sientan las bases de complejidad del proceso de germinación y resaltan la distinción de los conceptos crecimiento y desarrollo, así mismo, aportan a la configuración de las estructuras de las plantas como momento clave para la distinción de semillas y plantas. De igual modo junto con las ilustraciones movilizan las explicaciones desde la bioquímica de las fitohormonas que se encuentran presentes en el proceso de germinación y que permiten incluir dentro de la profundización el papel de las condiciones, tanto internas como externas de la semilla antes, durante y después de la germinación.

En sintonía con estos autores se considera también como referente a François Jacob (1986) en *La Lógica de lo Viviente*, ya que de manera más profunda en sus capítulos 1 y 2 da las razones que permiten reconocer a las estructuras visibles de lo viviente como producto de la organización y el programa genético, de ahí que se desarrolle en este trabajo una profundización de la embriogénesis de las semillas de frijol, del programa que hace posible la formación de una semilla y de las condiciones que permiten su activación y correcto cambio en la germinación. Además, esboza en la química de lo viviente, subcapítulo de la organización, un apartado que permite comprender más a profundidad la acción de las sustancias en las estructuras y el cambio que sufren dependiendo de las concentraciones.

De modo similar, Jean- Merie Pelt (1981) en *Las Plantas*, presenta la germinación como el producto del éxito evolutivo, además de incorporar en sus capítulos 6, 7 y 8, la formación de la flor y el fruto como momentos decisivos en la continuidad de las especies de plantas y lo determinante que resulta la formación de la semilla para este propósito, lo cual hace necesario que en la profundización se haga mención al programa y su relación con la germinación desde el referente del Azar y la Necesidad de Jacques Monod (1981) y *Continuidad y Discontinuidad en el Desarrollo de las Estructuras Naturales* de Juan Arana (2015) quienes presentan desde lo concerniente a la forma de lo viviente, las particularidades que pueden tener las especies y su distinción tanto de forma como en

función, de manera individual o colectiva, aspecto que es relevante al considerar a la semilla como un embrión en letargo diferenciado de una plántula o una planta.

Seguido a esto autores como Koller (1959) Kigel (1995) y Nambara (2005), permiten profundizar más en el campo botánico y bioquímico de toda la trama de cambios que posibilitan la transformación de la semilla en planta y las condiciones que hacen posibles esos cambios dan como resultado todo un abordaje disciplinar que pone en juego aspectos de diferentes áreas de las ciencias para dar explicación a la germinación como un proceso particular y complejo de las plantas.

Con la lectura de estos referentes en lo disciplinar, surgen los aspectos a ser considerados en la profundización pedagógica, debido a que con los hallazgos sobre lo que es la germinación de las semillas se da lugar a la explicación del fenómeno como un problema de conocimiento que es objeto de estudio para la biología y la enseñanza de las ciencias, en tal sentido, la germinación de la semilla de frijol ha sido un tema común en la enseñanza primaria de las ciencias naturales, sin embargo, el abordaje del fenómeno, su explicación y comprensión desde las relaciones en la construcción de conocimiento que realizan los estudiantes están lejos de ser claras, se convierten en un conflicto a la hora de reconocer los procesos y condiciones que hacen posible el desarrollo de las semillas y como estas germinan en una entidad compleja llamada planta.

Partiendo de este punto, el papel de la experiencia en la enseñanza de las ciencias termina siendo decisivo para dar respuesta a dicho conflicto, debido a que las formas de proceder en el aula determinan la manera en que el estudiante se aproxima al fenómeno de estudio, por ello dentro de los referentes pedagógicos en donde hay especial mención a los trabajos de Sandoval, Malagón y Ayala (2011) y (2013) en lo referente al papel de la actividad experimental en la construcción de fenomenologías en las ciencias naturales, los cuales dan orientaciones importantes para la intervención en el aula en la manera en que se formularán las actividades para aproximar a los estudiantes a nuevas formas de comprender el proceso de germinación.

Con lo anterior, la observación de montajes experimentales toma protagonismo ya que son el medio por el cual los estudiantes ven y cuestionan al fenómeno de germinación de semillas de frijol, por lo tanto, se realiza una lectura importante de Hanson (2017) en su publicación Observación para tener elementos claves a la hora de diseñar y ejecutar las actividades.

Finalmente, dentro de la profundización pedagógica se evidencia que tras identificar la germinación en plantas como un problema de conocimiento, las representaciones construidas tanto por el docente como por el estudiante son punto clave a analizar desde Hacking (1983) en Representar e Intervenir en sus capítulos 9, 10 y 14 reúne la experimentación, la medición, la observación y las representaciones como ejes articulados que posibilitan en el sujeto la comprensión de la realidad que le rodea y los cuales son puntos de partida para la consolidación de la intervención en el aula.

### **DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN: ELEMENTOS CLAVES EN LA CONFIGURACIÓN DE LA INTERVENCIÓN EN EL AULA**

En los referentes pedagógicos de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, se busca la consolidación de alternativas para las prácticas de enseñanza a partir del docente y su labor como intelectual que construye experiencias relevantes, pertinentes y acordes con las realidades educativas, de ahí que sea motivo de la Maestría que el docente innove en la escuela a través de la enseñanza de las ciencias desde una mirada cultural.

Por tanto, este trabajo se consolida como una alternativa para la enseñanza de la germinación partiendo de los referentes disciplinares y pedagógicos que buscan orientar la profundización teórica y dar más elementos para que los estudiantes a partir de montajes experimentales puedan construir explicaciones del fenómeno desde aspectos como la histodiferenciación, la acción fitohormonal, las condiciones internas y externas y el papel que cumple el agua como activador tisular. Todo esto por medio de la observación, la medición y la pregunta.

De esta forma, la intervención en el aula se diseña a modo de trabajo de experimentación donde el docente por medio de sesiones de clase y montajes demostrativos guía al estudiante para que construya de manera autónoma, proponga variables y seguimiento a semilleros caseros con el objetivo de observar, describir y cuestionar los procesos de cambio en semillas de frijol.

De igual manera, se dejó a disposición del estudiante material de acompañamiento que ilustra las partes de las semillas, los posibles diseños y tablas en donde se consignan los hallazgos y observaciones, así como también grabaciones de las sesiones de clase que le permiten al estudiante volver sobre las explicaciones teóricas y de esta manera, a pesar de la contingencia por COVID-19, se sigue un proceso investigativo desde el hogar, con los materiales disponibles y la recursividad para dar cuenta de la germinación de semillas de frijol.

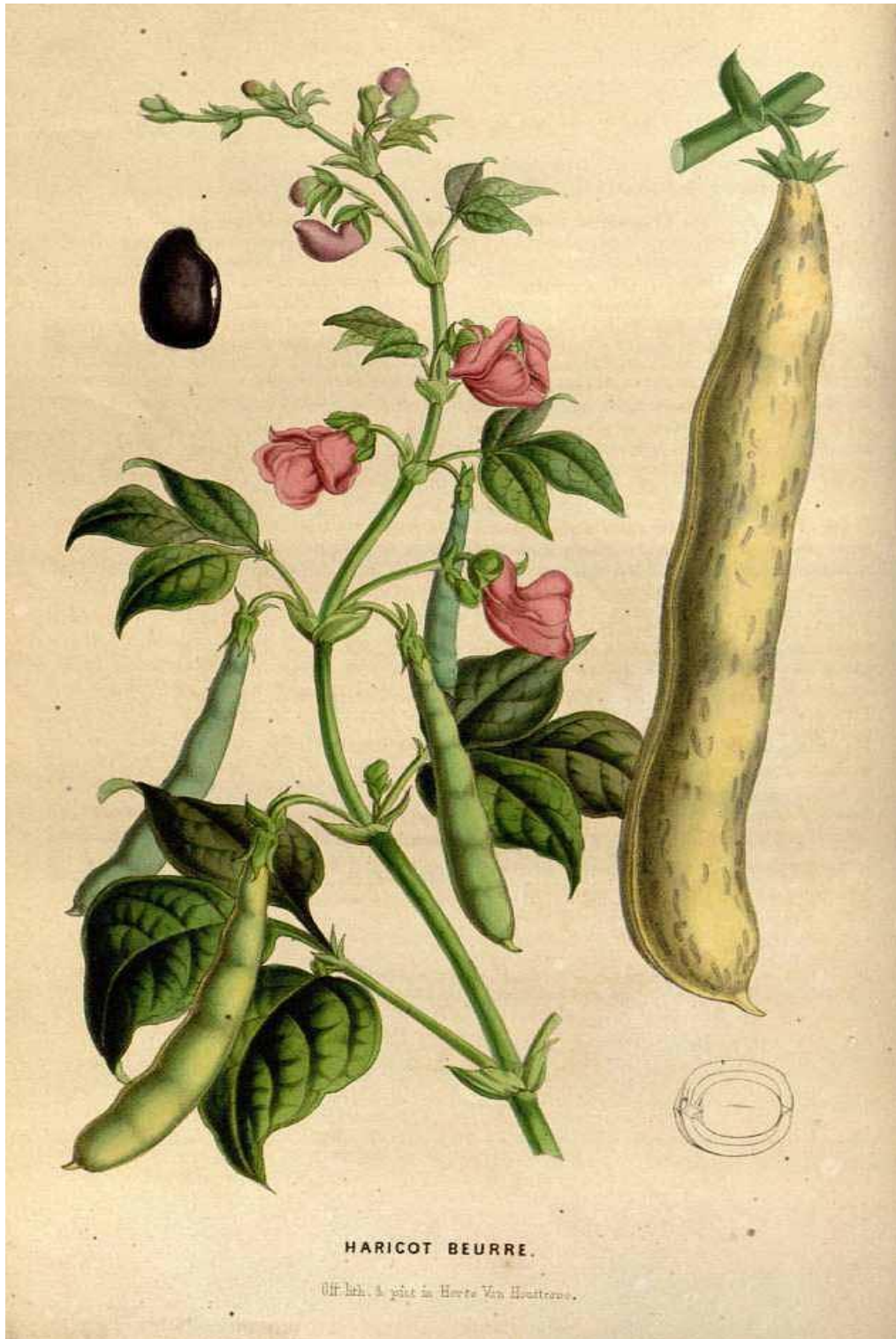
Con este desarrollo, a manera de proyecto, los registros, resultado de la intervención en el aula fueron de tipo fotográfico realizado por cada uno de los estudiantes en un periodo de tres meses de clases virtuales y el cual fue archivado en carpetas compartidas en DRIVE de acceso público para la socialización de las experiencias.

Para el apartado de sistematización de la intervención en el aula se realizó la selección, lectura y análisis de los registros de los estudiantes por medio agrupaciones que fueron construidas a partir de la lectura de los registros y teniendo como referente los aspectos significativos de la profundización teórica y pedagógica, que permitieron reconocer que desde las observaciones, preguntas, explicaciones y métodos de los estudiantes la experiencia de germinación de la semilla de frijol enriquece la enseñanza en ciencias naturales partiendo de la experiencia previa, el papel del experimento y la complejización de ideas en torno a este fenómeno de estudio.

Así mismo, la labor docente en el proceso de organización del trabajo y de la sistematización de la experiencia da elementos para la construcción del capítulo final de producción discursiva en donde se da cuenta a partir de la reflexión docente del ejercicio

de profundización teórica y de los aspectos que permitieron la estructuración e implementación de la intervención en el aula, además de las implicaciones de la sistematización en la recuperación de la experiencia y los aspectos emergentes en la transformación de la práctica docente y de la enseñanza de las ciencias naturales.

De este modo, el trabajo desde el contexto problema hasta la producción discursiva recogerá aspectos de orden disciplinar y pedagógicos que implementados en el aula de clase dan los insumos para considerar desde la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales la germinación como un objeto de estudio significativo para mejorar los procesos de enseñanza de las ciencias y a la comprensión de las plantas como entidades históricas.



*Phaseolus vulgaris*, de Louis Van Houtte Vol. 5 pp 443<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Tomado de Flora de invernaderos y jardines de Europa: descripciones y figuras de las plantas más raras y merecedoras, recién introducidas en el continente o en Inglaterra del Jardín Botánico de Missouri.

## PROFUNDIZACIÓN TEÓRICA

El ejercicio de profundización teórica constituye un elemento fundamental en la labor docente, en el caso de las Ciencias Naturales, permite precisar y organizar elementos de orden disciplinar que aportan al saber del docente e impactan en el desarrollo de la práctica al dar elementos para la enseñanza de las ciencias naturales con propuestas de innovación que contribuyen a los procesos formativos de las instituciones educativas.

Ahora bien, con lo presentado en el Contexto Problema se reconoce que en la enseñanza de la biología, algunas temáticas relacionadas con la botánica se han dejado de lado en el currículo y no se han profundizado lo suficiente, como consecuencia las explicaciones de los estudiantes pueden ser superficiales y poco acordes a las demandas en competencias que se requieren en grados superiores, sin embargo, estas debilidades se podrían superar si en la enseñanza básica se profundizara más sobre los procesos en las plantas.

En el caso particular de la germinación, se pueden presentar varias explicaciones complejas de orden químico, biológico y funcional que dificultan su enseñanza o generan que se designe su estudio únicamente en grados de preescolar y primaria desde ejemplos superficiales menos complejos.

Asimismo, como lo presentan Vidal y Membiela (2005) la formación profesional del docente incide directamente en la forma en que se aproxima a los estudiantes a la comprensión de algunos procesos, lo que supone otro problema debido a que en la formación docente, a nivel de pregrado, los espacios de profundización disciplinar en plantas no son avanzados, es trabajo del docente ya en ejercicio dedicar parte de su tiempo al estudio y profundización de los procesos para su posterior enseñanza.

Ahora bien, aunque la enseñanza de la germinación se ha normalizado en el currículo de los grados de preescolar por medio de actividades prácticas como la germinación del frijol, el proceso involucra y posibilita mucho más, por ejemplo, desde la biología con la



histodiferenciación y desarrollo embrionario, se puede comprender el cambio externo que experimenta la semilla tras el desarrollo de nuevas estructuras como las raíces y hojas y desde la bioquímica la acción fitohormonal permite dar cuenta de las transformaciones al interior de la semilla producto de las condiciones como la humedad y temperatura que hacen posible el cambio en la semilla.

En este capítulo, a través de tres secciones, se dará cuenta de los procesos y condiciones que hacen posible el desarrollo y posterior germinación de las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), para consolidar los criterios que permiten considerar a las plantas como entidades históricas, dando así sentido a la delimitación del problema:

En la primera sección, se profundiza en los aspectos claves de los conceptos como cambio, organización, desarrollo y crecimiento, que permiten configurar los aspectos técnicos y teóricos que hacen de la germinación un objeto de estudio para la biología, con momentos clave en la historia de estudio de las plantas, la configuración de la botánica como rama de la biología y el papel de técnicas que hicieron posible la clasificación taxonómica, identificación de estructuras y compuestos.

En la segunda sección, con el rastreo documental se presenta la germinación como un proceso característico, e indispensable para las plantas (Koller, 1959), incorporando los apartados de los procesos de formación y maduración de la semilla de frijol y las condiciones bajo las cuales se puede dar la germinación. Esta sección se ocupa de describir la semilla antes de la germinación.

Finalmente, en la tercera sección, se presenta la organogénesis de la semilla de frijol, es decir, su paso durante la germinación y la configuración de la planta posterior a la germinación, dando así elementos para construir la historia de vida del frijol desde la semilla hasta la planta.

## **EL CAMBIO COMO PARTE DE LA DINÁMICA DE LO VIVIENTE**

Para este primer apartado es preciso reconocer el proceso de germinación como un suceso de cambios que sufre una semilla antes de convertirse en planta, estos cambios se dividen en una serie de etapas que permiten una a una dar paso a la otra, por ello es importante ver el concepto de cambio como un proceso determinante en la comprensión de la dinámica particular que puede tener una planta desde su inicio como semilla.

Antes de detallar cómo el cambio hace parte del proceso de germinación, es importante entender el concepto desde la postura de permanente modificación, por ejemplo, cuando el cambio es entendido como el proceso mediante el cual se reemplaza una cosa por otra sin la posibilidad de volver a lo que era inicialmente, los organismos se definirían como seres en continuo cambio (Herrero, 2006), sin embargo, lo que sucede con una semilla en el proceso previo y posterior de la germinación resulta ser una acumulación de cambios, es decir, una transformación, la semilla desde su morfología en cada etapa irreversible de la germinación desarrolla nuevas estructuras que la hacen muy diferente de sus etapas anteriores, con cada etapa de cambio se va aproximando a su transformación en planta.

En los planteamientos de Jacob (1986) en el capítulo de organización, el cambio en lo viviente tiene un papel más significativo:

...la existencia de un ser depende, pues, de una armonía entre sus órganos, consecuencia asimismo de una interacción entre sus funciones. Estas relaciones determinan además la posibilidad de modificar los seres vivos... la estructura de un organismo debe adaptarse a un plan de conjunto, un plan de organización que coordine las actividades funcionales... la naturaleza utiliza constantemente los mismos materiales y sólo muestra su ingenio en la variación de las formas... (Jacob, 1986, pp. 104-105)

(Así, cuando hablamos del cambio en las plantas, también hablamos de su organización, la disposición de sus estructuras, sus funciones y los procesos que la mantienen con vida, lo cual resulta en una acumulación de cambios que antes, durante y después de la germinación les permitirán a las células especializarse, unas hacia la raíz, otras hacia el

tallo, y otras hacia las hojas, permitiendo que la semilla deje de ser un embrión en latencia y se configure como planta.)

Desde esta noción de cambio podemos comprender que las relaciones internas entre las estructuras que componen a la planta, dependen de su formación a partir de las etapas de la germinación, asimismo su función también se encontrará sujeta a ese proceso de formación y especialización de cada una de las células producto del cambio en la semilla.

De igual modo en Baker y Allen (1970), los organismos exhiben un tamaño, forma, posición física y química particular en continuo cambio dando dinámica a las entidades vivientes y que desde su complejidad demandan un alto grado de organización.

Aranda (1997) por su parte, sostiene que el cambio en los organismos está ligado a unos procesos de diferenciación continua, lo cual, en términos celulares, se puede evidenciar en el aumento del número de células y en la conformación de nuevas estructuras como los tejidos, de ahí que, para estos autores las entidades vivientes no abarcan sólo el nivel molecular ya que responden a niveles de organización complejos desde los átomos que dan estructura y determinan la funcionalidad de las moléculas pasando a las células, tejidos y órganos que se combinan para formar sistemas y de manera integrada finalmente forma a una entidad viviente.

En este sentido Baker y Allen (1970) también sostienen que, en las células constituyentes de los vegetales, hay procesos de degradación, procesos de síntesis, e incluso procesos de transformación de moléculas y nutrientes necesarios para la formación de nuevos compuestos que permitan a esta entidad organizada crecer (aumentando el número de sus células), desarrollarse (respecto a transformaciones o cambios en sus estructuras), y mantenerse con vida.

Sobre este último planteamiento, de las características de los seres vivos, los mismos autores detallan el crecimiento como parte importante de la dinámica de las entidades vivientes y clave en el cambio de la semilla. Describen el concepto de crecimiento como

un aumento en el tamaño, el cual puede ser producto del incremento en el número de células o de la ampliación del tamaño de las células en el organismo durante su vida.

Según los autores (Baker y Allen, 1970), los organismos unicelulares crecen aumentando el tamaño de su única célula mientras que en organismos multicelulares el crecimiento es el resultado de un aumento en el tamaño individual de las células, el aumento en el número de ellas o ambos, por ejemplo, en los animales hay un período de crecimiento limitado el cual termina cuando el adulto adquiere cierto tamaño característico.

Así, en el caso particular de las plantas hay representantes que continúan creciendo a lo largo de su historia de vida no solo en número de células, sino también en el tamaño de estas hasta el punto en que no puedan hacer llegar agua hasta algunas estructuras producto de la altura y deteniendo así su crecimiento en troncos, tallos, hojas y raíces (Baker y Allen, 1970).

Por tanto, se puede afirmar que el crecimiento es el resultado de un aumento en el número y tamaño de todas las células que en términos de los periodos de vida del organismo pueden ocurrir de manera rápida o lenta (Baker y Allen, 1970).

Durante los periodos de crecimiento, los procesos de síntesis de compuestos necesarios para la generación de más células o más tejidos ocurren en mayor velocidad respecto a los procesos de degradación que sufre el organismo previo a su muerte, esto supone una primera aproximación a la distinción del concepto de desarrollo que se presenta a continuación.

### **El Cambio, el Desarrollo y la Germinación**

A partir de lo que ya se ha expuesto sobre el cambio es importante a la vez tomar en consideración el concepto de desarrollo y su distinción del concepto de crecimiento ya que, aunque ambos procesos están implicados en el cambio de las entidades vivas, no lo hacen de la misma forma.

Para Baker y Allen (1970) el desarrollo se entiende como “la etapa en la que el organismo no solo presenta un aumento en el nivel de células, crecimiento, sino también posee un proceso de diferenciación celular”, por ejemplo, en una planta, hay crecimiento cuando hay división celular, aumentando en el número de células durante los primeros momentos del desarrollo embrionario, y por tanto el incremento de tamaño en la estructura, sin embargo, para que haya desarrollo, las células no sólo se dividen, sino que también se especializan, diferenciándose unas de otras al dar origen a estructuras particulares con funciones determinadas por el programa almacenado en cada núcleo de las células.

Por ejemplo, en el caso de la germinación de la semilla a la planta las células se especializan desde la activación de la semilla (ver imagen 1) unas hacia el tejido radicular, otras hacia el tejido vascular y otras hacia el tejido que conformará las hojas de la planta (Pita y Pérez, 1998), cada uno de estos tejidos tiene una función diferente pero indispensable para mantener a la planta durante toda su historia de vida. Durante los procesos de crecimiento en la semilla, con el aumento de células, aumenta el tamaño de las estructuras y con el desarrollo de la semilla cada estructura se va diferenciando más con el paso del tiempo.

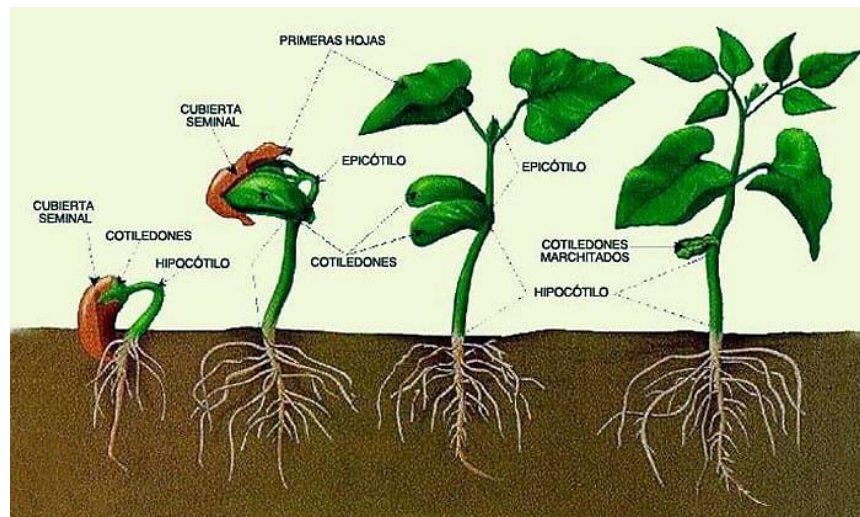


Imagen 1. Estados sucesivos de la germinación de *Phaseolus vulgaris*<sup>7</sup>. Imagen tomada de Rost et al., (1979) *Botany* capítulo 14 semillas y frutos.

<sup>7</sup> En la imagen se pueden apreciar la ilustración de diferentes momentos de cambio de la semilla y la distinción de las afirmaciones sobre crecimiento y desarrollo debido a que conforme en la semilla se da la

Así, el concepto de desarrollo y su distinción del concepto de crecimiento aporta en gran medida a comprender cómo se generan los cambios que permitirán la conformación de nuevas estructuras y la transformación de la semilla en planta durante la germinación.

En este apartado se consideran el cambio, el desarrollo y la germinación debido a que los tres conceptos se encuentran estrechamente relacionados, es decir, la germinación no se lograría si no hay un desarrollo y este tampoco se daría si no hay crecimiento del embrión en la semilla y en las estructuras (Baker y Allen, 1970), lo cual permite considerar que para lograr este cambio a nivel celular se requiere un cambio en la expresión del material genético, es decir, que en el programa de cada célula del embrión se encuentra la información que permitirá a cada célula especializarse para conformar tejidos de las raíces, tallo y hojas. El programa debe ser activado o está condicionado por algunas sustancias como las fitohormonas que controlan los momentos de crecimiento y desarrollo en la semilla y la planta.

Asimismo, la posibilidad de expresión de este programa dependerá de ciertas condiciones internas y externas que posibilitan el cambio, dicho de otra manera, es a partir de las condiciones internas y externas que una semilla puede cambiar a través del proceso de germinación, crecer en el número de células y desarrollarse al configurar nuevos tejidos y estructuras.

Tras el proceso inicial de cambio en la semilla, según los planteamientos de Doria (2010), en la germinación del embrión, se despliegan hasta su madurez toda una serie de estructuras, funciones y características complejas que sugieren todo un sistema de relaciones que posibilitan, en el embrión y su organización interna, el desarrollo de nuevas formas anteriormente inexistentes que configurarán a planta como una entidad muy diferente al embrión original.

---

especialización de células para la constitución de los principales tejidos, algunas estructuras como el hipocótilo se mantienen, otras como los cotiledones cambian conforme se avanza en el desarrollo. Estas estructuras responden al aumento del número de células y del organismo, como se percibe en la imagen de izquierda a derecha.

De igual manera, la germinación como proceso nos permite abordar en las diferentes etapas aspectos de cambio claves; por ejemplo, para Doria (2010):

...la semilla, previa a la germinación, se puede considerar como un signo de reposo, en dónde los cotiledones y el embrión no se encuentran diferenciados, dependen de la acción fitohormonal para dar paso a diferenciación celular que permitirá distinguir las zonas de almacenamiento de almidón que protegen al embrión antes y después del crecimiento, de igual manera en las etapas durante la germinación vemos el surgimiento de estructuras diferenciadas como la emergencia radicular y las hojas primarias que son consecuencia o evidencia de la acción fitohormonal... (Doria, 2010, pp. 75-76)

Es entonces que la germinación se puede pensar como un proceso característico de las plantas mediante el cual se posibilita la constitución de una planta por medio de arduos cambios dependientes de las condiciones ambientales e incluso de la organización interna de la semilla que deberá ser, no sólo viable, sino también lo suficientemente eficiente para garantizar el éxito de la germinación y el desarrollo de la planta.

### **Sobre el Cambio y la organización**

Si el cambio se estructura como el paso gradual de un estado inicial a uno final, diferenciado y no reversible (Anaya y Padilla, 2010) es preciso también reconocer y analizar qué entendemos por organización, en la lógica de lo viviente de François Jacob (1986) en su capítulo la organización, las plantas, por ejemplo, son mucho más que combinaciones de estructuras visibles, plantea que para la segunda mitad del siglo XVIII los seres vivos se convierten en conjuntos de tres dimensiones en los cuales todas sus estructuras se superponen en profundidad.

Según lo anterior, la organización es la forma en la que se reúnen en un todo las partes de los organismos con el fin de hacer frente a las exigencias de la vida. Esta reunión de estructuras organizadas, tanto en su función como en su composición, sin embargo, el concepto de crecimiento no debe minimizarse únicamente al aumento de número de las partes.

Por ejemplo, Jacob (1986) sostiene, un poco más adelante en el capítulo de organización, que las principales dificultades para explicar la reproducción y el crecimiento en los organismos radican en cómo se entiende a la entidad viviente, no sólo desde su estructura, sino desde su molde, entendiendo como molde a la parte de la memoria que contienen todas las células y el cual determina la herencia.

Ahora bien, al analizar la estructura de los seres vivos no son sólo importantes los órganos o tejidos que vemos, sino también sus relaciones, su organización y sentido que se le da al mosaico de elementos por los que se caracteriza un ser y los cuales en la mayoría de las entidades vivas son imperceptibles a simple vista, pero indispensables para la constitución del organismo.

Para Goethe, citado por Jacob (1986), cada ser encierra en sí la razón de su existencia, por tanto, para analizar lo viviente y la dinámica de lo viviente se requiere no solo de métodos, conceptos o un lenguaje particular, sino también de un pensamiento en conjunto sobre los fenómenos, procesos, estructuras y funciones que proyectan las partes de lo viviente, dando así sentido a las tres dimensiones de programa, estructura y función.

Ahora, sí bien las plantas muestran más claramente las combinaciones de sus estructuras (al ver una planta se puede percibir una especie de continuidad de las raíces al tallo, las ramas y su extensión hasta los ápices de las hojas en tonos verdes) pareciera ser que en los animales se demuestra más las exigencias de la organización ya que el movimiento permite hacerse a la idea de lo que es la respiración, reproducción, nutrición etc. Aunque, en las plantas también existen toda una serie de funciones con el propósito de permitir a estas entidades organizadas sobrevivir, visibilizarlas es más complejo a diferencia de los animales, por ejemplo, la respiración o la nutrición en un animal se percibe con mayor facilidad que en una planta.



Por otro lado, si bien la organización de las entidades vivientes está determinada por el programa, el medio que circunda a todas las especies también es un condicionante del cambio y la organización, sea por la disponibilidad de agua, nutrientes, la competencia u otras presiones ambientales. Las condiciones del medio pueden variar el cambio y por tanto la disposición de estructuras y funciones como respuesta a esas variaciones, lo que se puede evidenciar en el lento crecimiento en las plantas por las sequías o cambios en sus periodos reproductivos, así como también en los animales en los periodos de hibernación.

Podemos decir entonces que las plantas ocupan un espacio que debe satisfacer todas las funciones que le exige la vida, permitiendo así que se prolonguen por el suelo, respiren y absorban el alimento que requieren para subsistir. Así mismo, las plantas tienen un tiempo propio el cual dependerá de la relación entre ella y su medio, este tiempo constituye la razón que las liga a compartir con otras plantas un mismo reino y a tener una historia distinta y más prolongada a la de los animales.

### **La Historia de vida de las plantas y el papel del desarrollo**

La historia de vida de las plantas va más allá del crecimiento, desarrollo e incluso de la reproducción, por ello, Jean Marie Pelt (1981) sostiene un planteamiento casi poético sobre las plantas, como si en la observación de estas conociéramos una parte de la historia de nosotros mismos.

En cualquier ser vivo, organismo, estructura o comportamiento hay un fin, una razón de ser, Pelt (1981) con palabras del propio Jacques Monod, expone que todo ser vivo es ante todo una máquina con un fin, aun cuando este fin sea sólo el de reproducirse. Por ejemplo, detrás de la organización de las plantas, hay una lógica y un fin en sus estructuras, jerarquías, mecanismos y leyes que esconden detrás de su historia que las han hecho objeto de contemplación, estudio y admiración, llevándolas a ser especies colonizadoras de casi todos los ambientes y la base de toda pirámide alimenticia.

La historia de vida de las plantas presupone describir los detalles de cómo y cuándo germinan, cómo y cuánto crecen, cómo y cuándo maduran, cómo y cuándo producen flores, cuánto sobreviven, cómo se reproducen, cuándo se cruzan y dan frutos, cuándo y cómo producen semillas, si es que las producen, e incluso cuántas de las semillas germinan y permiten a una nueva planta prosperar, por si fuera poco, cada etapa del proceso de la historia de vida de las plantas difiere de una especie a otra, algunas especies se relacionan estrechamente, otras sólo comparten rasgos generales, por lo tanto, la historia de vida de las plantas está ligada a las condiciones y recursos disponibles del lugar que habitan, es la historia de vida de los ambientes e incluso es la historia de vida de otras especies de las que dependen para su polinización o dispersión.

Podríamos decir que esta historia, aunque bastante compleja, en el grupo particular de las Espermatofitas, comienza cuando una semilla germina, en el momento en que atraviesa múltiples procesos de cambio se transforma y permite el desarrollo de un nuevo individuo, sin embargo, es difícil señalar cuándo termina su historia, ya que, aunque la semilla deje de ser semilla y se convierte en una planta, esta dará lugar a más semillas.

Esta historia que comienza en la germinación, parte del programa que guardan las semillas en su interior, por tanto, la vida de la planta responde al despliegue de células que se especializan producto de un control fitohormonal y su dependencia al medio, los nutrientes, el agua disponible e incluso sus componentes internos que determinan si puede ser o no ser, lo que hará de su existencia algo efímero o algo perdurable por siglos en la tierra. Además, conforme la semilla cambia, posibilita la división celular y las fases de histodiferenciación que darán lugar a las estructuras que le permitirán a la semilla asimilar el agua y nutrientes iniciales del medio externo durante y después de la germinación.

La germinación, que es el medio por el cual comienza la historia de las plantas, suele ocurrir cuando las condiciones de humedad y temperatura son adecuadas, además, factores como la luz y el medio que rodean a la semilla influyen no sólo en el tiempo que tardará en desarrollarse sino también en el éxito de la constitución de una entidad viable,

así, la pequeña planta formada a partir de la germinación dispondrá no sólo de estructuras, sino también de los nutrientes suficientes para establecerse y comenzar a crecer hasta que su ambiente, estructura o programa se lo permitan.

De esta manera la historia de vida de la planta que surgirá de la semilla depende del programa de la planta madre que tras los procesos de reproducción formará los embriones en las semillas y así mismo producirá las primeras sustancias que lo inactivan hasta que el medio sea óptimo para su germinación.

### **El programa y la germinación**

Las semillas son el principal mecanismo de reproducción que tienen las plantas, estas están constituidas por un embrión y por compuestos de reserva como lípidos o proteínas, rodeados ambos por cubiertas seminales (Azcón y Talón, 2000). Sin embargo, la estructura general de una semilla varía dependiendo de las especies, algunas tienen formas particulares y otras cambian en términos de la proporción de los compuestos de reserva y las características de las cubiertas seminales (ver imagen 2). De ahí que cuando hablamos del programa asociado a los planteamientos de Jacob (1986), la semilla desde su formación como embrión en la planta, configura sus estructuras y sus funciones desde lo que Jacob denomina la memoria de la herencia, el código genético que la planta pasa al embrión tras el proceso de reproducción y el cual garantizará que la planta, una vez adulta, pueda formar nuevas semillas con embriones viables que garanticen la perpetuidad de la especie en el tiempo.

Desarrollando un poco más esta última idea de lo que Jacob (1986) denomina la memoria de la herencia, el programa en la semilla que proviene desde los padres permitirá la constitución de todo el organismo:

...En la idea de programa se vienen a fundir dos nociones que la intuición había asociado a los seres vivos: la memoria y el proyecto. Por memoria se entiende el recuerdo de los padres que la herencia traza en el hijo. Por proyecto, el plan que dirige hasta el último detalle de la formación de un organismo... (Jacob, 1986, pp. 2)

Por ello, es importante considerar los momentos de formación y desecación de las semillas como aspectos claves para evaluar su efectividad para dar lugar a nuevas plantas o si por el contrario son inviables.

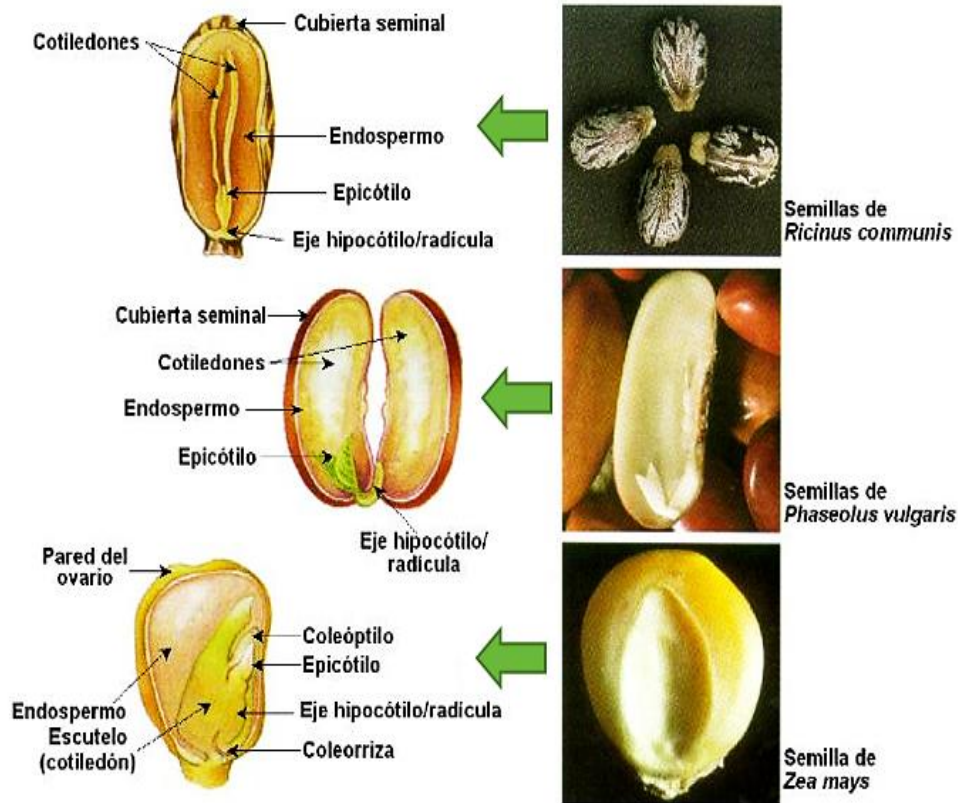


Imagen 2. Estructura de distintos tipos de semillas.<sup>8</sup> Imagen tomada de Moore, R. et al., (1998) Botany. 2nd ed.

Tras su formación, la semilla contiene las características necesarias para la germinación, con el primer paso de activación mediada por el agua, los compuestos almacenados al interior de la semilla sirven de nutrientes para que el embrión comience la división celular del crecimiento y la histodiferenciación del desarrollo.

Así, la germinación que inicia con la entrada del agua en la semilla y finaliza con el comienzo de la elongación radicular, depende de la estructura de la semilla, del

<sup>8</sup> En la parte de arriba se aprecia unas semillas de ricino (*Ricinus communis*) en donde se puede apreciar el endospermo que envuelve a los dos cotiledones que albergan el embrión. En el medio se compara con una semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) que muestra cotiledones de mayor tamaño, pero con menor endospermo de envoltura. En la parte de abajo se visibiliza un grano de maíz (*Zea mays*) monocotiledónea, solo posee un único cotiledón con una estructura que absorbe el endospermo denominada escutelo.

crecimiento del embrión, de la cantidad y calidad del endospermo, así como también de las fitohormonas encargadas de controlar la división celular, la elongación celular y las condiciones internas de la semilla.

Se puede decir que la germinación depende directamente del éxito del programa que guarda la semilla en su interior y el cual depende su formación, desarrollo y preparación para la emergencia radicular y del despliegue de nuevas estructuras que permitan a la semilla transformarse en planta.

## **LA CONFIGURACIÓN DE LA GERMINACIÓN COMO OBJETO DE ESTUDIO PARA LA BIOLOGÍA**

Antes de proceder con la profundización biológica y bioquímica del proceso de germinación es preciso recorrer algunos de los aspectos históricos que hicieron de éste un objeto de estudio de interés para la Biología, no obstante, averiguar sobre el momento exacto en que se hizo primera mención del proceso de germinación es una tarea maratónica, ya que las semillas han sido estudiadas a lo largo de la historia de la humanidad, por ejemplo, los antiguos griegos describieron muchas plantas, sus propiedades medicinales, flores, frutos y semillas, por lo que a continuación, se señalan algunos de los hallazgos sobre la historia de la germinación como objeto de estudio que son relevantes para este capítulo.

En primer lugar, desde la antigüedad, naturalistas como Teofrasto (370-285 a. C.) a quien se le atribuye ser el padre de la botánica y Dioscórides (20-70 d.C.), describieron muchas de las plantas y semillas por sus propiedades medicinales y aromáticas, asimismo el naturalista Romano Cayo Plinio Segundo (más conocido como Plinio El viejo; 24-79 d.C.) dedicó en su enciclopedia Historia Natural, publicada en el 77 d.C. cerca de 14 capítulos de un total 37 al estudio de las plantas, semillas, estructuras, funciones y propiedades medicinales.

Sin embargo, también se puede evidenciar que mucho antes de Plinio en registros del Antiguo Egipto que datan de los 1.500 años antes de Cristo, como los papiros de Ebers

(Rodríguez, 2019), las plantas y sus semillas fueron utilizadas y también estudiadas desde el comienzo de las civilizaciones humanas e incluso podríamos decir que, en culturas primitivas, aunque en la actualidad no se tengan datos o registros de esos usos.

Si bien la germinación ha pasado a través de la historia como un proceso aprovechado por los humanos desde la antigüedad, según Sixto (2018) en su Historia de la Horticultura, no son claros los registros de cuándo se hizo mención de la germinación por primera vez, sin embargo, en el Diccionario Etimológico se puede rastrear desde 1566 el concepto *germinātiōn* del latín *germen* que significa brotar y *ātiōn* que significa acción, acción de brotar, por su parte el concepto de semilla, se encuentra documentado desde 1234 en textos de latín antiguo referido como *simiente* o del mozárabe *xeminia* que se traduce en semen, además se puede considerar que desde el Paleolítico las comunidades humanas ya comprenden el papel que cumplen las semillas como fuente de alimento y de la germinación como el medio por el cual se podrían establecer los cultivos, aunque no haya mención de ambos conceptos en registros escriturales.

Por tanto, aunque no se tenga un registro claro de cuándo se comenzó a hacer uso del término germinación, si era claro que para las comunidades del 10.000 a.C. ya era común hacer uso del proceso, recolectar, secar y almacenar semillas, así como también de perfeccionar los cultivos.

En los últimos años se han descubierto semillas muy antiguas, de 1000 o incluso 2000 años de antigüedad, lo que da razón a la importancia que tenía para las primeras civilizaciones almacenar las estructuras de latencia de las plantas en espacios secos para evitar que el agua las activara o dañara, por ejemplo, unas semillas de palma datilera (*Phoenix dactylifera*) que fueron recuperadas de sitios históricos de Masada, Israel, en las costas del Mar Muerto en 1968, se dataron por carbono para comprobar su antigüedad de 2000 años y además se germinaron con éxito durante el 2002 y el 2005 (Sallon et al., 2020)

En este estudio, publicado en febrero del 2020 en Science Advances, se reconoce que la palmera datilera, una especie dioica de la familia Arecaceae (antes *Palmae*) que tiene una distribución histórica que se extiende desde Mauritania, en el oeste, hasta el valle del Indo en el este, posee unas semillas genéticamente únicas al haber sido descrita en la antigüedad por la calidad, tamaño y propiedades medicinales, pero perdida durante siglos hasta el hallazgo de las semillas y su germinación en 2005 según los autores.

Además, al ser un importante cultivo de frutas en las regiones cálidas y áridas del norte de África y el Medio Oriente y uno de los primeros cultivos de árboles domesticados, determinan en los registros arqueobotánicos a las palmas de dátiles como una de las plantas más antiguas estudiadas y cultivadas por el hombre, además se sugiere que la explotación y el consumo más tempranos de estas semillas data del Neolítico árabe unos 7000 años a.C. (Sallon et al., 2020).

La evidencia del cultivo en Mesopotamia y el Alto Golfo Arábigo aproximadamente entre 6700 y 6000 a. C. respaldan a estos lugares como el origen del uso de la palmera datilera en esta región, con un posterior establecimiento de la agricultura de oasis en el norte de África. Este estudio, que confirma la supervivencia a largo plazo de las semillas de palmera datilera, brinda una oportunidad única para redescubrir los orígenes de una tradición de cultivo y estudio de semillas de una población histórica de palmeras datileras que existió en Judea hace más de 2000 años.

A propósito del anterior, respecto a Judea dos versículos de la Biblia parecen indicar que en la antigüedad ya se mencionaba la germinación como un proceso de muerte de una semilla y una resurrección o renacimiento de estas en una planta:

A menos que un grano de trigo caiga a la tierra y muera, quedará como un solo grano; pero si muere, da mucho fruto. (Juan 12:34)

Lo que siembras no cobra vida a menos que muera. Y en cuanto a lo que siembras, no siembras el cuerpo que será, sino una semilla desnuda, tal vez de trigo o de algún otro grano. (1 Corintios 15: 36-37)

Así mismo, para los griegos, la germinación de las semillas del perejil también estaba asociada con la muerte, ya que, la notoria tasa de germinación lenta de las semillas, cerca de cuatro a cinco semanas, se debía a que tenían que viajar al inframundo y regresar varias veces antes de que pudieran comenzar a germinar, lo cual permite suponer que en la Biblia y para los griegos la germinación de la semilla implica la muerte de esta para el nacimiento de la planta.

En segundo lugar, Plinio El Viejo (24-79 d. C.), quien, siguiendo las observaciones anteriores de Teofrasto (371-286 a.C.), comentó sobre las condiciones que hacen posible la germinación del muérdago en el libro XVI de su Historia Natural (Short, 2017):

Pero universalmente, cuando se siembra semilla de muérdago, nunca brota en absoluto, y sólo cuando se pasa en los excrementos de las aves, particularmente la paloma y el tordo; su naturaleza es tal que no disparará a menos que haya madurado en el estómago de los pájaros. (pp 478)

Dando así sentido a los planteamientos de Teofrasto, que, como padre de la botánica y particularmente de la fisiología de las semillas, no apoyaba la teoría de la germinación como la muerte de la semilla y el nacimiento de la planta. En su *De Causis Plantarum*, Sobre las causas de las Plantas, en donde se abordan seis tomos sobre la reproducción y propagación de las plantas escrita entre el 350 y el 280 a.C. expone que (Díaz, 1988):

Cada semilla contiene en sí misma una cierta cantidad de alimento. Es por eso que pueden sobrevivir durante algún tiempo y, como la semilla de los animales, no mueren directamente al separarse de sus padres, excepto las semillas de los animales ovíparos, ya que sobreviven, ya que contienen alimentos, como dijimos, al mismo tiempo una protección para el punto de partida. (pp 106)

Menciona también que en la composición de las semillas está la clave de su supervivencia:

Algunas semillas sobreviven más que otras, especialmente cuando es de textura compacta, seca y leñosa, como las de la palmera datilera; porque no permiten la entrada desde afuera ni contienen en sí mismos un fluido susceptible de corrupción. Por lo tanto, no se vuelven lombrices, como las semillas de los cereales, ni se secan, como las de las verduras, pero la semilla conserva el punto de partida al sellarlo dentro de sí misma. (pp 120)



Con ello podemos localizar el proceso de germinación como concepto en los trabajos de Teofrasto además de descripciones importantes sobre el papel que cumplen las condiciones para hacer de la semilla una planta. Además de estos planteamientos, también podemos rastrear informes publicados sobre semillas en la literatura islámico-árabe de Historia Natural, sin embargo, donde se evidencia un mayor interés por el estudio de las semillas, las plantas y las condiciones que hacen posible la germinación en las publicaciones de Conrad Gessner (1516-1565) un científico suizo se le reconoce por ser el primero en describir y dibujar semillas de orquídeas.

En *Historia Plantarum* publicada en 1555, se pueden encontrar aproximadamente 1500 ilustraciones de plantas en las que se puede apreciar el detalle de partes específicas de las plantas, sus semillas, y extensas descripciones de su crecimiento y condiciones de hábitat, por ejemplo en la página 153 (ver imagen 3) presenta por medio de ilustraciones y descripciones de manera detallada las características morfológicas de varias semillas, sus texturas, ambientes e incluso la forma de dentadura de los animales que las pueden consumir.

De igual manera Gessner (1555) en las páginas, 142 (ver imagen 4), 198 (ver imagen 5), 233 (ver imagen 6) y 240 (ver imagen 7), incluye en sus ilustraciones diferentes momentos de la planta, reconociendo en sus descripciones los procesos de cambio, así como las etapas de crecimiento y desarrollo por las que pasa la planta y el cambio en sus estructuras, tanto en las que sostienen a las semillas como en los tallos y hojas, incluso detalla las condiciones que las hacen cambiar en la germinación, los sustratos y cambios de color.

Esta publicación destaca el papel de la ilustración en la historia natural, la cual se fue perfeccionando y diversificando con el desarrollo de diferentes técnicas en la obtención de tintes y pigmentos, así mismo, los trabajos ilustrativos se fueron perfeccionando en el detalle y profundidad en las descripciones para que con el paso de los siglos se sigan usando en el estudio de las plantas.







Imagen 4. Etapas de cambio en plantas. Gessner Historia Plantarum pp 142 (1555). Tomado del Repositorio de la Universidad Erlangen. Alemania





Herba nona quae nunc primum in  
 uasis 1557. In uis floribus.  
 Caulis nunc ab uno simplici  
 alio pluribus fibris capillari  
 radice sive cubitali, albis,  
 camp. angulatus, folijs uariis  
 tenuis ab eo immixta palmis  
 tenuis, folia bina pedant, patulis  
 geminis e uaginis, penitis  
 lances ad palmis, uariis  
 ramuli ~~ab~~ minutis folijs  
 breues ex alar. caulis, hoc  
 e singulis maioribus folijs  
 exsertis, singuli in pedic.  
 Folia sic subrotunda, basi  
 uscula, medio lauis, per  
 glabra, infero hinc hinc  
 umbra modice dissecta  
 fore in Gallinaeis modo.  
 Dolor e praeterea, et nunc  
 min. granis, malis et  
 partim malis peno odore  
 accedat. Sapor fere fere  
 infidus, subamary hinc.

Dis. soil fill  
 wooden vase or Jar  
 on former  
 See former  
 oben 319



See v. 319.



no esse ut que melleo  
 si tamq. sed melleo  
 p. 19

Est ex alia hinc per que spinis  
 cui magis, morosa, coloris fere minores  
 fibra rariora. T. P. Agl.  
 v. 19. p. 19.  
 Appellat in Galia uoltra  
 natly. multis costis uoltra  
 appellat. T. P. Agl.  
 V. 19. p. 19. V. lat. 26. 7

198

198

Imagen 5. El detalle en las estructuras. Gessner Historia Plantarum pp 198 (1555). Tomado del Repositorio de la Universidad Erlangen. Alemania



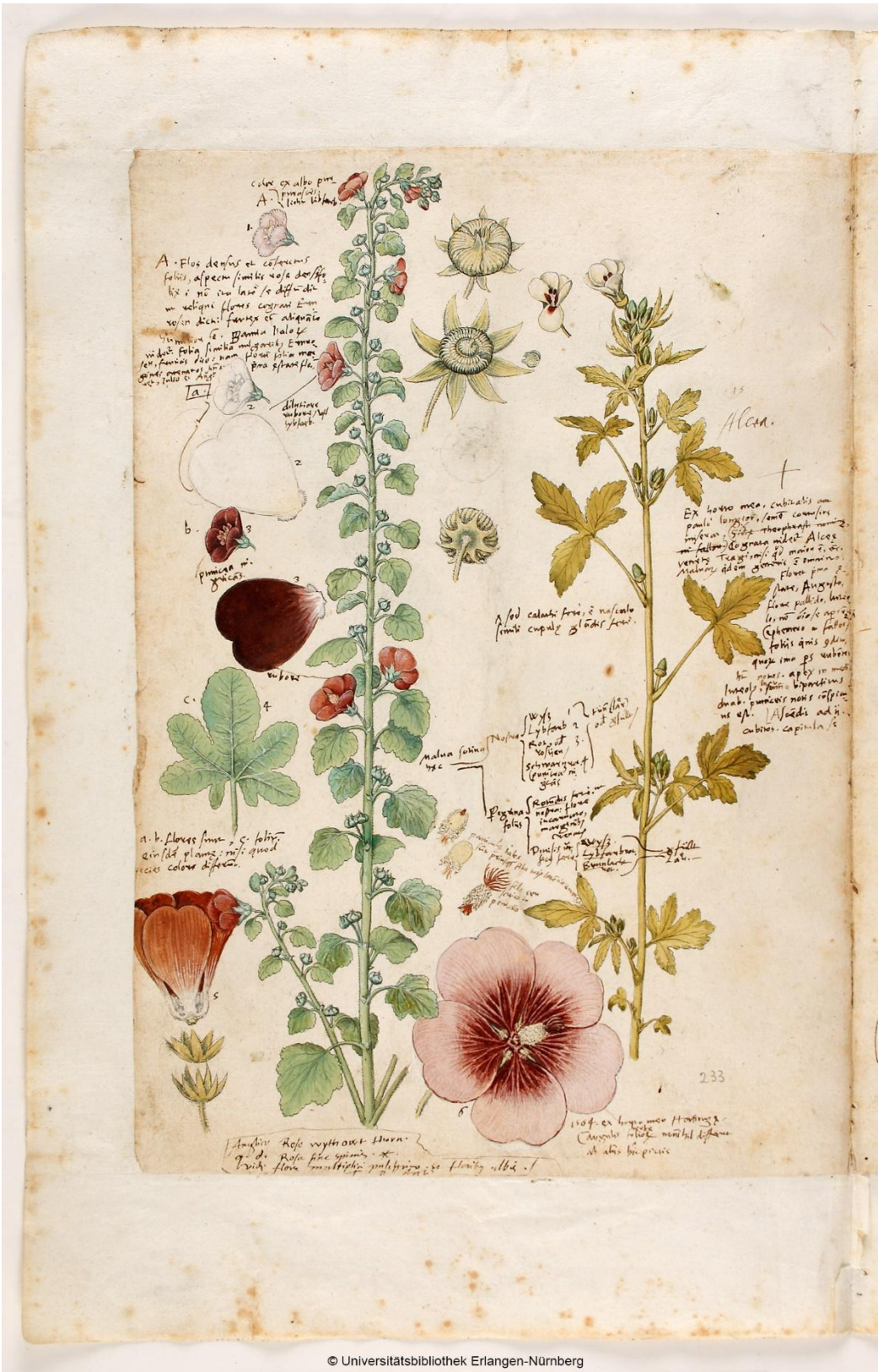


Imagen 6. Las estructuras en la reproducción. Gessner Historia Plantarum pp 233 (1555). Tomado del Repositorio de la Universidad Erlangen. Alemania







Así mismo, en Herbarium Amboinense, que es una obra de seis volúmenes escrita entre 1654 y 1702 por Georgius Everhardus Rumphius (1627-1702), se puede encontrar gran diversidad y detalles no sólo sobre ilustraciones de plantas y sus semillas (ver imagen 8) sino también descripciones sobre las condiciones que necesitan las semillas para germinar y las plantas para sobrevivir (Wehner et al., 2003). Aunque en su trabajo no se hace uso del color, sí se logra apreciar varias técnicas de cortes transversales y longitudinales de las semillas y tallos de las plantas que permiten al autor retratar en sus ilustraciones las capas constituyentes de las semillas por medio de las sombras y tonalidades de negro. Las técnicas de corte de Rumphius, así como la perfección en los pigmentos de Gessner, son relevantes en la historia de la Botánica por el aporte que hacen en el estudio de las estructuras de las plantas y de igual modo en la comprensión del cambio en la semilla producto de la germinación (ver imagen 9).

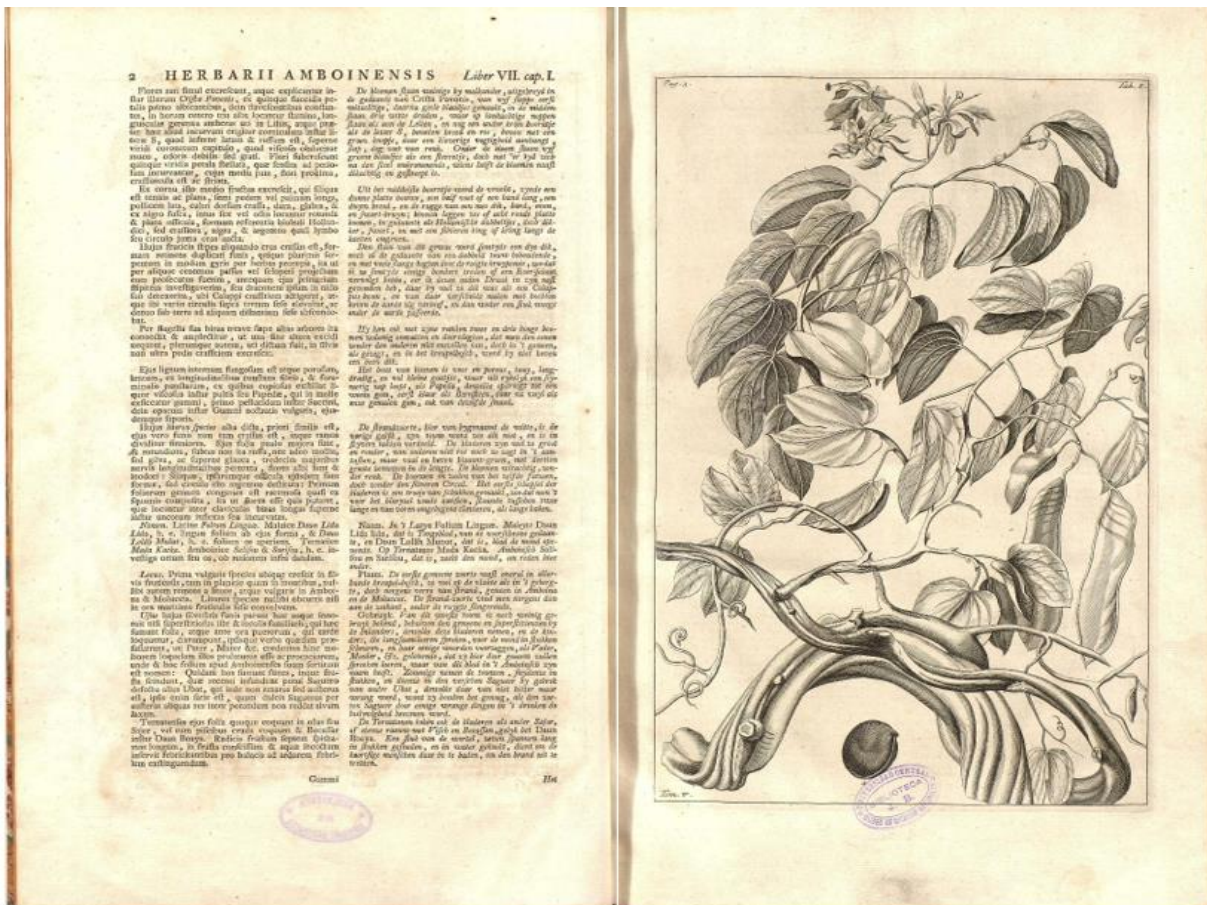


Imagen 8. Descripción e Ilustración de plantas de enredadera. Rumphius Herbarii Amboinensis pp 2-3 (1750) Tomo V. Tomado de la Biblioteca Digital del Real Jardín Botánico de Madrid. España

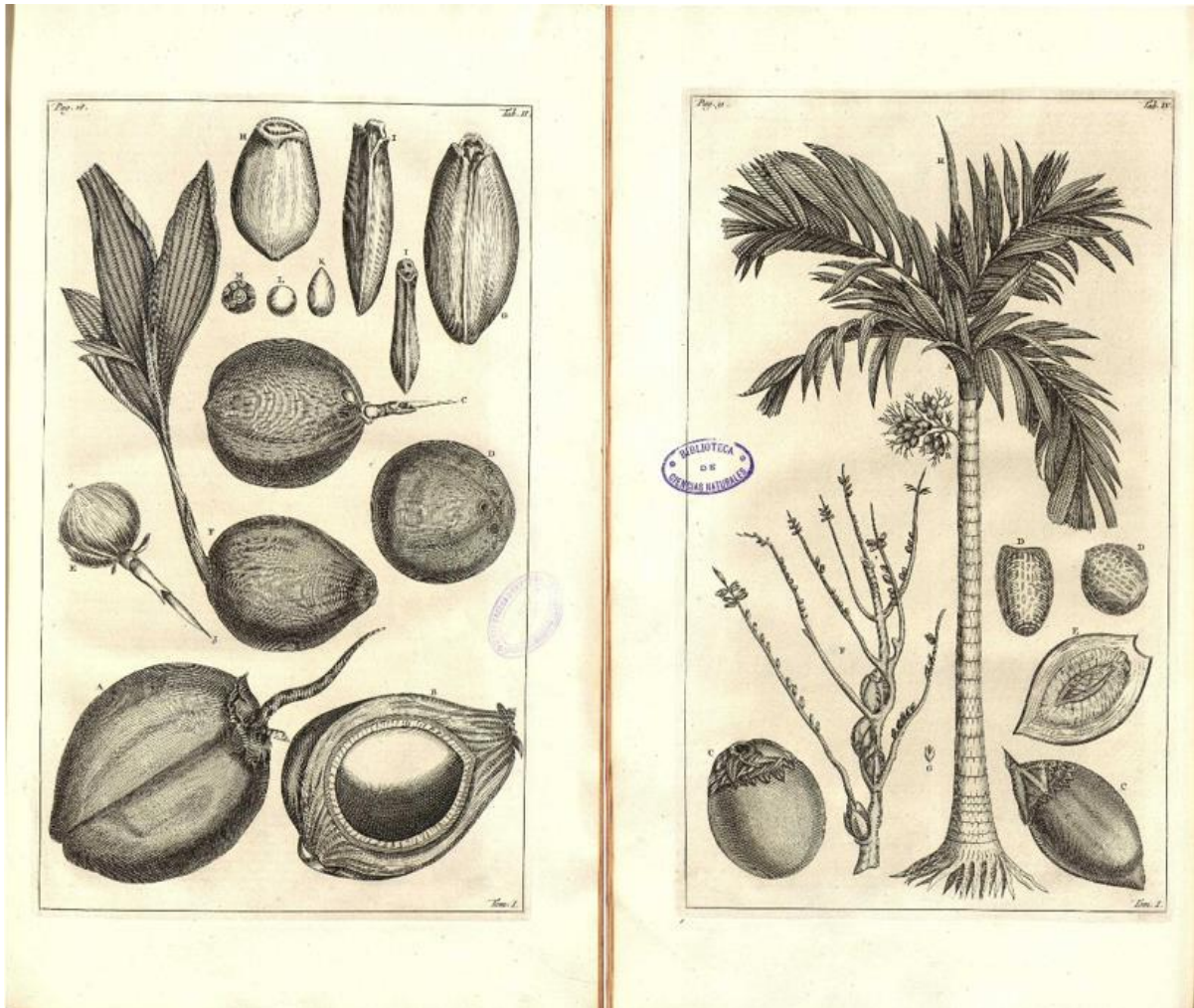


Imagen 9. Estructuras internas en semillas de Palma. Rumphius Herbarii Amboinensis pp 38 y 52 (1750) Tomo I. Tomado de la Biblioteca Digital del Real Jardín Botánico de Madrid. España

Si bien la Ilustración y técnicas de corte son relevantes en la historia de la germinación como objeto de estudio para la botánica y la Biología, las técnicas de microscopía y tinción catapultaron el estudio de los tejidos de las plantas, su composición y función. Con esto para mediados del siglo XVI y comienzos del XVII con el avance en el uso de lentes para la constitución del microscopio se amplió el estudio de las estructuras que hasta el momento habían sido dibujadas desde sus características macroscópicas, dando así paso a la Ilustración de estructuras tisulares y celulares microscópicas, hasta la invención de la fotografía y del microscopio electrónico de barrido que en la actualidad dan imágenes precisas de estructuras sumamente pequeñas que difícilmente se podrían estudiar por otros medios (Duarte 2015).



## **DINÁMICA DE LOS CAMBIOS EN LA SEMILLA**

Retomando parte de lo expuesto anteriormente con relación a la historia de las plantas, con la aparición de la semilla se constituye uno de los avances evolutivos más importantes de las Angiospermas en la colonización de la tierra. Por medio de las semillas se logró una mejor adaptación a las elevadas temperaturas y al riesgo de deshidratación al posibilitar un sistema reproductivo más eficiente (Lobato y Cidrás, 2013).

Con la evolución de las semillas, las plantas lograron poner en latencia sus embriones hasta que las condiciones ambientales fueran óptimas para su germinación, particularmente en el caso de las plantas con fruto se recubrieron las semillas con almidones y cutículas que protegen y facilitan los procesos de germinación una vez las semillas caen al suelo (Gilbert, 2000).

De igual modo, las pulpas dulces cumplieron un papel importante en la dispersión de semillas al ser de interés alimenticio para los animales, sin embargo, las envolturas de celulosa de las semillas no son de fácil digestión lo que permite que las semillas permanezcan intactas en el tránsito por el sistema digestivo de los animales hasta terminar en las heces fecales que se dejan en el desplazamiento por grandes distancias logrando así la dispersión de estas semillas por diferentes zonas geográficas (Carrión, 2003).

Además, con la evolución de las flores y la producción de polen también se abrió el intercambio genético por animales polinizadores ampliando la diversidad de plantas, flores, frutos y semillas (Lobato y Cidrás, 2013). Con estas estrategias las semillas se convirtieron en un medio por el cual las angiospermas lograron un éxito adaptativo y colonizaron diversos espacios hasta la actualidad.

Ahora bien, las transformaciones que suceden al interior de una semilla provienen de una serie de cambios que tienen lugar en las estructuras reproductivas de las plantas con

flores (McDonald y Copeland, 1995). Parece sencillo pero el proceso de formación de frutos y semillas demanda una reacción compleja de cambios químicos, moleculares e incluso estructurales en las plantas, para dar lugar a los embriones que constituyen la perpetuidad de todo el grupo taxonómico de las angiospermas y por tanto lo que se conoce como la culminación de la evolución reproductiva de las plantas (Mantilla, 2008).

Cuando nos referimos a la dinámica de los cambios en la semilla debemos comenzar a partir de la formación de los embriones producto de la interacción de diversos procesos relacionados con el programa de desarrollo y la reproducción. Además, es importante considerar que tras el proceso de formación del embrión se consolidan las estructuras que permiten el desarrollo de la semilla y su paso por un proceso de germinación, de ahí que el programa, desde la planta madre, dictamine la organización de células especializadas al interior de la semilla y la efectividad de ésta en el desarrollo de la nueva planta.

### **La Embriogénesis como punto de partida**

En el siguiente apartado se expondrá desde la embriología el proceso de formación de las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), ya que es de interés en este trabajo profundizar en los aspectos biológicos y bioquímicos que posibilitan la germinación.

La semilla de frijol se forma mediante un complejo proceso al interior de la flor de una planta (ver imagen 10), este proceso denominado embriogénesis, comprende los cambios morfológicos, estructurales y la expresión génica que tiene lugar en la formación del cigoto y la posterior maduración del embrión (Dodeman et al., 1997).

El embrión ya maduro sólo podrá germinar cuando las condiciones internas y externas sean las apropiadas. Del éxito de la embriogénesis cigótica dependerá la germinación y por tanto el desarrollo de una nueva planta. La embriogénesis es el periodo en el que se forma la semilla y constituye una fase indispensable de preparación para la germinación (Ubeda, 2011).

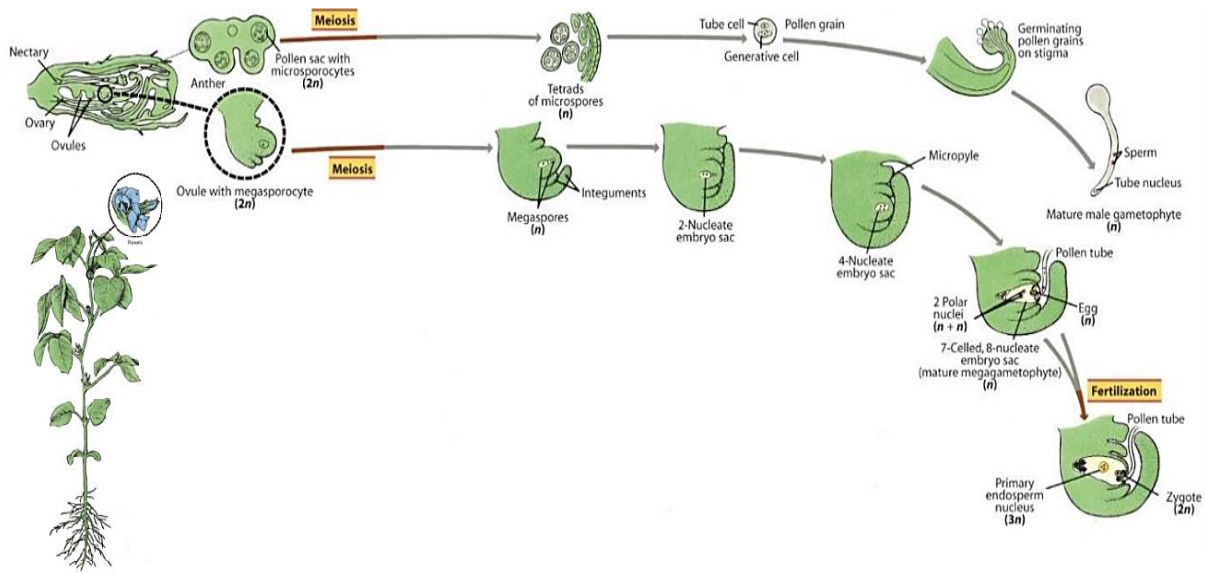


Imagen 10. Proceso reproductivo de *Phaseolus vulgaris*<sup>9</sup>. Imagen editada de Biology Evolution Of Plants (2008)

En un primer apartado sobre la doble fecundación, vemos cómo después de la interacción entre los gametos masculino (grano de polen) y femenino (óvulo), el cigoto se divide transversalmente de una forma simétrica dando origen a dos células, una célula pequeña, conocida como célula apical, la cual no aumenta de tamaño y que dependiendo de algunas divisiones dará origen al embrión, y una célula alargada o célula basal que originará al suspensor, que se entiende como una estructura que actúa como conducto transportador de nutrientes desde un tejido materno hasta el embrión (Ubeda, 2011).

La duración de este proceso de desarrollo depende por supuesto del tipo de semilla, y para comprender por qué hablamos de desarrollo durante este proceso de formación de una semilla es importante tener en cuenta qué sucede al interior de la semilla para que se dé una diferenciación celular, tisular a la que llamamos histodiferenciación.

Se puede denominar la histodiferenciación como una fase o periodo embriogénico inicial, ya que se caracteriza por presentar una alta tasa de divisiones nucleares y por la

<sup>9</sup> Desde la parte superior izquierda en la flor de *Phaseolus vulgaris* se puede evidenciar el proceso de gametogénesis femenina y masculina, las cuales por meiosis producen los óvulos y espermatozoides que, tras la fecundación, en el borde derecho, forman el cigoto, embrión y el endospermo.

formación de paredes celulares (Gilbert, 2000). Esto trae consigo un aumento notable en el número de células del embrión (ver imagen 11), así mismo, se incrementan las sustancias de almacenamiento que rodean al embrión haciendo crecer la semilla.

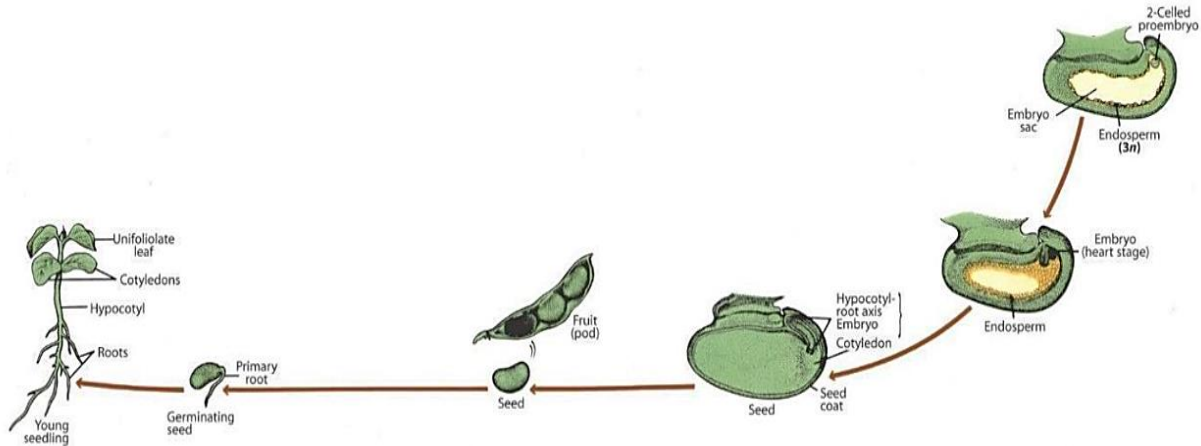


Imagen 11. Formación de la semilla de *Phaseolus vulgaris*<sup>10</sup>. Imagen editada de *Biology Evolution Of Plants* (2008)

Actualmente las fitohormonas predominantes durante esta primera fase de constitución de la semilla, las auxinas y citoquininas, se involucran con los procesos de mitosis celular y terminan siendo responsables del alargamiento celular de los tejidos de reserva mencionados anteriormente, como el suspensor e incluso también de la del embrión (Gilbert, 2000). Se entiende entonces que la actividad mitótica que permite la formación del endospermo en la semilla tiene lugar gracias a estas hormonas incluso un poco antes que la actividad mitótica del embrión, aunque no se sabe a ciencia cierta en qué proporción.

Según lo tratado anteriormente sobre el programa, la organización y los planteamientos de Jacob (1970) en la lógica de lo viviente, la formación de la semilla implica diversos procesos relacionados con el programa que hay al interior de ella y que configura todo su proceso de desarrollo.

<sup>10</sup> En este proceso comienzan a formarse las semillas de frijol en la vaina con su forma particular. La semilla pasará por un proceso de germinación una vez la vaina se desprenda de la planta o pasará por un proceso de desecación para conservar el embrión hasta que las condiciones permitan su germinación, crecimiento y desarrollo facilitando a la planta pasar a su fase reproductiva dando lugar a nuevas flores y de ese modo comenzar otro ciclo reproductivo.

Durante la embriogénesis temprana, justo después de la fecundación, la división celular da lugar al suspensor y al embrión de frijol (ver imagen 12). El suspensor (color gris), es una estructura que ancla al embrión (color azul) en los tejidos ovulares y juega un papel directo en su nutrición al absorber y transportar materiales nutritivos desde los tejidos cercanos hasta el embrión (Wendrich y Weijers, 2013). El suspensor, como célula alargada basal, tras el proceso de desecación de la semilla, adopta la función de tejido de reserva lo que se conoce cómo endospermo y cotiledones, los cuales también intervienen a la hora de la preparación de la semilla para la germinación (Raghavan, 1986).

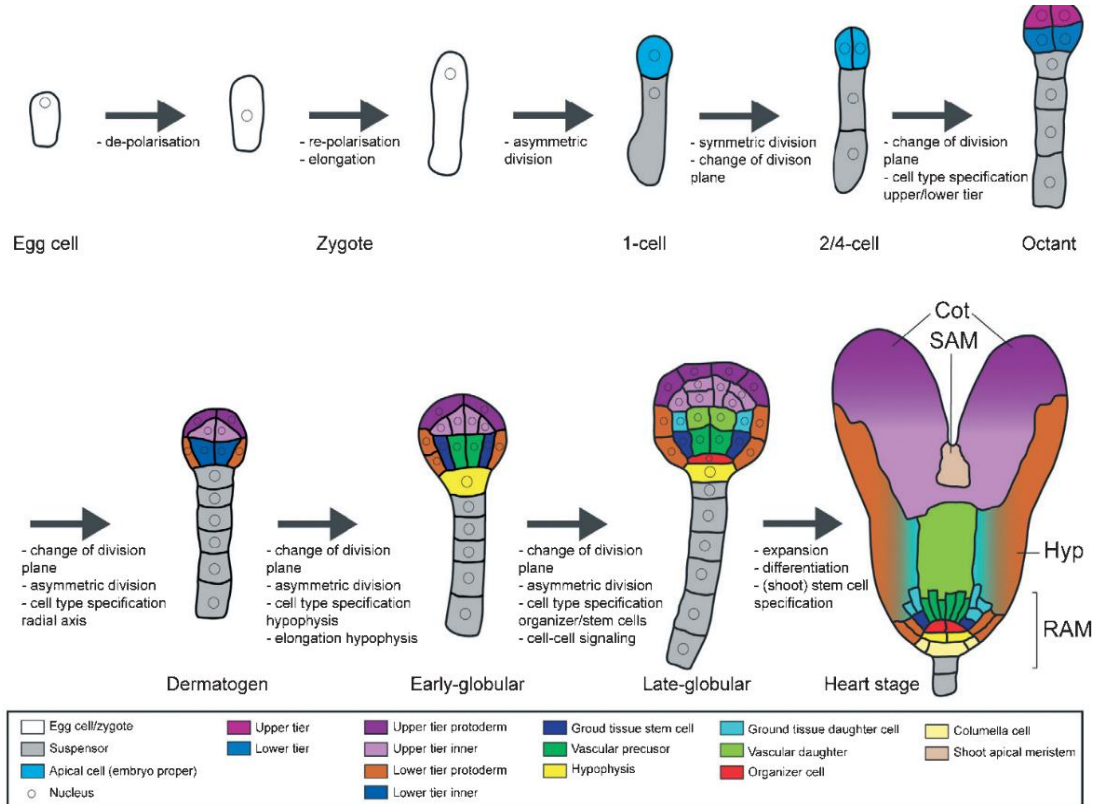


Imagen 12. Visión general de la embriogénesis vegetal. Esquemas a partir de etapas embrionarias basadas en microscopía. Tomado de Wendrich y Weijers (2013) The seed embryo as a miniature morphogenesis model.

En la etapa de post- fertilización, que involucra los primeros seis momentos de la imagen 12, hay un crecimiento en la semilla, se aumenta el número de células de 1 a 8 y así

mismo el tamaño de estas, sin embargo, para la etapa globular y de corazón, el embrión sufre un desarrollo al especializar sus células en diferentes tipos de tejidos señalados con los diferentes colores.

En este cambio en las células se debe a la acción hormonal de sustancias que se van produciendo conforme las células se van dividiendo (Matilla, 2008). Tras la acción hormonal que permite al embrión diferenciarse del suspensor, o de la estructura de almacenamiento de nutrientes necesarios para su desarrollo, vemos que la división celular al ser mediada por diferentes sustancias tiene características particulares para el embrión y características particulares para el suspensor, mientras este se extiende por mitosis para formar el tejido radicular de la futura planta, el embrión se expande en la forma de corazón, envuelto por los cotiledones para dar forma a tallos y hojas.

El proceso de histodiferenciación también pasa por una fase de expansión celular en el cual se da una elongación celular, o crecimiento. En la mayoría de las semillas el endospermo sigue creciendo por mitosis (aumento de número de células) y por elongación (aumento en el tamaño de las células) alcanzando en algunos casos un gran tamaño (Ubeda, 2011). Durante este periodo de expansión celular se registran en algunos estudios un alto contenido de auxinas las cuales se encuentran directamente relacionadas en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Matilla, 2008). En esta fase de expansión se acumulan también importantes sustancias de reserva en las semillas, tras la embriogénesis aparecen tejidos muy bien organizados para desempeñar funciones específicas en la semilla.

Por ejemplo, la síntesis y acumulación de proteínas, lípidos e hidratos de carbono que son indispensables en diversas zonas de la semilla como los cotiledones y el endospermo se producen durante la fase de expansión (Matilla, 2008). Así, en los cotiledones, hay dos fases de desarrollo celular, en la primera el crecimiento está dado principalmente por la mitosis y en la segunda predomina la expansión celular, es decir, el aumento del volumen, sin embargo, en el endospermo las divisiones nucleares de la periferia son rápidas, en la zona media por el contrario son un poco más lentas, lo cual podemos

evidenciar en la imagen anterior, mientras en la periferia hay un total de ocho células en la fase globular, en el centro, las células del tejido vascular son solo 4.

En la expansión celular en la región central del endospermo se depositan sustancias de reserva como el almidón y las proteínas, generando diferenciación de estas dos zonas (Ubeda, 2011), el centro es rico en sustancias de reserva, como el almidón y la periferia con divisiones nucleares más rápidas hay una barrera de protección constituidas principalmente por tejidos vasculares de celulosas (Megías et al., 2020).

Tras el período de expansión de la semilla comienza un período de embriogénesis tardía que prepara a la semilla para la maduración y desecación (Hu et al., 2018). Una vez formada la etapa de corazón con la primera especialización celular, el embrión pasa por una serie de divisiones celulares que hacen duplicar su tamaño a la estructura de torpedo en donde se visibilizan mejor el tejido meristemático de las semillas, señalado en rojo, el tejido vascular, señalado en azul, y el tejido epidérmico, señalado en verde (ver imagen 13).

La forma particular de torpedo en la embriogénesis constituye el inicio de la formación de los cotiledones, importantes para el almacenamiento de nutrientes que estarán disponibles para el embrión durante el inicio de la germinación, de igual forma, en esta estructura el suspensor desaparece de la semilla, ya que el embrión se ha desarrollado de tal manera que puede anclarse en la semilla y da espacio para el crecimiento de los cotiledones y de los tejidos vasculares que movilizaron los nutrientes en la semilla (Díaz y Corona, 2018).

Con el inicio de la maduración de la semilla se finaliza la embriogénesis, el embrión se encuentra listo para su transformación en la germinación, sin embargo, si las condiciones externas no son óptimas comienza un proceso de desecación para preservar la semilla paralizando el ciclo celular (Ubeda, 2011), durante este periodo se han detectado en algunos estudios como los realizados por Nambara (2010) altos niveles de ácido

abscísico, lo cual también genera una pérdida de peso en la semilla debido a la pérdida de agua que la prepara para la desecación.

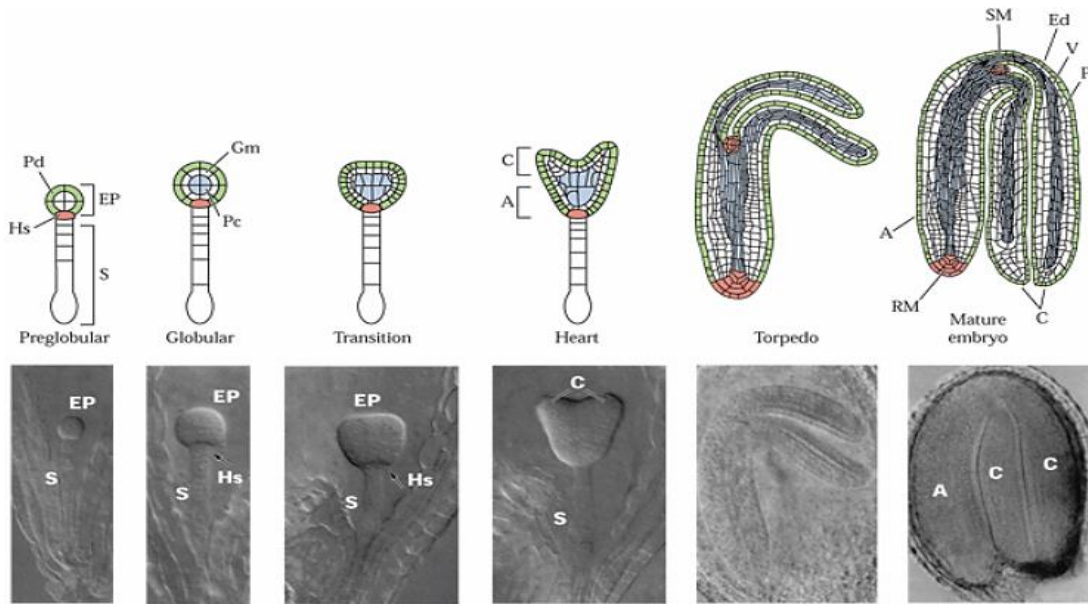


Imagen 13. Ilustración y Microscopía de la embriogénesis tardía<sup>11</sup>. Tomado de Gilbert, S. (2000). *Developmental Biology*, Sexta edición.

En esta fase de maduración se completa la formación del embrión, con el establecimiento de los cotiledones, se han almacenado las sustancias de reserva necesarias para mantener al embrión, el cual se prepara para la desecación y la resistencia al estado de latencia (Díaz y Corona, 2018). En este proceso el ácido abscísico es responsable de mantener la semilla en periodos de dormición, es decir, periodos de inactividad metabólica, los cuales permiten a la semilla mantenerse durante un periodo de tiempo más prolongado y que no se dé directamente la germinación (Mantilla, 2008).

### La semilla una entidad organizada

En lo expuesto hasta el momento con la fecundación se expresa el código genético de la célula inicial y tras la especialización celular se conforman los tejidos primarios que dan

<sup>11</sup> En la imagen se puede visibilizar la continuidad del cambio en el embrión de la semilla, en donde la etapa de torpedo va estableciendo la forma característica del embrión maduro y los cotiledones, de igual modo en las imágenes de microscopía se aprecian las estructuras naturales y la posición que toman en la semilla, finalizado en el Axis (A) que constituye tallo y raíz y los cotiledones (C), estructuras de almacenamiento de nutrientes.



forma a la semilla. Aquí el cambio puede verse desde dos perspectivas, una hace referencia a la fase inicial de embriogénesis y expansión de la semilla, y otra involucra los procesos de maduración y desecación previos al proceso de germinación.

En este apartado se presentará la organización general de la semilla posterior a la maduración del embrión y algunas de las partes que se consolidan para proteger y preservar la semilla antes del proceso de germinación.

Con la maduración del embrión y la constitución de los cotiledones, la semilla pasa por una etapa de latencia, lo cual implica el desarrollo de capas de células recubiertas de sustancias impermeables al agua como las suberinas (Foley, 2001), sin embargo, cuando las condiciones de humedad en el medio externo a la semilla son óptimas se inhibe la latencia de la semilla cambiando la cubierta de impermeable a permeable al agua y así dar paso a la germinación.

La cubierta de las semillas en fabáceas se origina desde los tegumentos que rodean al óvulo antes de la fecundación, es decir, proviene de la planta madre y se van estableciendo en paralelo con el embrión hasta su maduración (Foley, 2001). La cubierta recibe el nombre de testa una vez está formada completamente la semilla al interior de la vaina de las leguminosas como el frijol. La testa constituida por tejido vascular contiene una cicatriz en la unión del folículo de la semilla que la une a la vaina y la cual recibe el nombre de hilio. Con un color diferente a la testa, la unión del hilio con forma de óvalo es fácil de identificar en las semillas de fabáceas.

En las investigaciones de Smýkal et al., (2014) y Alves et al., (2016), se ha prestado interés a las estructuras de las semillas, particularmente las semillas de fabáceas, las cuales se caracterizan por poseer ciertas adaptaciones que les permiten conservarse por largos periodos de tiempo. En la imagen 14 se puede ver a través de los cortes y tinciones en microscopio la testa del frijol, resultado del estudio realizado por Smýkal et al., (2014) sobre el papel de la testa en el desarrollo y latencia de las semillas de leguminosas.

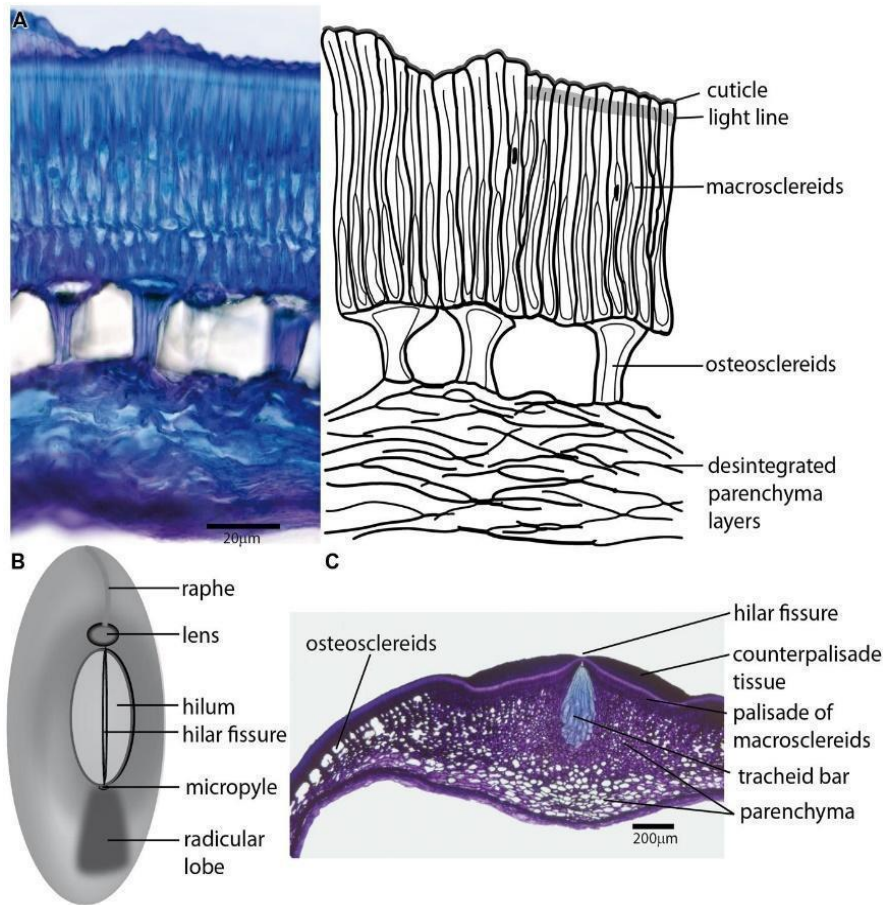


Imagen 14. Microscopía y tinción de la testa de leguminosas. Tomado de Smýkal et al., (2014) El papel de la testa en el desarrollo y la latencia de leguminosas.

En la parte superior del corte transversal se ve una cutícula, constituida por células tubulares alargadas. En la sección media, constituida por poros u osteoescleridas, hay una serie de espacios que cumplen la función de pared celular secundaria. Finalmente, la capa interna compuesta por células de parénquima reacciona a una tonalidad morada ya que presenta un cúmulo de células desintegradas de la testa diferenciadas en forma y tamaño que cumplen una función de almacenamiento de nutrientes.

Por su parte en Alves et al., (2016), investigación sobre los mecanismos de captación de agua en semillas, el estudio de las estructuras se aprecia desde las características macroscópicas, en la imagen 15 se pueden apreciar las estructuras de la testa y el hilio desde un estereoscopio, además, con el corte longitudinal del frijol se puede ver el tamaño de los cotiledones ya maduros y la disposición del embrión hacia un lado derecho

del micrópilo que es un orificio que permite la absorción de agua necesaria para la germinación. También se puede apreciar una diferencia en la pigmentación de la testa interna y externa en la semilla, en similitud con la investigación de Smýkal et al., (2014), la estructura externa pasará por un endurecimiento en la medida en que la semilla comienza su latencia, así mismo, las suberinas la hacen impermeable al agua y le otorgan el color y brillantez características de la testa. La cubierta interna no pierde agua, por tanto, las células no producen suberinas y no se endurece o cambia de color, por el contrario, es más suave.

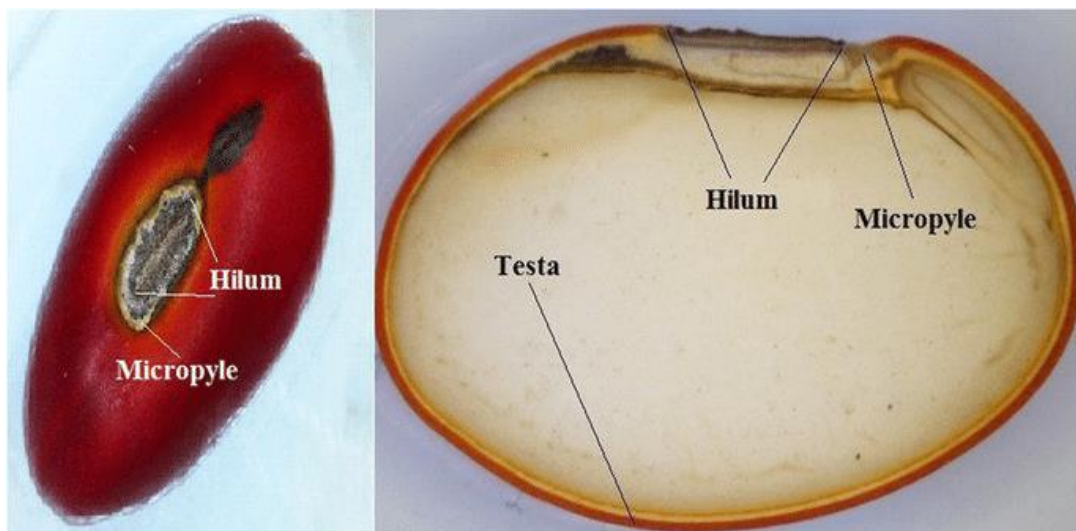


Imagen 15. Estructuras de testa, hilio y micrópilo en *Phaseolus vulgaris*. Tomado de Alves et al., (2016) *Mecanismos de captación de agua y la germinación de semillas*

En un estudio similar publicado por Da Silva et al., (2019), sobre la inactivación de los ciclos de desarrollo en semillas de *Phaseolus vulgaris* se pueden evidenciar más estructuras en la semilla de frijol (ver imagen 16), de igual modo, con los diferentes cortes se pueden apreciar la disposición de los cotiledones, que como estructuras de almacenamiento de nutrientes rodean al hipocótilo, el cual es una proyección del embrión en los primeros momentos de la germinación, si el hipocótilo no se evidencia en la semilla esta aún permanece inactiva. Con la germinación se evidencia el desarrollo primario de hojas o plúmula y nuevamente el hilio y el micrópilo en la parte central del frijol.

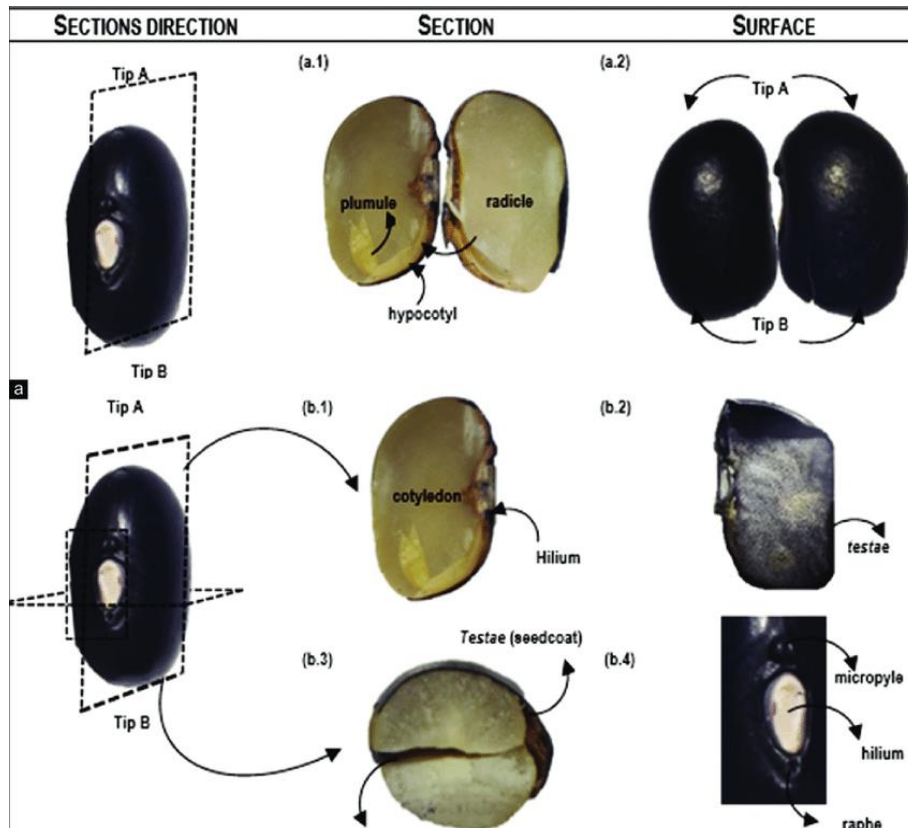


Imagen 16. Estructura en la semilla de *Phaseolus vulgaris*. Tomado de Da Silva et al. (2019) Efecto de plasma frio en la inactivación de frijol negro y estabilidad de microestructuras

Con los tres estudios realizados (Smýkal et al., 2014, Alves et al., (2016) y Da Silva et al., 2019), sobre las semillas de *Phaseolus vulgaris*, se pueden comparar las macro y microestructuras, resaltando principalmente la cubierta protectora, los cotiledones y el embrión de la semilla. De igual manera se destaca la importancia del estudio de la conformación de las estructuras para comprender la función que cumplen en el mantenimiento de la semilla.

Así, con el estudio de Smýkal et al., (2014) y Da Silva et al., (2019) la cubierta de la semilla no solo cumple una función de envoltura y de capa de nutrientes, también regula la absorción de agua. Durante el desarrollo embrionario las capas de células de parénquima también son responsables de la contracción o extensión de la testa como respuesta a la humedad, por ejemplo, el hilum abre el micropilo cuando la humedad externa a la semilla es baja gracias a una luxación de la testa, de tal manera que se

posibilita que la semilla pierda agua y se seque, sin embargo, si la humedad es alta la testa se contrae y el hilo cierra el micropilo evitando la absorción de agua.

Con el cambio en las condiciones externas y la finalización del estado de latencia de la semilla el proceso de germinación cambia la configuración de la testa para posibilitar el ingreso de agua a la semilla y entrar a las etapas de la germinación, sin embargo, con la hidratación de la semilla se suceden una serie de reacciones que producen sustancias químicas denominadas fitohormonas que controlan y regulan el cambio en la semilla.

### **Fitohormonas: Acción y control**

En autores como Koller (1959) o Nambara (2005) no está clara la procedencia o los momentos precisos en los que las fitohormonas se involucran en la regulación de las fases iniciales de la embriogénesis cigótica de la semilla, tampoco se puede aseverar que procedan desde la planta madre al momento de la formación de la semilla o sí quizás se producen en las células del suspensor durante el inicio de la histodiferenciación.

Sin embargo, algunos estudios como los de Hu et al., (2018) han podido identificar que algunos embriones de *Phaseolus vulgaris* son capaces de sintetizar sus propias hormonas durante el desarrollo del embrión y la formación del suspensor, ya que por medio de análisis moleculares se evidencia una síntesis de citoquininas y giberelinas (GAs).

Ahora bien, las Giberelinas, abreviadas GAs, son un grupo de compuestos ácidos categorizados como diterpenoides tetracíclicos de carácter carboxílico natural (Hu et al., 2018) y se les ha encontrado comúnmente en las fases de crecimiento y desarrollo de las plantas y sus semillas debido a que favorecen el alargamiento y la división celular.

Para dar cuenta de lo anterior en el estudio de Hu et al., (2018) se tomaron semillas de control en estado de latencia y semillas activadas para medir las concentraciones de Giberelinas ( $GA_1$ ,  $GA_2$ ,  $GA_3$ ) durante los momentos de cambio en la semilla en la

embriogénesis tardía, lo cual permitió obtener como resultado un incremento considerable en las concentración de Giberelinas tipo 1 o  $GA_1$  durante el crecimiento de la estructura de torpedo (T) hasta el comienzo de la maduración del embrión (MG) (ver imagen 17).

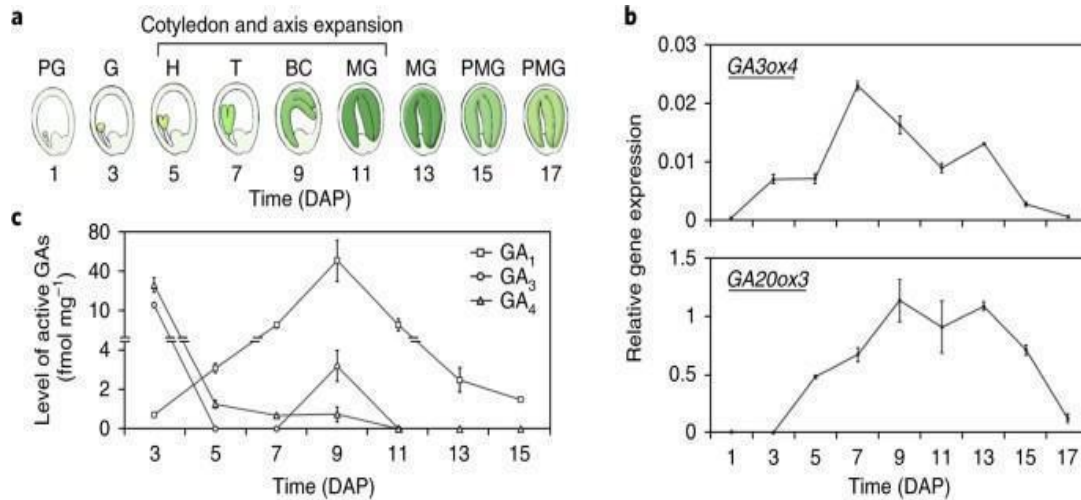


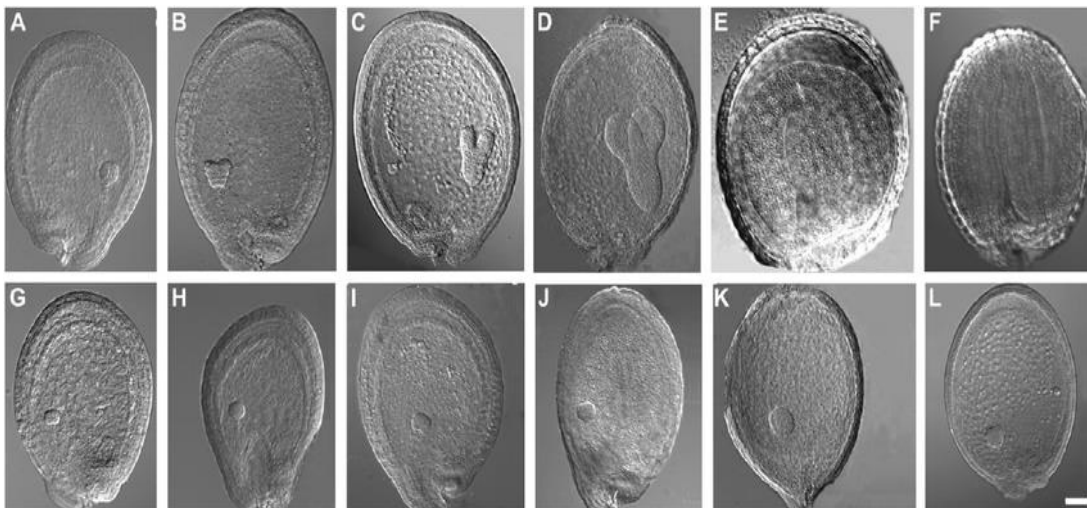
Imagen 17. Concentración de Giberelinas en los momentos de embriogénesis tardía.<sup>12</sup> Tomado de Hu et al., (2018). *Gibberellins play an essential role in late Embryogenesis.*

De igual modo, en la parte b, superior derecha de la imagen 17 se ve una disminución de la concentración de Giberelinas cuando la semilla se prepara para entrar al estado de latencia. La investigación además registró el incremento de síntesis de Giberelinas por los genes  $GA3ox4$  y el gen  $GA20ox3$  del programa genético de la semilla, el primer gen presenta mayor actividad en el inicio de la formación de la forma de torpedo en el embrión el cual requiere del alargamiento celular y de un aumento considerable en el número de células producto de la división celular. Por su parte el gen 2 demostró mayor actividad en la fase de formación de los cotiledones lo cual requiere de un almacenamiento de sustancias como el almidón para preparar la semilla para el estado de latencia.

<sup>12</sup> El artículo publicado en Nature Plants, cuenta con una descripción detallada de la acción de las Giberelinas en los momentos de embriogénesis cigótica y embriogénesis tardía. Sin embargo, afirman que los momentos exactos de síntesis de estas fitohormonas no son fáciles de determinar, ya que en paralelo al interior de la semilla suceden múltiples producciones de otras sustancias que dificultan la medición por lo que se establecen unas líneas de síntesis que abarcan varios momentos de cambio desde la alegación del suspensor a la maduración del embrión.

Ambos genes en su expresión permiten relacionar a las Giberelinas con el control de los primeros momentos de cambio en la semilla y además permiten considerar que en el proceso intervienen dos genes del programa que en simultáneo posibilitan el cambio en la disposición y tamaño del embrión y también del almacenamiento de sustancias de interés para el mantenimiento de la semilla.

En una investigación similar Wu et al., (2009) estudió el cambio en la semilla durante las fases de la embriogénesis cigótica y tardía respecto a la acción de la Coenzima A reductasa, abreviada CoAr, en la activación de la semilla y su conservación en el estado de latencia (ver imagen 18).



*Imagen 18. Detención del desarrollo embrionario. Tomado de Wu et al., (2009). Functional characterization of the Ketoacyl Coenzyme A reductase candidates of the fatty acid elongase.*

En algunos estudios en semillas de leguminosas como los de Kigel (1995) y Nambara (2005), el crecimiento inicial del embrión está sometido a un control por parte de los tejidos maternos de la planta, por ejemplo, el número de células de los cotiledones está directamente relacionado con el tamaño de la semilla, si es muy grande, o si es muy pequeña, así mismo, el control de la división celular es clave en la fase inicial del desarrollo seminal, los azúcares procedentes del tejido materno en la planta inducen la producción de ciclinas, las cuales coordinan el proceso de división celular durante las primeras etapas de formación de una semilla.



Aunque el mecanismo de control del tamaño de la semilla es un poco complejo y no ha sido estudiado a profundidad se puede decir que la cubierta seminal tiene también un notable papel en la acumulación de almidón y proteínas que puede requerir el embrión para su crecimiento.

Otras sustancias importantes en las fases de la división mitótica para la formación de la semilla y su histodiferenciación es el ácido abscísico, el cual puede ser sintetizado por la planta madre y ser transportado al embrión, promoviendo su crecimiento, así mismo tiene una importante función en la capacidad que tenga el embrión de almacenar sustancias necesarias para su mantenimiento (Wu et al., 2009).

La invertasa ácida también es una sustancia directamente relacionada con las fases iniciales del desarrollo, se encuentra principalmente en las paredes celulares y facilita la asimilación de compuestos necesarios para el crecimiento del embrión y las estructuras de almacenamiento como es el caso de la sacarosa.

Por tanto, el alto contenido de azúcares resultantes del éxito en la acción de estas sustancias, tanto en las paredes celulares como en el interior del embrión, promueve el crecimiento y la división celular (Wu et al., 2009).

Con lo expuesto hasta el momento sobre la embriogénesis y la acción fitohormonal, procesos previos a la germinación de la semilla, se dan los procesos necesarios que deben tener las semillas de frijol para pasar al proceso de activación y comienzo de la germinación. A continuación, se presentarán los cambios finales que sufren las semillas antes de convertirse en plantas.

## **LA ORGANOGÉNESIS DE LA SEMILLA DE FRÍJOL**

De acuerdo con Mantilla (2008) la germinación inicia con la absorción de agua en la semilla seca, en un proceso conocido como imbibición y termina cuando el eje



embrionario de la radícula atraviesa las estructuras envolventes de la semilla en un proceso que se denomina emergencia. Sin embargo, dependiendo de las características de las semillas el proceso puede ser más rápido o lento.

Teniendo esto en cuenta en el caso de las gramíneas como el frijol, la testa y el endospermo oponen mayor resistencia debido a su tamaño por lo que es necesario un mayor tiempo para lograr degradar la envoltura de la semilla y permitir que la radícula germine. Así, una vez la semilla se ha formado de manera óptima y las condiciones externas de humedad son las adecuadas, con la imbibición la actividad metabólica se inicia.

Si bien la semilla del frijol tiene características particulares en su formación y estructura, el proceso de germinación sigue unos procesos comunes con otras semillas. Durante el proceso de formación de la semilla que se presentó en el apartado anterior, las estructuras y nutrientes necesarios para la germinación, quedan protegidos al interior de las semillas, sin embargo, con la absorción de agua, se da un cambio en la permeabilidad de la testa (Mantilla, 2008).

Por ejemplo, en el estudio de Melgarejo (2010) se manifiestan los cambios en la actividad respiratoria del interior de la semilla con la detección y registro de la producción de etanol a causa de la deficiencia de oxígeno por la falta de acceso de este desde el exterior de la semilla debido a las condiciones de impermeabilidad de la cubierta seminal. De ahí que, si no hay ingreso de oxígeno, el metabolismo del interior de la semilla que producirá la energía necesaria para su crecimiento y desarrollo dependerá de rutas metabólicas anaerobias (Ribas et.al, 2013).

La semilla en su proceso de germinación a planta no solo sufre una serie de cambios visibles, con la actividad metabólica una serie de compuestos se degradan y sintetizan, por medio de reacciones que conforman la respiración, entre ellas, al interior de las células del embrión se produce la glucólisis, la vía de la oxidación de las pentosas, la  $\beta$ -

oxidación de los ácidos grasos, el ciclo de los ácidos tricarboxílicos y la fosforilación oxidativa del ADP para dar origen al ATP (Ribas et.al, 2013).

Todos los procesos que comprenden la respiración en la semilla parten del almidón como producto de reserva de carbohidratos y el cual está formado por unidades amilosa y amilopectina, las primeras son moléculas de glucosa unidas de manera lineal mediante enlaces y las segundas son cadenas de glucosa con ramificaciones. Por su forma compleja, la degradación del almidón requiere de varias reacciones en las que actúan diferentes enzimas sintetizadas al interior de la semilla por medio de la acción del programa preestablecido en el embrión. Las principales enzimas que intervienen en el proceso son: la  $\alpha$ -amilasa, la  $\beta$ -amilasa, la almidón fosforilasa y enzimas que actúan como desramificantes (Ribas et.al, 2013).

Con el ingreso de agua, la imbibición, se activa la síntesis de ATP a partir de la glucólisis, producto de la degradación del almidón almacenado en los cotiledones, sin embargo, conforme se da el crecimiento de la radícula, con ayuda del ATP producido, se va rompiendo parte de los tejidos envolventes y de la cubierta seminal, permitiendo el ingreso de oxígeno y tendiendo la respiración a ser aeróbica.

En esta primera fase de la germinación, tiene gran importancia el ciclo de las pentosas-fosfato y la glucólisis ya que las mitocondrias de las semillas secas están muy poco diferenciadas debido al proceso de desecación de la semilla después de la maduración del embrión, pero contienen suficientes enzimas del ciclo de Krebs, así como oxidasas terminales, para producir ATP. Las semillas que almacenan almidón en sus cotiledones son capaces de reparar y activar las mitocondrias existentes en la semilla seca con el ingreso de agua.

Finalmente, la hidratación de la semilla permite la activación de fitohormonas por parte del programa de desarrollo contenido en los núcleos de las células de las diferentes capas del embrión que conducen a la germinación de la semilla.

Ahora bien, cuando las células del embrión cuentan con el ATP necesario para su proceso de crecimiento, en la semilla se comienza a dar la emergencia radicular, proceso por el cual la radícula atraviesa los tejidos envolventes. Con esta emergencia se da fin a la germinación y comienza el crecimiento de la plántula.

En la semilla, según Mantilla (2008) el crecimiento radicular puede estar desencadenado por un cambio en la rigidez de la pared celular y la acción posterior de la presión de turgencia<sup>13</sup> de las células localizadas en la región subapical de la semilla en donde se da la elongación. Aunque los estudios no son claros hasta el momento la señal que induce el inicio de la elongación, existen tres posibles razones de como sucede: primero, puede deberse a la acumulación de solutos osmóticos para provocar el incremento de la presión de turgencia y por tanto el aumento en el tamaño de las células; segundo, el aumento en la extensibilidad de las paredes celulares, previo al inicio de la elongación, y tercero, la acción conjunta de los procesos de elongación de la radícula y relajación de los tejidos que rodean a la semilla.

Si bien no se encontró registro específico del proceso de cambio durante el proceso de germinación en la semilla de frijol, en un estudio realizado en semillas de *Quercus ilex* publicado por Romero et.al (2018), se logra apreciar con detalle el cambio en el interior y exterior de la semilla durante el tiempo que tarda la germinación en concretarse. Como se puede evidenciar en la imagen 19, la emergencia radicular se desarrolla en las primeras 24 horas terminada la imbibición de agua, además, en la investigación, mediante técnicas de tinción con Tetrazolio<sup>14</sup>, se visibiliza en la zona coloreada la elongación de las células apicales y la formación del epicótilo que dará origen a las primeras hojas de la plántula.

---

<sup>13</sup> Se denomina turgencia al proceso mediante el cual una célula se hincha debido a la presión ejercida por los fluidos contenidos al interior y exterior celular, este proceso depende directamente del transporte de agua y solutos disueltos en ella.

<sup>14</sup> El cloruro de tetrazolio se usa comúnmente en la comprobación de la viabilidad de las semillas, ya que el reactivo vira a color rojo ante la actividad metabólica de glucólisis.

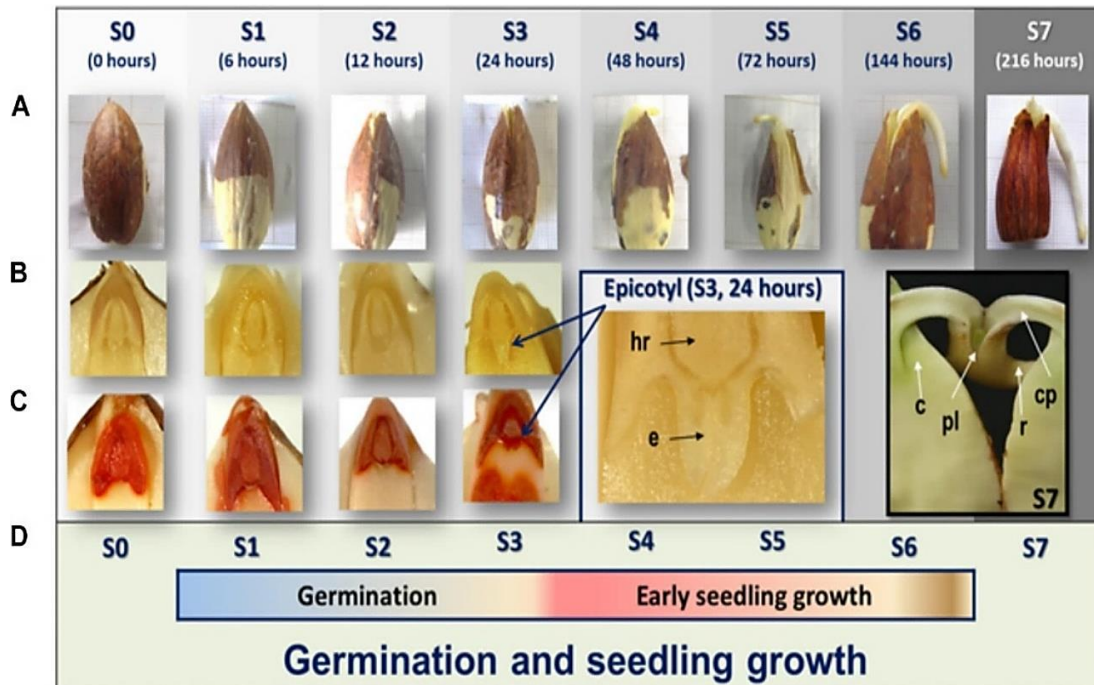


Imagen 19. Germinación de *Quercus ilex*. Tomado de Romero et al., 2018. Germinación y desarrollo temprano de plántulas en semillas recalcitrantes y no latentes de *Quercus ilex*.

Con el proceso de cambio en semilla durante la germinación la degradación de sustancias almacenadas en los cotiledones y el endospermo nutren a la plántula hasta que esta tenga la capacidad fotosintética, con la activación metabólica la acción fitohormonal también desempeña un papel importante en la germinación, en el caso de las Giberelinas y el Ácido Abscísico según Mantilla (2008), las Giberelinas hacen parte importante del control de la síntesis de enzimas que hidrolizan los componentes de los tejidos que envuelven al embrión para permitir su elongación, de igual modo el Acido Abscísico indispensable para la desecación de la semilla de inhibe en la presencia de Giberelinas, de ahí que el control hormonal al interior de la semilla da cuenta del programa de desarrollo ya que de no ser óptima la proporción de enzimas producidas en embrión no podría pasar por la germinación, y esta actividad enzimática está directamente relacionada con la producción de Giberelinas.

De igual modo, como presenta Mantilla (2008) el etileno es un estímulo de la germinación, ya que se ha observado que el etileno revierte la inhibición de la germinación producto de la acción del Acido Abscísico, además, cuando se retira el etileno del ambiente

circundante a la semilla se evidencia una inhibición de la emergencia radicular y un freno en la germinación. De ahí que cuando se da paso a la emergencia radicular con la serie de cambios en las estructuras producto de la actividad metabólica el etileno como subproducto de la degradación de los cotiledones actúan como inhibidor del Acido Abscísico y de esta manera también puede ser promotor de la síntesis de Giberelinas que aportan en gran medida a la síntesis de enzimas que permiten el crecimiento del embrión y por tanto la emergencia radicular que da fin a la germinación de la semilla.

Ahora bien, en estudios como Barrios et al., (2014) y Romero et al., (2020) con la emergencia radicular se da paso a la organogénesis de la plántula de frijol en donde las estructuras de desarrollo van tomando forma y cumpliendo su función para permitir a la planta ser parte de la continuidad de la historia de vida del frijol.

En un primer ejemplo, en el estudio de Romero et al., (2020) sobre la viabilidad de semillas de *Phaseolus vulgaris*, se puede apreciar con reactivo de tetrazolio la actividad al interior de semillas de frijol en las cuales se ha dado la germinación y en las cuales se ha retrasado el proceso con la inhibición de la glucólisis, como se puede ver en la imagen 20, hay dos semillas de frijol en diferente estado de desarrollo, en b1, la respuesta al tetrazolio es baja producto de la inactividad metabólica de la semilla principalmente en la zona central de los cotiledones esta semilla fue expuesta a un estrés hídrico por tanto la imbibición de la semilla no fue correcta, lo que tuvo como consecuencia la posible disminución en la producción de ATP y por tanto el poco crecimiento y desarrollo.

En comparación, b2 muestra una reacción al tetrazolio en gran parte de la semilla, las cual estuvo bajo condiciones óptimas de humedad, por lo cual se ve de mayor tamaño por la absorción de agua, de ahí que las estructuras que en la semilla se pueden apreciar como la emergencia radicular, el epicótilo y las hojas primordiales sean de mayor tamaño.

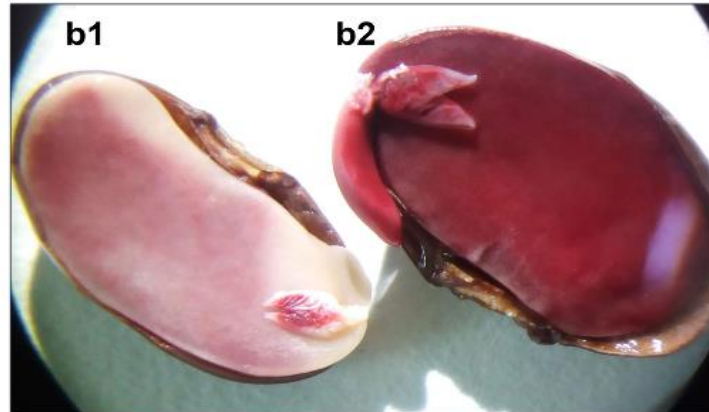


Imagen 20. Semillas de *Phaseolus vulgaris* en desarrollo. Tomado de Romero et.al (2020) Evaluación de la calidad de semillas de frijol común.

En un segundo ejemplo, con el estudio de Barrios et al., (2014), en donde se realiza la comparación de las estructuras de variedades de semillas de frijol, se hace principal descripción de las características de las estructuras posteriores a la germinación de *Phaseolus vulgaris* en la etapa de emergencia radicular, teniendo en cuenta las estructuras que se forman en el epicótilo que conforman las hojas primordiales de la plántula de frijol. En la imagen 21, se puede apreciar: el nudo cotiledonal (NC) del cual parte la diferenciación de las estructuras de hojas, tallo y raíces de la plántula; el epicótilo, que con su crecimiento dará lugar al tallo; la longitud del eje hipocótiloradicular (LHR); el ancho del eje hipocótiloradicular (AHR) y las hojas primarias, que dependiendo del crecimiento de los ejes y el epicótilo podrán desarrollarse fuera de la tierra.

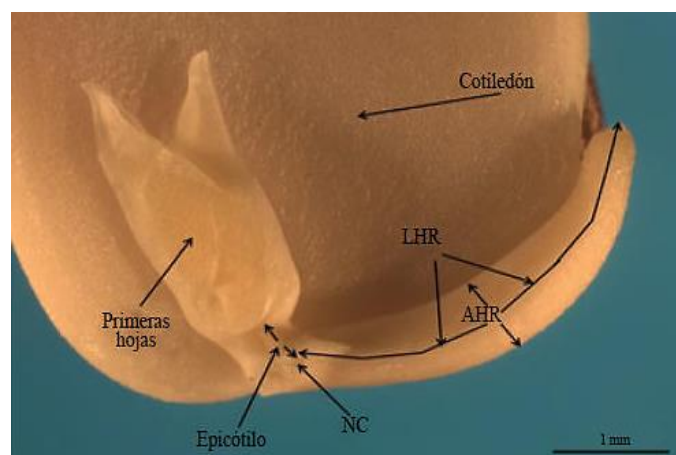


Imagen 21. Estructuras de *Phaseolus vulgaris* posterior a la germinación. Tomado de Barrios et al., (2014) Morfología del embrión del frijol.

Con el desarrollo de estas estructuras la semilla da paso a la configuración de la plántula de frijol, si las condiciones de disponibilidad de nutrientes en suelo siguen siendo optimas la semilla sufre transformaciones significativas en las estructuras primarias de raíces, tallo y hojas como se muestra en la imagen 22.



*Imagen 22.* Diferentes Momentos de crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris*. Tomado de Exploring and learning about trees and Nature. National Wildlife Federation's

Posterior a la emergencia radicular, la semilla se dispone de forma hipogeal para permitir un buen crecimiento vertical del hipocótilo, el epicótilo y las hojas primordiales, de igual modo con el paso de la semilla a la plántula las estructuras que definía a la semilla se van disipando, por ejemplo, los cotiledones se van reduciendo al igual que la cubierta seminal que se desprende de la plántula con el avance en el crecimiento y desarrollo de la planta. Como se aprecia en la imagen 23, en las etapas posteriores a la germinación, los tejidos del hipocótilo y el epicótilo sufren una significativa elongación celular, crecimiento, sin embargo, las hojas primordiales comienzan a desarrollarse en la medida en que se van diferenciando de las estructuras del tallo, inclusive llegan a tener una tonalidad más diferenciada que la del tallo, por su parte las raíces en crecimiento hipogeo, dentro del suelo, también tienen un cambio, la emergencia radicular permitió eje central de la raíz, sin embargo, de esta se desprenden raíces secundarias más delgadas que se disponen de manera ramificada para ampliar la captación de agua y nutrientes.

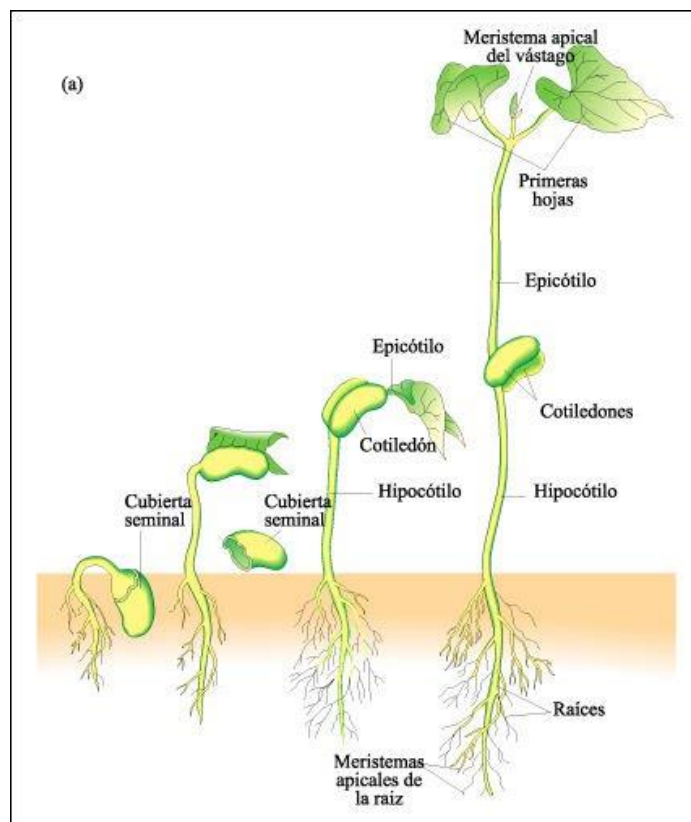


Imagen 23. Crecimiento y Desarrollo de *Phaseolus vulgaris*. Tomado de Manual de Huerta, Dirección de Educación Agraria.

Con lo anterior se da cierre a este apartado de profundización sobre la germinación de la semilla del frijol, dejando en consideración varios aspectos expuestos sobre los procesos y condiciones que hacen posible el cambio en la semilla hasta su configuración como planta.

Entre los elementos relevantes de este capítulo se puede resaltar la historicidad del concepto de germinación y su configuración como objeto de estudio para la biología debido a que hace parte importante de la configuración de la historia de vida de las plantas y además involucra como fenómeno de estudio varios aspectos que incluyen, desde la embriogénesis como punto de partida para considerar todas las condiciones de formación de la semilla que la harán viable para continuar la historia de vida de la especie a la que corresponde, hasta la organogénesis punto de partida para dejar atrás la noción de semilla y comenzar a hablar de una entidad conocida como planta.



En esta serie de procesos del orden biológico y químico, las condiciones toman un papel relevante en la manera en que condicionan el proceder de la germinación, entre estos controles, el programa preestablecido en el embrión de la semilla es determinante para su viabilidad, así mismo, la disponibilidad de un ambiente con condiciones de humedad propicias para la germinación posibilitaran que dentro de la semilla se den unas series de reacciones que producirán sustancias determinantes para el cambio, como lo son las fitohormonas que a su vez permiten la activación del metabolismo celular y el comienzo de una actividad enzimática que permite a la semilla desplegarse en un abanico de estructuras que antes no existían dando así paso al crecimiento y desarrollo.

Con este capítulo se configuran las bases teóricas disciplinares que sirven de insumo para la discusión de orden pedagógico que se presentara a continuación, ya que debido a las características expuestas sobre la profundización en germinación de la semilla de frijol hay ciertas implicaciones en la enseñanza de las ciencias naturales.

## PROFUNDIZACIÓN TEÓRICA PEDAGÓGICA

Tras el proceso de revisión teórica del capítulo anterior surge la necesidad de profundizar en algunos aspectos de orden pedagógico que aportan en gran medida al ejercicio docente de reflexión sobre la práctica y así mismo sobre la manera de proceder en el aula.

El ejercicio de profundización disciplinar acerca del proceso de germinación aporta en el diseño e implementación de la propuesta de aula brindando elementos de análisis que se deben incorporar al momento de configurar este objeto en la educación básica. De igual forma los problemas de conocimiento, el papel de la experiencia en la construcción de explicaciones y la observación constituyen referentes de índole epistemológico y didáctico que aportan de manera decisiva en la estructura de la intervención en el aula, su implementación y la recuperación de la experiencia; por lo tanto, estos aspectos serán trabajados a continuación.

Con las orientaciones del programa de Maestría en Docencia de las ciencias naturales y del grupo de investigación de Eco-perspectivas, la visión del proceso de enseñanza de las ciencias naturales toma particular protagonismo para el docente, ya que, por medio de su quehacer en el aula y su papel como investigador, configura su práctica como una actividad cultural en donde tanto el docente como el estudiante son agentes activos que se cuestionan y reconstruyen su experiencia.

De ahí que, la clase de ciencias pueda potencializarse desde metodologías más acordes a los contextos instituciones y se desligue de los procesos tradicionales de aprendizaje memorístico a los cuales se encuentra habituada.

Por tanto, en este apartado se expondrán algunos de los referentes más destacados de los problemas de conocimiento que han permitido orientar la propuesta e intervención en el aula y así mismo posibilitan abordar los elementos del papel de la experiencia y la observación, en el caso particular de la enseñanza del proceso de germinación, aspecto

del cual han emergido varios hallazgos que se detallarán en el capítulo de sistematización.

Teniendo en cuenta lo anterior el siguiente momento de profundización pedagógica parte de los referentes epistemológicos y didácticos de los problemas de conocimiento, de los cuales se problematiza el papel de la experiencia en la construcción de explicaciones sobre fenómenos de estudio, como el caso de la germinación y así mismo, partiendo de la experiencia, la observación también toma un papel importante en el análisis de las formas de proceder de los estudiantes frente al fenómeno de la germinación, lo cual permite cerrar este capítulo con el análisis de las representaciones que pueden construir los estudiantes y sus patrones de descubrimiento.

## **PROBLEMAS DE CONOCIMIENTO**

El referente de los problemas de conocimiento de Valencia y otros (2003) emerge como una categoría alternativa que permite dar cuenta de la complejidad detrás de la ciencia como actividad cultural en la construcción de representaciones y la enseñanza como espacio de innovación e investigación. Así mismo, como referente, los problemas de conocimiento reconocen en el contexto escolar toda una serie de dinámicas que dan a los docentes y estudiantes posibilidades de construcción de conocimiento colectivo en donde ambos agentes aprenden y hacen significativa su experiencia.

La categoría de los problemas de conocimiento se propone configurar una manera de entender las prácticas de enseñanza de las ciencias por medio del reconocimiento de las relaciones que se dan entre las imágenes de ciencia y conocimiento, la forma como se concibe la escuela y la construcción de explicaciones que se dan en el aula a partir de tres referentes.

### **Referentes epistemológicos: el caso de la germinación en la enseñanza de las ciencias naturales**

En primera instancia, los problemas de conocimiento abordan los referentes epistemológicos desde la actividad docente en el diseño e implementación de propuestas de aula, en donde este ejercicio académico le permite al docente cuestionar a los fenómenos de estudio desde su naturaleza para llevarlos así al aula con los estudiantes, así mismo, se reconoce que en el aula se pueden obtener resultados que ayudan a concebir a la ciencia como una actividad cultural más allá de la simple validación o refutación social, lo que permite que por medio de lo que dicen y hacen los estudiantes el conocimiento se transforme y se construya de manera colectiva.

En la enseñanza de las ciencias se pueden distinguir dos ideas claves, las imágenes de ciencia y de conocimiento. Por ejemplo, con lo abordado en la profundización teórica, alrededor del fenómeno de la germinación se tejen toda una serie de actividades científicas que permiten explicar desde la embriología y la bioquímica los procesos que permiten a una semilla de frijol convertirse en planta, sin embargo, el conocimiento que se construye en el aula de clase sobre la germinación es solo un esbozo de la ciencia detrás del fenómeno, allí, el conocimiento del docente y el estudiante no reconoce la parte histórica, biológica y bioquímica del estudio del fenómeno, por el contrario se concentra en otra serie de procesos de orden práctico que fragmentan lo que el estudiante puede comprender sobre el fenómeno.

Si bien la experiencia práctica es importante para la construcción de explicaciones sobre el mundo natural, la historia de las ciencias también aporta en gran medida a la comprensión de los aspectos que permitieron el estudio de ciertos fenómenos. De ahí que, aunque no se pretenda recrear todo el proceso de configuración del estudio de la germinación, si se debe tratar de dar sentido a la experiencia que tiene el estudiante mediante nuevas formas de enseñanza que permitan enriquecer la comprensión del fenómeno en el contexto inmediato.

Así, la ciencia como construcción de representaciones del mundo natural y social se presenta como primer referente epistemológico, ya que, en efecto, las experiencias y vivencias de cada persona se encuentran estrechamente relacionadas con el sentido y

significado que le asignamos al mundo (Giordan y De Vecchi, 1995). De tal manera que las representaciones que puede construir un estudiante sobre la germinación no solo dependen de lo que se haga en el aula de clase sino también de lo que él ya ha vivido, conocido o experimentado.

De igual modo, a través de la construcción de representaciones, el estudiante no solo valida o refuta lo que está aprendiendo, sino que también se encuentra en la posibilidad de transformar las ideas que tiene sobre el fenómeno de estudio, logrando establecer nuevas relaciones con sus compañeros, su docente y su mismo contexto ampliando su experiencia previa y configurando unas nuevas comprensiones sobre el objeto de estudio.

Ahora bien, el sujeto cognoscente, no sólo el estudiante, sino también el docente, están en la capacidad de transformar las concepciones previas del mundo natural que poseen a través de tres estrategias importantes, el cuestionamiento de la experiencia básica, la artificialización del mundo natural y la complejización de las explicaciones.

Con el estudio de la germinación. El docente y el estudiante parten de la experiencia básica mencionada en el contexto problema de este trabajo, la germinación de la semilla del frijol en básica primaria, sin embargo, para alcanzar el estamento del cuestionamiento de la experiencia básica hay que hacerle frente a las preguntas, pasar del asombro inicial de las transformaciones que convierten a una semilla en planta y vincularse a un ejercicio de pensamiento de qué es lo que sucede al interior de una semilla en la germinación y cómo las condiciones que la rodean le permiten cambiar. Así, a través de la experiencia básica, se pueden complejizar las explicaciones a partir de las preguntas, el cuestionamiento al fenómeno y la atención a los detalles.

Con ello, el estudiante que se aproxima al estudio de la germinación parte de unos principios del fenómeno verifica algunas leyes o teorías que sustentan lo observado, contrasta estas teorías, formula preguntas y está en la capacidad de elaborar supuestos de lo que puede pasar con el fenómeno.

Para ello, en la artificialización del mundo natural el sujeto puede comprobar sus supuestos con el desarrollo de montajes que le permitirán alterar el fenómeno que sucede en lo natural para ver su respuesta o comportamiento frente a lo que él decida preguntar. Por lo tanto, construye objetos de conocimiento y define variables.

En el caso de la germinación el desarrollo de un semillero es clave para la verificación o refutación de supuestos sobre las condiciones que hacen posible el cambio en la semilla, allí el fenómeno de estudio deja de estar en el plano de la seguridad y se define como un objeto de estudio que se puede variar en diversas posibilidades determinadas por el sujeto en su forma y método (Giordan y De Vecchi, 1995)

Ahora bien, en concordancia con los referentes epistemológicos, la modelización no agota la explicación del fenómeno, en esta instancia la complejización de las relaciones emergen para dar cuenta de que en la construcción del fenómeno se demanda del sujeto un cambio en la forma de mirar, de pensar y de hacer, por medio de la integración de múltiples dimensiones explicativas. Por tanto, partiendo del ejemplo del semillero, el sujeto no solo está en la posibilidad de diseñar el artefacto, sino también de determinar las variables bajo las cuales observará el comportamiento del fenómeno de germinación, de ahí que también haga uso de diversas áreas de conocimiento que le permitirán integrar otras formas de comprender lo que observa y dar respuesta a sus inquietudes así como también de poder reformular lo que está haciendo para obtener otra serie de resultados que en un inicio no consideró viendo así de manera más compleja o reestructurada el fenómeno del mundo que le rodea.

Partiendo de esto, dentro de los problemas de conocimiento también emergen unos referentes pedagógicos de interés para este trabajo, los cuales dentro de la dinámica de la ciencia y de la enseñanza de las ciencias como actividades culturales se presentan algunas orientaciones alternativas para los procesos de enseñanza que hacen significativa la actividad en el aula de clase y a la ciencia que en esta se enseña.

## **Referentes Pedagógicos en la enseñanza de la germinación como problema de conocimiento**

Dentro de los referentes pedagógicos de los problemas de conocimiento, la escuela toma un papel protagónico en la enseñanza de las ciencias, ya que es en este lugar en donde el maestro y el estudiante transforman su cultura.

De allí que, sea de vital importancia que el estudiante se exponga a procesos de enseñanza-aprendizaje que le permitan no solo alcanzar los logros establecidos en el programa de estudios, sino también a desarrollar competencias que socialmente lo hagan un sujeto de conocimiento, un sujeto que se construye y reconstruye por medio del cuestionamiento, de la reelaboración de formas de relacionarse consigo mismo y su espacio.

Al igual que el estudiante, el docente se ve como un intelectual que se configura como un posibilitador, no solo de espacios, sino de experiencias que según su contexto le permitan ver nuevas formas de entender su labor, siendo libre de ejercer sus acciones creativas con base en las preguntas de sus estudiantes, los problemas de su entorno y su intención de enriquecer su quehacer.

De igual manera, el docente debe ser crítico de su labor y de las concepciones que tiene de ciencia, para poder construir de manera más humana una ciencia contemporánea y más flexible que responda a las necesidades diarias de la cultura (Valencia et al., 2003).

Por tanto, la enseñanza de las ciencias es el punto de partida en donde convergen estas nociones de estudiante, maestro y ciencia, con alternativas a la enseñanza que posibiliten la mejor expresión de sus agentes, así como también de los fenómenos de estudio que permitan ser, hacer y pensar de manera más contextual y útil el mundo natural que nos rodea.

Así mismo, para configurar los problemas de conocimiento en la enseñanza de las ciencias, se hace necesaria la generación de espacios comunicativos y experienciales en

donde se pueda dar la construcción social de explicaciones del mundo físico. De ahí que, la clase de ciencias no se pueda ver como un espacio para el desarrollo de contenidos, sino como una posibilidad de hacer y rehacer nuevas prácticas escolares, en donde se formulen preguntas, construyan proyectos o presenten experiencias, se articule el lenguaje hablado y gráfico, todo esto desde espacio de construcción y validación colectiva.

Finalmente, sobre las formas de proceder para hacer posibles los argumentos expuestos hasta el momento, en los referentes didácticos de los problemas de conocimiento mencionando los criterios de actuación y formas de trabajo presentados a continuación.

### **Referentes didácticos de los problemas de conocimiento**

Cada experiencia en aula es particular e irrepetible, de ahí que con los referentes didácticos de los problemas de conocimiento se pretenda reconocer este carácter dinámico en la enseñanza de las ciencias y los procesos de construcción de conocimiento que en ella se desarrollan.

En primera medida partir de los intereses previos de los estudiantes es una manera de atender a las necesidades de los estudiantes, sin embargo, el contexto también incide en la manera de proceder del maestro en el aula de clase.

Particularmente en el caso de este trabajo, el carácter agroindustrial de la institución en la cual se implementa la intervención en el aula tuvo mucho que ver con la selección de la germinación como fenómeno de estudio, así como también el interés de los estudiantes por dar cuenta del proceso de cambio de la semilla de frijol permitió seleccionar esta semilla como punto de partida para el desarrollo de los proyectos de investigación sobre germinación.

De igual manera, parte de las posibilidades del trabajo con los estudiantes se diseñó o elaboró buscando la mayor participación, diálogo y socialización, aunque si bien se



presentaron dificultades en la implementación debido a las condiciones de pandemia por COVID-19, se hizo necesaria la reformulación de la propuesta para incluir tanto el apartado de trabajo experiencial de cada estudiante, así como el virtual en la socialización con los compañeros vía plataformas virtuales para reconocer cada una de las experiencias que se desarrollaban, las preguntas que surgían, los diseños que se plantearon y las respuestas o posibles conclusiones a las que se iba llegando.

Por lo tanto, la germinación como problema de conocimiento no solo se resignificó, sino que se evaluó conforme a la situación, lo que permitió al docente y a los estudiantes aportar elementos significativos para la constitución de la intervención en el aula.

Con los problemas de conocimiento y los referentes epistemológicos, pedagógicos y didácticos que orientan la intervención en el aula también surgen otros aspectos importantes para tener en cuenta, no solo para la descripción de la propuesta sino también para la sistematización de experiencias, ya que se considera en este trabajo que son aspectos importantes a tener en cuenta a la hora de analizar lo que los estudiantes dicen sobre su experiencia.

## **EL PAPEL DE LA EXPERIENCIA Y DEL EXPERIMENTO EN LA CLASE DE CIENCIAS**

Dentro de los procesos de enseñanza de las ciencias naturales, el experimento ha tomado gran relevancia para el estudio de muchos fenómenos en el campo de la física, la química y la biología, de ahí que sea de interés para este apartado profundizar desde el referente de Sandoval y otros (2006) en donde se reconoce el papel que cumple el experimento en la clase de ciencias en la organización y ampliación de la experiencia.

En concordancia con los autores, las actividades experimentales en la enseñanza de las ciencias van más allá de la verificación de teorías o supuestos, debido a que en la aproximación que hace el estudiante con la experiencia se abren posibilidades en la ampliación de la base de estudio del fenómeno al plantear problemas, organizar la

experiencia, construir magnitudes y formalizar lo observado al registrar y analizar los datos obtenidos. Como lo presenta Sandoval et al., (2006):

...se considera que la actividad experimental responde a unos protocolos altamente estandarizados que aseguran la comprobación o no de las teorías científicas. Sin embargo, en este trabajo consideramos que el experimento juega roles distintos en los dos ámbitos dadas las diferencias de intencionalidades en cada uno de ellos. La experimentación no sólo es una fuente de verificación de hipótesis teóricas, sino que en principio jugaría tres roles:

- La organización de la experiencia y procesos de formalización como la construcción de magnitudes y formas de medida.
- El experimento permite plantear problemas conceptuales importantes para la enseñanza de las ciencias.
- La actividad experimental propicia la construcción o ampliación de una base fenomenológica o de hechos de observación que serían estructurados a partir de una cierta teoría.

De ahí que, sea importante que, en el caso de la enseñanza de la germinación, no se limite la clase en aspectos teóricos de la explicación del fenómeno, sino que se involucre al estudiante en experiencias sensibles de la germinación de semillas de frijol, colocándolo en el lugar del investigador y dándole así la posibilidad de preguntar, cuestionar, diseñar, observar y analizar el fenómeno. Con esto, el estudiante construye por sí mismo el conocimiento que le permite comprender el fenómeno de manera más significativa, más allá de comprobar o refutar si la semilla germina o no.

En el caso de la enseñanza de las ciencias históricamente el experimento ha estado estrechamente relacionado con la explicación de fenómenos naturales, ya sea para su comprobación o como actividad complementaria que enriquece a las teorías. Sandoval y otros (2006) exponen que la actividad experimental no puede ser reducida a la observación de lo que sucede en el experimento, ya que no basta solo con los montajes experimentales para derivar las construcciones teóricas que sustentan la ciencia detrás del fenómeno.

Por ello, presentan tres roles en los cuales el experimento en la clase de ciencias posibilita ampliar la experiencia básica para llegar a la explicación de fenómenos y a la complejización de los mismos.

En primer lugar, la organización de la experiencia y los procesos de formalización en la enseñanza de las ciencias permiten que, por medio de la construcción de magnitudes o formas de medida, el estudiante vea su experiencia por encima de una receta con pasos a seguir, y pueda determinar la forma, método y aspecto que quiere medir, observar y analizar.

En segunda instancia el experimento le posibilita plantearse preguntas sobre cómo va a proceder, por qué obtiene los resultados que obtiene y así mismo cómo variar la experiencia para obtener otra serie de interrogantes o soluciones.

Finalmente, con la actividad experimental el estudiante construye o amplía la base conceptual que tiene del fenómeno desde la observación lo que le permite ir aproximándose a las teorías de manera gradual, cuestionada y dinámica y no como una base verídica ya dada e irrefutable.

De esta manera, se parte del reconocimiento en este apartado pedagógico de la observación en la construcción de explicaciones en la enseñanza de las ciencias naturales y particularmente en el caso del estudio de la germinación.

## **LA OBSERVACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE EXPLICACIONES**

La observación en la enseñanza de las ciencias desde lo expuesto por Hanson (2005) presupone que ante un mismo experimento la interpretación que puede hacer un estudiante será diferente a la de otro, ya que, por medio de la experiencia visual del fenómeno de estudio, aunque sea común con todos sus compañeros, la interpretación de lo observado depende no solo de la formación de cada sujeto sino de su conocimiento, de ahí que aunque se esté experimentando la germinación de una semilla, cada estudiante interpretará lo que observa de manera diferente y así mismo, se cuestionará también de manera diferente, por tanto sus montajes experimentales y análisis darán resultados particulares para cada situación.

De igual modo, en la medida en que cada estudiante interpreta de manera distinta lo que está observando, así mismo, propone alternativas para dar cuenta a los demás de lo que está analizando, de ahí que la socialización de experiencias sea importante en la medida en que abre la posibilidad de que los otros tengan una visión similar o detallen aspectos que en otras condiciones no habrían considerado u observado.

De esta forma, con la profundización pedagógica se dan los aportes para problematizar los aspectos de orden disciplinar que en el caso de la enseñanza de la germinación en la educación básica permiten considerar no solo a la germinación como un problema de conocimiento, sino también la relación que se teje entre la experiencia y el experimento con la observación, ya que dentro de los procesos y condiciones que hacen posible el cambio en la semilla se pueden dar elementos de orden pedagógico para su comprensión, de ahí que se considere un problema de conocimiento, al ser así, los referentes epistemológicos y didácticos permiten construir formas de proceder en la experiencia que le permitirá a los estudiantes experimentar con el fenómeno desde la observación y el diseño de montajes que le dan más protagonismo al estudiante en el proceso educativo y así mismo al fenómeno de estudio.

## **INTERVENCIÓN EN EL AULA: HISTORIA DE VIDA DEL FRIJOL DE LA SEMILLA A LA PLANTA**

La intervención en el aula surge del ejercicio de profundización teórica realizado en el capítulo anterior y se consolidó gracias a las preocupaciones en torno a los desarrollos curriculares, la necesidad de aportar a la solución de algunas problemáticas en el aula, las dificultades desde la comprensión y la construcción de explicaciones sobre el proceso de germinación en las plantas.

Para ello, se realizó la lectura de varios referentes disciplinares y pedagógicos que aportaron aspectos importantes para la delimitación de las fases, las acciones y las actividades a desarrollar en la propuesta de aula, así como los tiempos y materiales necesarios para su implementación. Durante el proceso de consolidación del marco teórico se fueron enriqueciendo los apartados de la intervención en el aula modificando así lo que se quería hacer y lograr.

Producto de lo anterior, se decidió titular la intervención en el aula como “Historia de vida del frijol: De la semilla a la planta”<sup>15</sup> la cual se pensó para desarrollar a manera de trabajo práctico experimental<sup>16</sup> logrando incluir elementos de la profundización teórica dando cuenta de cómo el estudio de los procesos y condiciones, hacen posible y enriquecen la comprensión de las plantas como entidades históricas.

### **CONTEXTO INSTITUCIONAL**

La intervención en el aula se delimita desde las reflexiones derivadas de los espacios de formación de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales y de los diálogos con los

---

<sup>15</sup> El nombre de la intervención en el aula y como tal el tema central a tratar surge de los intereses personales por rescatar la práctica de enseñanza de la germinación de una semilla de frijol, característica de la primaria, para ser implementada en grados de bachillerato a manera de trabajo práctico experimental.

<sup>16</sup> En la enseñanza de las ciencias, los trabajos prácticos son importantes, sin embargo, pueden llegar a ser ineficientes si se desarrollan de manera cerrada, es decir, como un conjunto de instrucciones que se deben seguir. En este trabajo, con ayuda de referentes como Gott y Duggan (1995) se deja en claro que el trabajo práctico experimental tiene un papel clave en la enseñanza en la medida en que se seleccione con cuidado lo que se va a desarrollar.

asesores que orientaron los intereses personales y las necesidades institucionales para la consolidación de esta propuesta y cómo ésta pone en consideración que el docente y los estudiantes se encuentran en el campo educativo ante una realidad que demanda la construcción de conocimientos cada vez más acordes al contexto. Esta intervención se desarrolló con 80 estudiantes de grado octavo del Colegio Parroquial Santiago Apóstol de Funza.

Así, la comprensión de los procesos en las plantas enriquece los procesos formativos en los estudiantes y les permiten a estos establecer las relaciones entre lo que aprenden, lo que conocen, y lo que podrían aplicar a su vida cotidiana, dando así mayor sentido y relevancia a lo que se está enseñando y aprendiendo. Asimismo, desde la comprensión de los procesos biológicos, químicos y ambientales detrás del proceso de germinación, se abre un mayor marco para la construcción de explicaciones sobre este fenómeno de estudio.

Por tanto, esta intervención en el aula conforma todo un abanico de retos y oportunidades para el docente y el estudiante que los llevarán a reflexiones tanto disciplinares como pedagógicas que aporten y posibiliten nuevas prácticas de enseñanza de las ciencias y motivan no sólo el aprendizaje de los procesos en los seres vivos, sino también aspectos relevantes como su cuestionamiento y complejización, abriendo la posibilidad a nuevas metodologías y espacios de diálogo más coherentes con su contexto y que aporten institucionalmente no sólo desde el cumplimiento curricular sino también desde la curiosidad e interés por conocer en los estudiantes.

## **SENTIDOS ORIENTADORES DE LA INTERVENCIÓN EN EL AULA**

Las propuestas de intervención en el aula posibilitan en el quehacer docente un proceso de reflexión sobre la práctica y las formas de proceder en el aula que aportan de manera significativa a los estudiantes y movilizan nuevas formas de conocer en ciencias. De esta manera al diseñar espacios de cuestionamiento, observación y experimentación, la enseñanza de las ciencias naturales se transforma en un espacio para construir en

colectivo, aprender haciendo y así mismo en un espacio de recuperación de la experiencia y del mejoramiento continuo. De esta manera el conocimiento que circunda la escuela no es estático, está en constante renovación y es enriquecido por la experiencia, la pregunta y la observación, de ahí que haya una imagen particular de ciencia y de conocimiento que direccionan la forma de proceder en el aula del docente como se sostiene en Valencia et al., (2003):

En los contextos escolares es cada vez más sentida la necesidad de diseñar propuestas de innovación e investigación, que pongan en juego alternativas didácticas y metodológicas, que permitan a los estudiantes vivenciar experiencias de construcción de conocimiento y a los maestros comprender los procesos pedagógicos implicados en dicha construcción. (p.1)

La intervención en el aula estuvo orientada a partir de los referentes epistemológicos y didácticos de los problemas de conocimiento de los cuales se pueden resaltar tres aspectos principales que dan sentido a la reflexión anteriormente expuesta sobre el papel docente en la constitución de experiencias innovadoras en el aula y los cuales son: La ciencia como construcción de representaciones, el cuestionamiento de la experiencia básica, la artificialización del mundo natural, la complejización de las relaciones, los criterios de actuación y las situaciones desencadenantes.

Frente a lo anterior, el lugar que ocupa el docente es determinante en la selección de actividades, momentos de ejecución, propósitos a lograr, materiales e insumos que permiten un enriquecer la experiencia, la motivación de los estudiantes y así mismo la posibilidad de recolección de registros que a través del capítulo de sistematización de experiencias darán luces sobre la pertinencia de la propuesta, los hallazgos y formas de proceder de los estudiantes frente a la idea general que se quiso implementar en correlación con el objetivo de este trabajo de grado.

Esta intervención en el aula está centrada en realizar un trabajo experimental con el fin de observar los cambios en la semilla de frijol antes, durante y después de la germinación a través de la construcción de semilleros, dando posibilidades a los estudiantes para plasmar sus explicaciones, observaciones y cuestionamiento en la medida en que va avanzando el proceso de germinación de las semillas de frijol.

Por ello, la germinación se configura como un objeto de estudio para la biología, no solo por la profundidad que deriva de su explicación sino también por ser común en los procesos de enseñanza de las ciencias naturales de básica primaria.

De ahí que, con el desarrollo de la propuesta se busque que el docente pase de ser el punto focal del conocimiento y se dé protagonismo a lo que tiene que decir el estudiante sobre lo que está estudiando, observando y cuestionando, dándole así la posibilidad de reformular su experiencia a la hora de explicar el fenómeno de la germinación de la semilla de frijol y los cambios presentes en él.

Así, la propuesta se sitúa desde el referente de los problemas de conocimiento y da relevancia al papel del estudiante en su construcción individual y colectiva, en la manera en que se posibilitan los espacios de diálogo con los demás, generando relaciones entre los actores del proceso educativo e impulsando al sujeto a la socialización de experiencias, búsqueda de explicaciones y de cuestionamiento al fenómeno de estudio que le permiten dar sentido al mundo que le rodea.

De esta manera, la propuesta *historia de vida del frijol: De la semilla a la planta* plasma el modo de proceder para que el docente propicie condiciones desde las actividades desencadenantes de los problemas de conocimiento para orientar a los estudiantes hacia la construcción de explicaciones sobre la germinación de la semilla del frijol a partir de la observación, la pregunta y el diseño de montajes experimentales.

A continuación, se presentan de manera detallada cada una de las fases de la propuesta de intervención, sus propósitos, actividades, materiales y tiempo de ejecución.

## **DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

La intervención en el aula se diseñó en una serie de fases acordes al currículo académico, teniendo en cuenta los tiempos de ejecución de un periodo académico de tres meses



para no representar un sobreesfuerzo para los estudiantes y el docente. Cada una de las fases contiene una serie de actividades de orientación, de apoyo teórico, experiencia en casa, guías de observación y prácticas experimentales para desarrollo de manera virtual debido a las condiciones de confinamiento por COVID-19.

Las actividades para desarrollar se presentaron a manera de material digital en carpetas compartidas del aplicativo DRIVE y las cuales se encuentran abiertas para la consulta de los estudiantes. Del mismo modo, por medio de Google slides se fueron enriqueciendo cada uno de los momentos de la implementación con una serie de materiales educativos que permitieron al estudiante relacionarse con los temas tratados, usarlos como fuente de consulta y así mismo enriquecerlos.

Por otra parte, las actividades a manera de experiencias prácticas fueron acompañadas en sesiones de demostración para ser replicadas por los estudiantes en casa y socializadas en las clases de biología sincrónica dos veces por semana vía virtual por medio del aplicativo Meet.

Con la implementación de la intervención en el aula se busca que a través de los montajes experimentales de semilleros en casa los estudiantes construyan relaciones entre lo observable, las estructuras en la semilla y el papel que cumplen las condiciones en el proceso de germinación de semillas de frijol hasta el desarrollo de las plantas.

Para lograr este propósito se establecieron tres fases de ejecución que brindan los elementos necesarios para abordar la germinación desde ejes centrales y actividades complementarias, estas tres fases se encuentran descritas de manera general en la siguiente tabla y corresponden a tres apartados importantes derivados de la profundización teórica: el cuestionamiento de la experiencia básica; los montajes experimentales y las complejización de explicaciones.

FASE	INTENCIÓN	ACCIONES
------	-----------	----------

<b>INTRODUCCIÓN</b>		Generar en los estudiantes espacios de experimentación y observación que les permitan formular preguntas e hipótesis sobre el proceso de cambio en la semilla de frijol a propósito de las condiciones internas y externas para su germinación y transformación en planta.	Presentación de la propuesta
			Actividad desencadenante: Montajes con orbes, semillas, cristales.
<b>PROFUNDIZACIÓN</b>	CONDICIONES INTERNAS Y EXTERNAS RELACIONADAS CON LA GERMINACIÓN DE UNA SEMILLA DE FRÍJOL	Buscar con actividades conceptuales y experimentales que los estudiantes construyan explicaciones sobre el papel que cumplen las condiciones, sus variaciones y posibles incidencias en el proceso de germinación.	Montaje del trabajo experimental. Diseño de semilleros en casa
	EL SEMILLERO UN ESPACIO PARA EL ESTUDIO DE LA GERMINACIÓN	Establecer espacios de socialización en donde los estudiantes expongan sus observaciones y resultados de los montajes experimentales permitiendo la ampliación de la experiencia de todo el grupo.	Seguimiento de los cambios en la semilla, variación de los montajes. Registros y mediciones.
<b>SOCIALIZACIÓN RELATOS DE LA VIDA DE UNA SEMILLA</b>		Organizar los resultados y análisis en una propuesta a socializar que permitan construir la historia de vida de la semilla de frijol.	Resultados del trabajo, análisis y conclusiones
			Socialización de las experiencias

Tabla 1. Descripción general de las fases de la intervención en el aula. Fuente elaboración propia.

Las fases de la tabla 1 se definieron de tal forma que los estudiantes lograran construir de manera progresiva sus explicaciones, teniendo en cuenta el cuestionamiento de la experiencia básica de las actividades desencadenantes hasta la complejización de explicaciones sobre la germinación de las semillas de frijol. Estas fases incluyen prácticas experimentales, ejercicios de tinción, test de germinado, bitácoras de riego y siembra de semillas.

Tras su puesta en marcha los estudiantes vivenciaran el papel que juega la observación y el planteamiento de hipótesis en la comprensión del cambio en las semillas y la configuración de supuestos sobre el crecimiento y el desarrollo para la elaboración de explicaciones sobre las condiciones que hacen posible la germinación en las semillas de frijol.

Se pretendió con lo anterior, desarrollar la propuesta en un tiempo estimado de 10 semanas, tiempo en el cual, y según calendario académico, se completa un periodo académico. Cada fase se llevó a cabo en las sesiones de clase de biología de grado octavo planteadas de 1 hora 30 minutos los martes y jueves con la posibilidad de asignar trabajo asincrónico en casa para ampliar observaciones o realizar los montajes experimentales.

Es importante considerar que debido a las circunstancias de contingencia por COVID-19 las sesiones de clase se realizaron de manera virtual por medio de la plataforma Meet lo que pone en consideración que las demostraciones e indicaciones no se lograron dar de manera presencial, lo que dificultó en las sesiones explicativas lograr mostrar claramente lo que se quería realizar, tanto por cuestiones de conectividad como de disponibilidad de cámaras, micrófonos etc.

## **FASES DE LA PROPUESTA**

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto sobre los problemas de conocimiento y su aporte en la definición de las fases de la propuesta cabe resaltar que, desde este referente, el ejercicio docente es clave para la reflexión y reestructuración de los procesos de enseñanza, particularmente en la enseñanza de las ciencias.

En este apartado se presentará de manera detalla cada fase de la propuesta de intervención en el aula, abordando problemáticas relacionadas con la germinación, así como también el desarrollo de prácticas en casa con materiales comunes para evidenciar otros aspectos de la temática que poco se ejecutan o no se tienen en cuenta a la hora de explicar las condiciones que hacen posible la germinación de las semillas de frijol.

De esta manera, cabe resaltar también que las fases se encuentran en concordancia con los estándares básicos de aprendizaje en ciencias naturales para grado octavo, los derechos básicos de aprendizaje y la malla curricular de la institución, que plantean las

temáticas a ser abordadas en el año y que en el sentido de la propuesta se encuentran relacionados con el apartado de reproducción en plantas. Así mismo, se proponen alternativas procedimentales que no se tienen en cuenta en estos referentes para incursionar en temáticas relacionadas a la reproducción en plantas y que aportan a los procesos de comprensión en los estudiantes.

Por otro lado, se reconoce también el papel que tienen el docente dentro de la propuesta, ya que a manera de guía, orientan cada una de las experiencias y apoya los procesos de diseño y ejecución de los montajes experimentales, aclara dudas y lidera los espacios de socialización de experiencias, reconociendo el trabajo del estudiante y motivando desde el aprendizaje colectivo a que cada grupo aprenda de la experiencia y dé a conocer sus aciertos y desaciertos para comprender paso a paso el fenómeno de estudio.

A continuación se describirá cada momento de la intervención, desde la **INTRODUCCIÓN**, cuyo propósito central es presentar las actividades desencadenantes como punto de partida para el reconcomiendo de las semillas y el papel del agua en el proceso de germinación; la **PROFUNDIZACIÓN** que tiene como eje central la artificialización de lo natural desde el montaje de los semilleros y finalmente la **SOCIALIZACIÓN**, en donde se busca que a través de la recuperación de la experiencia los estudiantes puedan dialogar sobre sus hipótesis, los montajes que diseñaron para corroborar o refutar dichas hipótesis y exponer los aprendizajes, resultados, análisis y conclusiones derivados de la experiencia.

### **Fase I: Introducción**

Esta fase se encuentra estructurada en dos partes, la primera corresponde a la presentación de la propuesta, en donde se realiza una sesión con los estudiantes para mostrar momento a momento las fases y propósitos de cada una de las sesiones y las temáticas a abordar a lo largo de 10 semanas de clase y la segunda parte corresponde al montaje de la actividad desencadenante.

A continuación, en la tabla 2 se describen de manera general las acciones y recursos de la fase 1:

FASE	INTENCIÓN	ACCIONES	DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	RECURSOS
INTRODUCCIÓN	Generar en los estudiantes espacios de experimentación y observación que les permitan formular preguntas e hipótesis sobre el proceso de cambio en la semilla de frijol a propósito de las condiciones internas y externas para su germinación y transformación en planta.	Presentación de la propuesta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contextualización de la temática a trabajar desde las relaciones entre la germinación y la reproducción. (elementos conceptuales previos y relaciones).</li> <li>Exposición de las características del trabajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de Google elaborada por la docente.</li> </ul>
		Actividad desencadenante: Montajes con orbes, semillas, cristales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de montajes</li> <li>Preguntas hipotéticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales de los montajes, orbes, frijoles y cristales.</li> <li>Presentación canva de los montajes.</li> <li>Videos de apoyo sobre los cristales de azúcar.</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de montaje en casa</li> <li>Respuesta a la pregunta ¿Qué pasará si...?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Guía de registro de preguntas, hipótesis y observaciones de los montajes.</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Socialización de las respuestas a la pregunta.</li> <li>Presentación de la plantilla para diseño del trabajo práctico de experimentación.</li> <li>Tarea desarrollo de la plantilla individual y por equipos ficha 1.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de Google sobre el cambio.</li> <li>Plantilla de diseño del trabajo.</li> <li>Elementos iniciales del trabajo, propósito, justificación, pregunta problema.</li> <li>Infografía</li> </ul>

Tabla 2. Descripción general de la Fase de Introducción. Fuente Elaboración propia.

Para el primer apartado, desarrollado en la primera sesión de clase, se presentan las directrices del proyecto, mediante un documento en PowerPoint<sup>17</sup> se comparte a los estudiantes el propósito general de las experiencias, los tiempos y recursos necesarios para su desarrollo, así mismo se plantea la metodología de trabajo sincrónico en las clases virtuales y el trabajo asincrónico que debe ser realizado por cada estudiante de manera autónoma.

<sup>17</sup> El material de apoyo se construyó en el aplicativo canva y se puede acceder a él en el siguiente enlace <https://docs.google.com/presentation/d/1Wu2yZjdrk3sdHKxjo8-J0PpJTUFdILRaBuOHk-9moFY/edit?usp=sharing>



Imagen 24. Presentación de la intervención. Fuente elaboración propia.

En el segundo momento de la fase 1, para la segunda sesión de clase, se presenta la primera actividad desencadenante, en donde junto con una demostración de los montajes experimentales se pretende que los estudiantes puedan replicar tres experiencias para ver cómo cambian los orbes, frijoles y cristales al contacto prolongado con el agua.



Imagen 25. Presentación de la actividad desencadenante. Fuente elaboración propia.

En esta segunda sesión con ayuda de material de apoyo<sup>18</sup>, se hizo el montaje de tres experiencias en tres vasos con agua, en el primero se colocó un orbe, en el segundo un

<sup>18</sup> Se presentó la metodología de los montajes experimentales en un archivo del aplicativo canva el cual podrá visualizarse en el siguiente enlace [https://www.canva.com/design/DAEcKa0sjC0/dSqsuYtJVmpOWBxEGQF1Q/view?utm\\_content=DAEcKa0sjC0&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAEcKa0sjC0/dSqsuYtJVmpOWBxEGQF1Q/view?utm_content=DAEcKa0sjC0&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=sharebutton)

frijol y en el tercero un cristal de azúcar. Para la sesión se abrió un espacio en la actividad *¿Qué pasaría si...?* en donde los estudiantes participaron de manera abierta planteando algunas hipótesis de lo que pasaría a estos tres materiales al contacto con el agua por un periodo de 7 a 14 días. Posterior al planteamiento de las hipótesis se buscó que los estudiantes lograran replicar los tres montajes en casa para observar los cambios y llevar un registro de observaciones.

Imagen 26. Material para el registro de observaciones de la actividad desencadenante. Fuente elaboración propia.

En la sesión 3, se socializaron las experiencias con los montajes y así mismo se realizó una presentación<sup>19</sup> en la que se registraron en tiempo real las preguntas de los estudiantes sobre el papel del agua en los experimentos, dando así un apoyo teórico sobre el concepto de crecimiento.

<sup>19</sup> Se construyó una presentación en el aplicativo canva para orientar la socialización de experiencias con los tres montajes experimentales desarrollados por los estudiantes la cual puede verse en el siguiente enlace.

[https://www.canva.com/design/DAEcV\\_cft50/1l8MeVND9ZHeScs8QYAu\\_Q/view?utm\\_content=DAEcV\\_cft50&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton#1](https://www.canva.com/design/DAEcV_cft50/1l8MeVND9ZHeScs8QYAu_Q/view?utm_content=DAEcV_cft50&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton#1)





Imagen 27. Crecimiento vs aumento de tamaño actividad desencadenante. Fuente elaboración propia.

Con las reflexiones derivadas de la actividad experimentales se construyó la ruta del trabajo práctico experimental de la fase de profundización, en ese sentido fue necesario para el cierre de la fase de introducción establecer los criterios a seguir con las semillas de frijol y las condiciones que harán posible su cambio.



Imagen 28. Cierre de la fase de introducción. Fuente elaboración propia.

Seguido a esto se diseñó un material de orientación<sup>20</sup> de trabajo autónomo por parte de los estudiantes en donde se encuentran las características para realizar la delimitación del problema de investigación, el planteamiento de los objetivos y la justificación.

<sup>20</sup> En el material se pueden encontrar las directrices para la construcción de una pregunta problema, objetivos de una investigación y la justificación el cual se puede consultar en el siguiente enlace: [https://www.canva.com/design/DAEcy2HqZ0l/7K1zf8Zo4xmf09zK-1jvhA/view?utm\\_content=DAEcy2HqZ0l&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAEcy2HqZ0l/7K1zf8Zo4xmf09zK-1jvhA/view?utm_content=DAEcy2HqZ0l&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)



<p><b>El Problema</b> de investigación</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe tener solución.</li> <li>2. El problema planteado debe ser expresado con claridad y precisión.</li> <li>3. El problema científico se ocupa de hechos naturales.</li> <li>4. Los problemas deben ser capaces de ser observados empíricamente.</li> <li>5. En la formulación del problema debe tenerse explícitas las variables que se relacionan en la investigación.</li> <li>6. Debe ser formulado claramente a modo de pregunta.</li> <li>7. El planteamiento del problema implica la posibilidad de prueba empírica de poder observarse en la realidad.</li> </ol>	<p><b>Los Objetivos</b> de la investigación</p> <p>Define lo que se busca alcanzar, de manera amplia, al llevar a cabo una investigación. Se entiende como la meta a la que se debe llegar al final del proceso investigativo, planteada de manera clara y en una sola frase.</p>										
<p>Nivel de complejidad</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nivel de complejidad</th> <th>Objetivos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BAJO</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Describir / señalar</li> <li>• Se concentran en indicar rasgos o circunstancias de algo.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>INTERMEDIO</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir / Ejemplificar / Narrar</li> <li>• Exigen una labor más detenida de focalización en los rasgos o circunstancias de algo.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>ALTO</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Argumentar / Explicar / Comparar</li> <li>• Proponen un conocimiento más profundo del porqué, el cómo y el para qué de algo.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>MUY ALTO</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar / Sintetizar / Evaluar</li> <li>• Proponen un conocimiento más profundo dado que presuponen lo anterior y apuntan a vincular algo con otros niveles (generales, diferentes, opuestas, partes suyas, etc.).</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Nivel de complejidad	Objetivos	BAJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Describir / señalar</li> <li>• Se concentran en indicar rasgos o circunstancias de algo.</li> </ul>	INTERMEDIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir / Ejemplificar / Narrar</li> <li>• Exigen una labor más detenida de focalización en los rasgos o circunstancias de algo.</li> </ul>	ALTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argumentar / Explicar / Comparar</li> <li>• Proponen un conocimiento más profundo del porqué, el cómo y el para qué de algo.</li> </ul>	MUY ALTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar / Sintetizar / Evaluar</li> <li>• Proponen un conocimiento más profundo dado que presuponen lo anterior y apuntan a vincular algo con otros niveles (generales, diferentes, opuestas, partes suyas, etc.).</li> </ul>	<p><b>La Justificación</b> de la investigación</p> <p>La justificación de un Proyecto supone sustentar y exponer las razones por las cuales nuestro Proyecto de Investigación es importante. Para justificar nuestro Proyecto, debemos de responder ¿por qué realizamos el estudio? y ¿Para qué investigamos?</p>
Nivel de complejidad	Objetivos										
BAJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Describir / señalar</li> <li>• Se concentran en indicar rasgos o circunstancias de algo.</li> </ul>										
INTERMEDIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir / Ejemplificar / Narrar</li> <li>• Exigen una labor más detenida de focalización en los rasgos o circunstancias de algo.</li> </ul>										
ALTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argumentar / Explicar / Comparar</li> <li>• Proponen un conocimiento más profundo del porqué, el cómo y el para qué de algo.</li> </ul>										
MUY ALTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar / Sintetizar / Evaluar</li> <li>• Proponen un conocimiento más profundo dado que presuponen lo anterior y apuntan a vincular algo con otros niveles (generales, diferentes, opuestas, partes suyas, etc.).</li> </ul>										

Imagen 29. Material de apoyo previo la fase de profundización. Fuente elaboración propia.

Debido a la contingencia por COVID-19 las sesiones de demostración y de indicaciones sobre los montajes experimentales se desarrollaron por plataforma Classroom, dando así la oportunidad para que en el transcurso de las sesiones los estudiantes pudieran descargar y solucionar las plantillas de cada una de las fases del trabajo.

Con el desarrollo de la pregunta de investigación, los objetivos y justificación del trabajo práctico de investigación se da cierre a la fase de introducción y paso a la fase de profundización descrita a continuación.

## Fase II: Profundización

Para esta fase se designaron 5 semanas de clase, de las cuales se ejecutaron las actividades correspondientes a 10 sesiones de clase. Este segundo momento de implementación en el aula fue orientado desde la artificialización del mundo natural de los problemas de conocimiento, en él la construcción de semilleros se configura como un medio para que los estudiantes observen de cerca el proceso de cambio en la semilla, realicen observaciones, apliquen variaciones a los montajes y corroboren hipótesis.

La fase de profundización se estructura desde dos momentos claves, los cuales buscan la organización del tiempo y del seguimiento de los semilleros. A continuación, se

describe de manera general la fase de profundización, los propósitos y recursos utilizados:

FASE	INTENCIÓN	ACCIONES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	RECURSOS
PROFUNDIZACIÓN	CONDICIONES INTERNAS Y EXTERNAS RELACIONADAS CON LA GERMINACIÓN DE UNA SEMILLA DE FRÍJOL	Montaje del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socialización</li> <li>• Presentación evidencias ficha 2. Condiciones internas de la semilla (organización interna de la semilla)</li> <li>• Diseño del montaje</li> </ul>	SEMANA 1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infografías organización de las semillas.</li> <li>• Guía equipos "LO VISIBLE" "LO NO VISIBLE".</li> <li>• Ficha para desarrollo de trabajo por equipos.</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socialización</li> <li>• Presentación evidencias ficha 2. Condiciones internas de la semilla (organización interna de la semilla)</li> <li>• Tinción de estructuras en las semillas.</li> </ul>	SEMANA 2 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infografías sobre el cambio en la semilla.</li> <li>• Guía equipos "La semilla antes de la germinación"</li> <li>• Ficha para desarrollo de trabajo por equipos.</li> </ul>
EL SEMILLERO UN ESPACIO PARA EL ESTUDIO DE LA GERMINACIÓN	Establecer espacios de socialización en donde los estudiantes expongan sus observaciones y resultados de los montajes experimentales permitiendo la ampliación de la experiencia de todo el grupo.	Seguimiento de los cambios en la semilla, variación de los montajes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socialización</li> <li>• Condiciones Internas de la semilla</li> <li>• Realización de talleres</li> <li>• Registro en cuaderno de ciencias.</li> </ul>	SEMANA 3 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infografías sobre la acción del agua en la semilla.</li> <li>• Guía equipos "Lo necesario para la germinación"</li> <li>• Ficha para desarrollo de trabajo por equipos</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socialización</li> <li>• Condiciones Internas de la semilla</li> <li>• Realización de talleres</li> <li>• Registro en cuaderno de ciencias.</li> </ul>	SEMANA 4 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infografías sobre otros factores que inciden en la semilla.</li> <li>• Guía equipos "Lo necesario para la germinación parte II" Fitohormonas.</li> <li>• Taller en clase</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socialización</li> <li>• Condiciones Internas de la semilla</li> <li>• Realización de talleres</li> <li>• Registro en cuaderno de ciencias.</li> </ul>	SEMANA 5 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infografías etapas de la germinación.</li> <li>• Guía equipos "La semilla durante la germinación"</li> <li>• Taller en clase</li> </ul>

Tabla 3. Descripción general de la Fase de Profundización. Fuente elaboración propia.

Para este momento de la fase de profundización se construyó material de apoyo<sup>21</sup> que permitió a los estudiantes consultar sobre la organización de la semilla de frijol en lo

<sup>21</sup> El material elaborado para esta fase incluye aspectos de la profundización teórica que orientan al estudiante en su actividad experimental y el cual se puede consultar en el siguiente enlace: [https://www.canva.com/design/DAEdE3MjUMUJ/icgXiWJpNlSOHkBPZ9KuYw/view?utm\\_content=DAEdE3MjUMUJ&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAEdE3MjUMUJ/icgXiWJpNlSOHkBPZ9KuYw/view?utm_content=DAEdE3MjUMUJ&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)

referente a lo visible e invisible, con este material se dio un punto de partida para contrastar las observaciones realizadas en la actividad desencadenante e ir orientando a los estudiantes al reconocimiento del papel de las condiciones en el proceso de germinación de las semillas y así iniciar la construcción de los montajes experimentales. Con la elaboración de los semilleros los estudiantes seguirán día a día el proceso de germinación en un promedio de 30 semillas, unas de las cuales serán analizadas desde sus cambios internos y otras desde los externos.



Imagen 30. Introducción a la fase de profundización. Fuente elaboración propia.

En el primer momento de la fase II se titula “**condiciones internas y externas relacionadas con la germinación de una semilla de frijol**”, a partir de las reflexiones derivadas de la actividad desencadenante de la fase I se reconoce el papel que cumple el agua y se da la oportunidad a los estudiantes para que realicen según sus intereses

diferentes semilleros, buscando que a través de la experimentación con las semillas de frijol se pueda determinar las condiciones necesarias para la germinación.

Como segunda actividad en la semana 1 de ejecución de la fase II, se presenta la estructura inicial del proyecto, a manera de apoyo teórico<sup>22</sup>, en donde se indica a los estudiantes las características que tiene la metodología en la estructura del trabajo, como construirlo y las variables que pueden ser de interés para aplicar en los semilleros, así mismo, se presentan las tablas de registro en las cuales los estudiantes día a día escribirán sus hallazgos, preguntas y registros fotográficos.

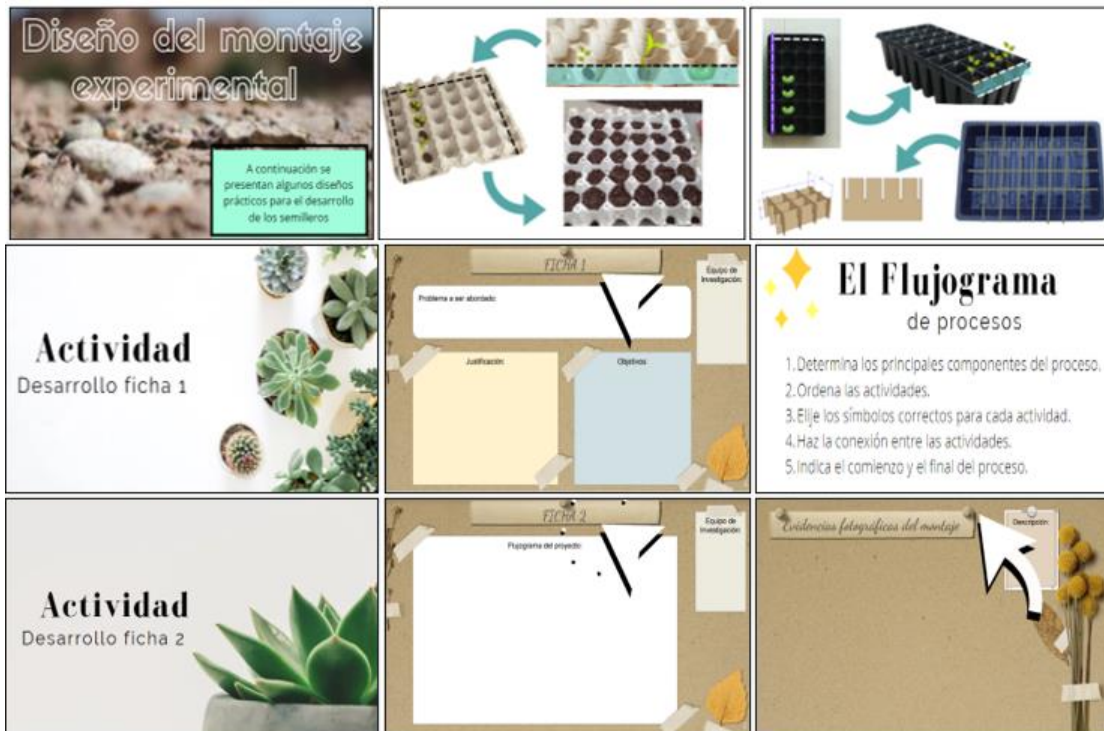


Imagen 31. Material de apoyo inicio de la fase de profundización. Fuente elaboración propia.

Durante el desarrollo de los montajes experimentales los estudiantes están en la libertad de diseñar su semillero y escoger por ejemplo si las semillas crecen en altas condiciones

<sup>22</sup> En el material se pueden encontrar las tablas de registro así como orientaciones sobre como diligenciarlas, el material puede consultarse en el siguiente enlace: [https://www.canva.com/design/DAEcy2HqZ0l/7K1zf8Zo4xmf09zK-1jvhA/view?utm\\_content=DAEcy2HqZ0l&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton#8](https://www.canva.com/design/DAEcy2HqZ0l/7K1zf8Zo4xmf09zK-1jvhA/view?utm_content=DAEcy2HqZ0l&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton#8)



de humedad. Con ello al realizar sus montajes los estudiantes seguirán día a día el cambio en las semillas y al mismo tiempo irán contrarrestando lo visto teóricamente en clase sobre la germinación.

Teniendo clara la estructura de la primera parte del trabajo se procede en la semana 2 describir desde el apoyo teórico la organización de la semilla de frijol, construyendo material de apoyo teórico<sup>23</sup> tipo presentación que le proporciona a los estudiantes algunas ideas sobre lo que se observa en sus montajes experimentales y algunas de las condiciones necesarias para evidenciar cambios en sus semillas, los cuales pueden ser elegidos por los estudiantes o variados.



Imagen 32. Material Organización de la semilla en antes de la germinación. Fuente elaboración propia.

Paralelo a este material se desarrolla la primera actividad experimental de laboratorio en casa para contrarrestar la información teórica con la práctica, se propone la actividad “Laboratorio de Disección de semillas” (ver imagen 33) en donde a través de un estereoscopio digital se presenta a los estudiantes algunas características internas de las

<sup>23</sup> El material construido recoge información del proceso de germinación e incluye apartados explicativos sobre el antes, durante y después de la germinación. Para consultarlo puede acceder en el siguiente enlace:

[https://www.canva.com/design/DAEdpxVandA/j386Ng7yqWH1c6s1Vdp30A/view?utm\\_content=DAEdpxVandA&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAEdpxVandA/j386Ng7yqWH1c6s1Vdp30A/view?utm_content=DAEdpxVandA&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)

semillas, algunas estructuras y cambios que presentan con el paso del tiempo que se pueden evidenciar con el uso de Isodine.

De esta actividad demostrativa parte la actividad en casa de “Tinción de semillas” en donde los estudiantes realizan cortes de las semillas de los semilleros una cada día por 5 días con el propósito de visibilizar con Isodine el cambio en el interior de la semilla durante la germinación que conforme pasa el tiempo son cada vez más evidentes.



Imagen 33. Disección de semillas y tinción. Fuente Elaboración propia.

Con este ejercicio se retoma parte de lo expuesto en el marco teórico en la identificación de estructuras y el cambio en la semilla producto de la actividad metabólica, sin embargo, aunque en los estudios consultados se trabajó con Cloruro de tetrazolio, debido a la contingencia por COVID-19 no fue posible conseguir el reactivo, de ahí que se haya

optado por hacer uso del Isodine como indicador del cambio en la semilla debido a la presencia de almidón en los cotiledones.

Tras la experiencia de disección y tinción que permitió contrastar los cambios internos en la semilla con la teoría vista en clase, con ello se procedió al registro de las observaciones de los estudiantes en tablas de análisis<sup>24</sup> como las siguientes:



Imagen 34. Material de apoyo registro de observaciones tinción de semillas. Fuente elaboración propia.

Así, este primer momento de la fase titulado “**condiciones internas y externas relacionadas con la germinación de una semilla de frijol**” permite contrastar parte de las características externas de semilla desde lo observable con el estereoscopio y las características internas de la semilla como su composición y el cambio que hay en su

<sup>24</sup> Se diseño para los estudiantes una guía de registro de observaciones con ejemplos sencillos para la organización de los resultados del ejercicio de tinción de semillas el cual se puede consultar en el siguiente enlace: <https://docs.google.com/presentation/d/1Up6y2qSTPbyR1sUA7HjIRe-u0Tje1-6ZqTRIFdy7L8/edit?usp=sharing>

composición conforme la semilla empieza el proceso de germinación, el crecimiento de algunas estructuras y el cambio también que presentan estas.

Partiendo de esta experiencia de observación en la semana 3 se realizan las actividades de cierre del momento uno y se da paso al momento dos de la fase de profundización titulada, **“el semillero un espacio para el estudio de la germinación”** partiendo de una sesión demostrativa en donde se presenta a los estudiantes una idea base para el seguimiento de los semilleros en casa, se organizan dos sesiones asincrónicas en donde los estudiantes ensayan en sus semilleros variaciones para medir y observar cómo inciden estos cambios en las semilla, ya que los estudiantes con la práctica de tinción ya pueden contrarrestar lo que sucede normalmente en las semillas sin variables.

Entre las variables presentadas algunos estudiantes decidieron experimentar diferentes tipos de líquidos como jugo de naranja, agua con azúcar o agua con sal, otros trabajaron variaciones de temperatura, ubicando sus semilleros en lugares oscuros, otros con luz o en la nevera, así mismo otros decidieron trabajar con el sustrato y agregar diversos compuestos a la tierra, como cáscara de naranja, huevo o banano y hacer el seguimiento de las semillas.

Con el montaje y puesta en marcha de los semilleros, se realiza material de apoyo conceptual<sup>25</sup> para orientar las condiciones mínimas bajo las cuales las semillas pueden germinar, de esta manera se enseñan parte de los hallazgos de la profundización teórica disciplinar y los estudiantes pueden ir comparando con sus semilleros el cambio en la semilla producto de las variación, obteniendo análisis que les permitirán determinar si las variaciones inhiben la germinación, la promueven o si por el contrario no representan ningún cambio.

---

<sup>25</sup> En este material de consulta tipo infografía se resumen las condiciones mínimas para la germinación, el material puede consultarse en el siguiente enlace de manera más detallada: [https://www.canva.com/design/DAEeZibApk4/nKK2w6fd3Ggaug4Cdn3hxA/view?utm\\_content=DAEeZibApk4&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAEeZibApk4/nKK2w6fd3Ggaug4Cdn3hxA/view?utm_content=DAEeZibApk4&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)





Imagen 35. Material de apoyo las condiciones que inciden en el cambio de las semillas. Fuente elaboración propia.

Teniendo en cuenta la selección de las variables y el material de apoyo sobre las condiciones que inciden en el cambio de la semilla se desarrolló otra guía de laboratorio<sup>26</sup> en casa en donde se analizó el efecto de la temperatura sobre las semillas de frijol denominado “Test de Germinado”, debido a las condiciones de la contingencia se trabajó con fuentes de calor variadas, desde los módems de internet que permanecen encendidos la mayor parte del día hasta las neveras que también son fuentes de calor. Para la experiencia se seleccionaron 20 semillas de frijol secas de paquete que fueron colocadas en dos condiciones diferentes, de humedad y temperatura la primera parte de las semillas, 10, se dividieron 5 y 5, cada mitad se colocaron en un sobre de papel de cocina húmedo envuelto en papel aluminio, la segunda parte, 10, se dividieron 5 y 5, cada mitad se colocaron en un sobre de papel de cocina seco envuelto en papel aluminio, una vez se tienen los 4 sobres se procede a dejar uno húmedo y uno seco en una fuente de

<sup>26</sup> El material elaborado conto con las descripciones del proceso de la prueba de germinado y las tablas para el registro de resultados, de igual manera se realizó una presentación para la socialización de experiencias, la cual pues consultar en el siguiente enlace: [https://www.canva.com/design/DAEeHTeWz3w/ YuL0MoMt3NvibB\\_JLDfg/view?utm\\_content=DAEeHTeWz3w&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAEeHTeWz3w/ YuL0MoMt3NvibB_JLDfg/view?utm_content=DAEeHTeWz3w&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)

calor constante como un modem de internet y los restantes se dejaron lejos de fuentes de calor para ver los cambios en la semilla.



Imagen 36. Análisis del Test de Germinado. Fuente elaboración propia.

Para la semana 4 se trabajó más en detalle las condiciones que permiten la germinación de la semilla, particularmente en los aspectos derivados de la profundización, como es el caso de la acción fitohormonal y de las sustancias que se producen al interior de la semilla posterior a la imbibición. Con el material de apoyo conceptual se buscó profundizar en los aspectos teóricos que rara vez se mencionan en la enseñanza de la germinación.

Para los primeros momentos de la semana 4 se desarrolló material de apoyo sobre la acción de las fitohormonas en el cambio de la semilla<sup>27</sup>. Es importante decir que, debido a la contingencia las prácticas de laboratorio de acción fitohormonal no se lograron desarrollar, sin embargo, se plantearon talleres teóricos en clases virtuales para conocer sobre las fitohormonas presentes en la germinación y su papel como controles de la actividad metabólica, el crecimiento y el desarrollo.



Imagen 37. Introducción a las Fitohormonas en la germinación de las semillas. Fuente elaboración propia.

Posterior a las clases teóricas sobre la acción fitohormonal se trabajó en la observación de los semilleros y el registro de los cambios dos semanas después de su siembra, para

<sup>27</sup> Para la profundización de los factores que hacen posible la germinación se diseñaron dos presentaciones de apoyo para las clases teóricas las cuales encontrara en los siguientes enlaces [https://www.canva.com/design/DAEeHTeWz3w/5n04zNTuKRu\\_tENyZRf8Q/view?utm\\_content=DAEeHTeWz3w&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAEeHTeWz3w/5n04zNTuKRu_tENyZRf8Q/view?utm_content=DAEeHTeWz3w&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=sharebutton)

[https://www.canva.com/design/DAEeXQ0YwQ4/E0BRLia1msxKx9YGgr43\\_A/view?utm\\_content=DAEeXQ0YwQ4&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAEeXQ0YwQ4/E0BRLia1msxKx9YGgr43_A/view?utm_content=DAEeXQ0YwQ4&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=sharebutton)

ello se desarrolló material de apoyo con preguntas orientadoras para la experiencia y tablas de análisis para el registro de los cambios.



Imagen 38. Material de apoyo para el seguimiento de los semilleros. Fuente elaboración propia.

Los semilleros se trabajaron por 20 días aproximadamente entre la semana 2 y la semana 5 de la segunda fase de la implementación, de tal manera que se logró seguir el proceso de cambio en la semilla hasta la formación de las plántulas de frijol en los últimos días de la fase de profundización. Finalmente, se procedió con la fase III de socialización que se describe continuación.

### Fase III: Socialización

La fase final de la implementación se tituló “Socialización” y se ejecutó sobre las últimas 3 semanas del periodo académico, en esta fase se presenta de manera concreta los



resultados, análisis y conclusiones derivadas de las 7 semanas del proyecto. La fase de socialización se describe de manera general en la siguiente tabla:

FASE	INTENCIÓN	ACCIONES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	RECURSOS
<b>SOCIALIZACIÓN RELATOS DE LA VIDA DE UNA SEMILLA</b>	Organizar los resultados y análisis en una propuesta a socializar que permitan construir la historia de vida de la semilla de frijol.	Resultados del proyecto, análisis y conclusiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socialización</li> <li>• Presentación evidencias ficha Condiciones externas de la semilla.</li> <li>• Realización de cortes.</li> <li>• Registro fotográfico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infografías organización en la planta.</li> <li>• Guía equipos “La semilla después la germinación”</li> <li>• Ficha para desarrollo de trabajo por equipos</li> </ul>
		Socialización de las experiencias	Socialización final (todas las fichas).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentaciones construidas por los grupos.</li> <li>• Documento final del trabajo.</li> </ul>

Tabla 4. Descripción general de la Fase de Socialización. Fuente elaboración propia.

En esta fase se acompañó a los estudiantes en sesiones de tutoría en las cuales se dieron orientaciones sobre cómo reunir lo que se había trabajado en una presentación concreta<sup>28</sup> y que así mismo permitiera dar relevancia a los hallazgos más representativos y los aprendizajes alcanzados, se solicitó igualmente que se presentaran registros fotográficos, grabaciones o ilustraciones sobre el desarrollo de los momentos del proyecto, el laboratorio de tinción y el test de germinado, de tal manera que se logran triangular los tres resultados y poder encontrar similitudes y diferencias entre los resultados para construir los análisis y las conclusiones.

Con la elaboración de las presentaciones finales se buscó que los estudiantes por medio de sus explicaciones pudieran dar cuenta de la historia de vida del frijol reconociendo cada uno de los momentos de cambio por los que pasa la semilla para transformarse en planta y las condiciones que hacen posible contar dicha historia.

<sup>28</sup> En el siguiente enlace se puede consultar las indicaciones dadas para la organización de la información reunida a lo largo del trabajo: <https://drive.google.com/file/d/1niBp2kIVorCEQZeun4qUmHQSwwHNNBhu/view?usp=sharing>

Las sesiones de la semana 8 se designaron de trabajo asincrónico en donde los estudiantes de manera autónoma organizarían sus registros y construirían sus resultados y análisis debido a una serie de actividades institucionales que no posibilitaron las sesiones de clase de manera virtual.

Finalmente, para la semana 9 y 10 debido a la cantidad de grupos organizados se comenzaron a socializar las experiencias en sesiones virtuales con un espacio de 15 minutos por grupo para la presentación de lo realizado a lo largo del corte, de tal manera que todos los grupos lograron socializar con sus compañeros los hallazgos de los semilleros, las preguntas que se formularon, las maneras en que procedieron para responder esas preguntas, las dificultades presentadas en la ejecución, los rediseños o mejoras a los montajes, los análisis que lograron construir, las conclusiones producto del trabajo realizado y las recomendaciones que tienen tanto para el proyecto como para otros estudiantes.

Así, y a manera de cierre de la implementación descrita en este capítulo, se puede reconocer que la intencionalidad de cada momento, actividad y recursos, parte de la comprensión del proceso de germinación desde conceptos claves como el cambio, las condiciones y las estructuras. Estos aspectos si bien se derivan de la profundización teórica, también se fueron rediseñando conforme se avanzó en la implementación de la experiencia, ya que, por diversas circunstancias, una serie de actividades permitieron trabajar más unos procesos que otros, sin embargo, el esfuerzo mediante el cual se diseñó el banco de material de apoyo disciplinar fueron de gran ayuda para el desarrollo de las clases y de la experiencia de construcción de la historia de vida de la semilla a la planta.

A través de la observación, el trabajo en grupo, la construcción de montajes experimentales y la socialización se dio un papel protagónico al estudiante y a sus cuestionamientos, posibilitando de este modo una dinámica de la clase de ciencias en donde el docente es un acompañante y el aprendizaje no está dado por preguntas cerradas, opciones de respuesta, memorización o repetición.

## LA ENSEÑANZA DE LA GERMINACIÓN COMO UNA OPORTUNIDAD DE RECUPERACIÓN Y REFLEXIÓN DE LA EXPERIENCIA DOCENTE

En este capítulo se presenta la recuperación de la experiencia de aula denominada *La historia de vida del frijol: de la semilla a la planta*, a partir de la interpretación de las producciones de los estudiantes y de lo que significa para el docente el diseño e implementación de dicha propuesta en su interés por cualificar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la germinación.

La sistematización como recuperación de la experiencia y reflexión docente parte no solo de un ejercicio de lectura crítica de lo que se hace al interior del aula de clase, también reconoce que los agentes del proceso, tanto estudiantes como docentes, aportan a la configuración de alternativas en la enseñanza de las ciencias.

Ahora bien, la recuperación de la experiencia en el aula es una labor rigurosa del docente quien realiza la lectura de los registros y ordena los datos con estrategias de clasificación que filtran el material reunido en unos registros que dan cuenta de lo que el docente quiere analizar o evidenciar de la experiencia trabajada.

El ejercicio de sistematización que se presenta a continuación evidencia cómo desde este tipo de experiencias se aporta a la construcción de explicaciones de fenómenos biológicos por medio de diseños experimentales que dan mayor protagonismo a los estudiantes por ser ellos quienes se cuestionan, analizan las evidencias y consolidan las explicaciones, saliendo de los métodos tradicionales de la enseñanza de la germinación.

De esta manera, la sistematización de la intervención en el aula se relaciona con los criterios establecidos en los sentidos orientadores de la propuesta y la delimitación del problema en lo referente al campo de enseñanza de las ciencias.

Por ejemplo, la intervención en el aula se encuentra relacionada con la profundización disciplinar, ya que de ella emergieron aspectos claves para la comprensión del proceso de germinación que en algunas ocasiones no se retoman en las explicaciones de la clase

de ciencias naturales, como lo es el cambio en la semilla producto de la germinación, el papel que cumplen las condiciones tanto internas como externas y el desarrollo de estructuras que diferencian a la semilla de la planta.

Por tanto, en el diseño de la propuesta, fue necesario recoger parte de los hallazgos de la profundización disciplinar para organizar la forma de proceder de tal manera que los estudiantes logaran aproximarse a este fenómeno de estudio desde aspectos tan básicos como la estructura de la semilla de frijol y su cambio a partir de las interacciones con el agua.

Así, teniendo en cuenta que, en la Educación Básica primaria, según lo evidenciado y expuesto al inicio de este documento, la enseñanza de la germinación es superficial y que en bachillerato no se profundiza, en la intervención de este trabajo se pretende ampliar la experiencia desde las explicaciones sobre lo que sucede al interior de la semilla producto de los procesos y condiciones presentados en el marco teórico.

En este ejercicio de recuperación de la experiencia se realiza el análisis de tres agrupaciones, la primera, ***sobre la actividad desencadenante y su papel en la configuración de objetos de estudio***, donde se exponen los desarrollos de la FASE 1, la segunda, ***los semilleros y su aporte en la comprensión de los cambios y condiciones para la germinación de una semilla***, se presentan y analizan los registros en la FASE 2 y finalmente, en la tercera, ***la complejización de explicaciones en la comprensión de las plantas como entidades históricas***, se recuperan aquellas explicaciones de carácter teórico y procedimental que elaboran los estudiantes en la FASE 3 para dar cuenta de la germinación de las semillas y los procesos por los cuales las semillas forman parte de la historia de vida de las plantas.

A continuación, se presentan algunos de los hallazgos más relevantes en la recuperación de la experiencia y su significado en la reflexión docente.



## LA ACTIVIDAD DESENCADENANTE Y SU PAPEL EN LA CONFIGURACIÓN DE OBJETOS DE ESTUDIO

En esta categoría se analizaron las construcciones realizadas por los estudiantes con relación a las actividades desencadenantes de la FASE 1, en donde a partir de las observaciones de los montajes experimentales se elaboraron hipótesis sobre el papel que cumple el agua en los materiales, poniendo en consideración el concepto de crecimiento y de aumento de tamaño.

En la FASE I se recopilaron registros de las actividades en donde los estudiantes describieron y compararon los cambios más significativos en orbes, semillas y cristales de azúcar en contacto con el agua por un tiempo prolongado. Así mismo, se recopilaron registros producto de la socialización de las experiencias durante las sesiones virtuales de la clase de biología.

Para el análisis de los registros, se resaltan los cuestionamientos de los estudiantes producto de la recuperación de su experiencia. Por ejemplo, en la siguiente apreciación, los estudiantes dan cuenta de algunas cualidades observadas en los cambios que sufren los orbes o gomas y las semillas al ser puestos en agua por tiempo prolongado:

“El frijol está hecho de una especie de masa que no le permite romperse en el agua, pero la gomita que parece de gelatina si absorbe mucha agua, está babosa y se cae a pedazos” (E2)

“Con los días las gomitas se han comenzado a deshacer, pero el frijol no ha cambiado más, el agua por lo contrario a comenzado a tomar color blanco y a oler bastante feo, me pareció interesante que la gomita se hinchara hasta romperse, pero el frijol no” (E4)

En estos registros los estudiantes identifican el aumento de tamaño, el cambio de color del agua, el cambio de olor como aspectos claves a tener en cuenta en las cualidades que toman los orbes o gomas y las semillas respecto a su interacción con el agua, así mismo, elaboran comparaciones en términos de las cualidades que sobresalen en los orbes o gomas y las cuales no están presentes de la misma manera en las semillas de frijol como es el caso de absorber agua hasta deshacerse, lo cual les permite hacer una

distinción entre los materiales de los que están constituidas las gomitas y las semillas que reaccionan de manera diferente a la exposición prolongada en el agua.



*Imagen 39. Evidencias de los estudiantes actividad desencadenante.*

En este mismo sentido, los estudiantes plantean diferentes formas de aproximarse a la construcción de descripciones y a la formulación de preguntas, así por ejemplo, se resalta que el estudiante 2 describe en su observación el material del frijol como una masa que interactúa con el agua hasta un cierto punto y lo compara con el material de gelatina de la gomita que interactúa en mayor medida con el agua hasta el punto de deshacerse y romperse, lo cual cobra sentido en la medida que termina siendo el material lo que le permite a la semilla mantener su forma en presencia del agua y además da razones al estudiante para identificar que la gomita está compuesta por un material diferente al de la semilla.

Por su parte el estudiante 4 plantea en su descripción aspectos más generales de la interacción de la gomita y la semilla con el agua, se concentra en las características que cambian en el agua como el color y el olor producto de la interacción de los materiales, llamándole la atención que la gomita se rompe, pero la semilla no. De ahí que, y teniendo

en cuenta lo presentado por Hanson (2005) en el papel de la observación, en una misma experiencia hay dos maneras interesantes de descripción, una más detallada que la otra, pero igualmente relevantes.

A partir de este análisis, es posible afirmar que los estudiantes establecen una relación entre el cambio en la semilla, las condiciones externas a las que se encuentra expuesta y sus condiciones internas, vinculando la idea que tienen de su composición como “el material del que están hechas” realizando contrastes con otros materiales como el de las gomitas.

Así mismo, es importante recuperar desde otro registro la interacción del agua particularmente con la semilla de frijol, ya que en las descripciones sobre el cambio en las estructuras desde lo externo y lo interno, hay una preocupación por cómo el agua ingresa a la semilla por medio de la cáscara. En el caso del estudiante 1 hay un interés por las estructuras de las cuales está constituida la semilla que la diferencia de la gomita, permitiéndole a esta almacenar el agua en una estructura a la cual denomina tejido.

“La razón por la que al cabo de cierto tiempo los frijoles sumergidos en agua se hinchan es porque esta penetra en la semilla a través de la cáscara, es absorbida por los tejidos de almacenamiento aumentando así su tamaño, me pregunto si ¿habrá salido la raíz de su interior gracias al agua?” (E1)

¿Qué preguntas surgen del cambio en la semilla... ?

La razón por la que al cabo de cierto tiempo los frijoles sumergidos en agua se hinchan es porque esta penetra en la semilla a través de la cáscara, es absorbida por los tejidos de almacenamiento aumentando así su tamaño, me pregunto si ¿habrá salido la raíz de su interior gracias al agua?




Imagen 40. Testimonio E1 sobre la semilla del frijol.

Este testimonio nos permite hacer una separación entre los primeros registros y las descripciones del agua como sustancia que interactúa con los materiales y produce cambios. En estos, la interacción con el agua es particular y se encuentra estrechamente ligada a zonas específicas de la semilla como lo son los tejidos de almacenamiento lo que le permite a la semilla disponer de agua de manera diferente a como lo hace la gomita. Este registro permite evidenciar en el estudiante un interés por lo que sucede al interior de la semilla que no había sido considerado en los primeros 2 registros.

De esta manera se reconoce que los testimonios sobre lo que sucede al interior de las semillas y que no son visibles, son de particular interés para los estudiantes, de ahí que seleccionen como problema de estudio de la siguiente fase. Así mismo, a partir de la fase desencadenante el agua como condición para la germinación toma un protagonismo en las descripciones de los estudiantes.

Por tanto, por medio de la observación y el análisis de las relaciones que existen entre las condiciones internas y externas de la semilla, la germinación se reconoce como un objeto de estudio en la Educación Básica que llama la atención por las particularidades que permiten a la semilla diferenciarse de otros materiales y desarrollar una serie de procesos que enriquecen la experiencia sensible partiendo de algo simple como lo es el contacto con el agua.

## **LOS SEMILLEROS Y SU APORTE EN LA COMPRENSIÓN DE LOS CAMBIOS Y CONDICIONES PARA LA GERMINACIÓN DE UNA SEMILLA**

Teniendo en cuenta la FASE II en la que se resalta el papel de los montajes experimentales, en esta segunda agrupación, se recuperan los registros de los estudiantes que desarrollan desde la actividad desencadenante la formulación de su problema de investigación y al mismo tiempo exponen formas de proceder para dar respuesta a los cuestionamientos orientadores de la germinación de la semilla de frijol.

De lo anterior emergen en un primer momento registros en los cuales de manera descriptiva se presentan las variables de interés de los estudiantes y su forma de

proceder a la hora del montaje de los semilleros. Así mismo, se distingue cómo se formulan interrogantes y supuestos sobre lo que acontece con las semillas de frijol al ser sometidas a condiciones particulares, así, por ejemplo:

“Mi variable es la cáscara de huevo, realice el semillero el sábado 1 de mayo, y hoy 4 de mayo todavía no he visto muchos cambios. El único que he visto es que el día #1 al cortar la semilla observe una hoja pequeña, y el día #2 observe dos hojas pequeñas” (E1)

“Cada integrante del equipo de investigación, abono la tierra con un residuo natural diferente: cáscara de frijol verde, cáscara de huevo y cáscara de naranja para ver ¿Cómo influye en el proceso de germinación abonar la tierra con distintos residuos naturales?” (E2)

En estos registros es claro que los estudiantes proponen la toma de medidas, en lo referente al tamaño o coloración, como una preocupación por evidenciar cómo el sustrato incide en el proceso de germinación de la semilla de frijol, sin embargo, el estudiante 1 da cuenta de los cambios presentes en la semilla desde el interior, ya que extrae la semilla de la tierra y la corta en dos para observar lo que está sucediendo y las estructuras que comienzan a formarse en poco tiempo gracias al proceso de germinación.

Por su parte, el estudiante 2 incluye dentro de su montaje experimental más variables en el sustrato para establecer comparaciones y se formula una pregunta problema para dar cuenta de cómo el proceso de germinación de las semillas de frijol se ve afectado por estas variaciones.

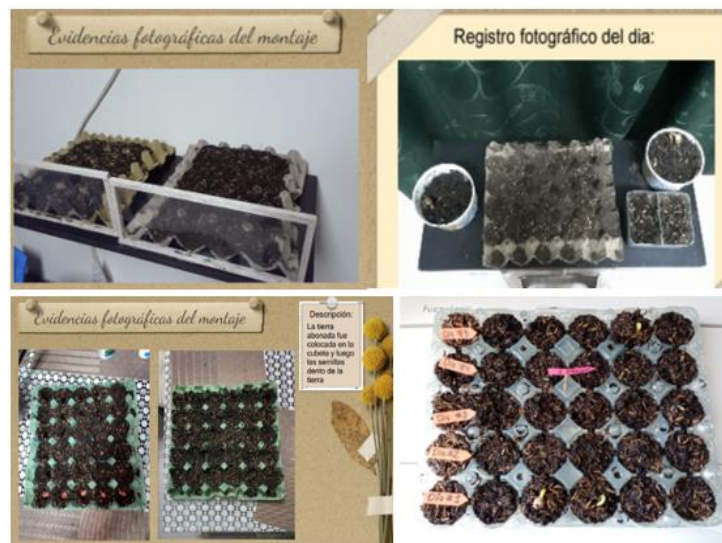


Imagen 41. Montajes experimentales de los estudiantes.

Es interesante ver cómo a través del diseño de los semilleros los estudiantes proponen acciones que les permitan experimentar con la germinación y así mismo establecer relaciones entre el papel que cumplen las condiciones como el sustrato en el cambio de la semilla, sin embargo, en los siguientes registros se profundiza un poco más en la observación y el cuestionamiento al fenómeno de estudio, desde lo presentado por Hacking (1996) y Hanson (2005) cuando reconocen que dentro de la experiencia sensible conforme se avanza en los procesos de observación, se avanza en los procesos de explicación, así, por ejemplo:

“Evidenciamos el cambio de las semillas, el Isodine nos permite observar y analizar los cambios día a día al interior del frijol, sino lo hubiera cortado no me habría dado cuenta de todo lo que cambia” (E3)

“Como en la cubeta de huevos no se podía ver bien las semillas decidí utilizar un recipiente de plástico y observar por debajo el crecimiento de la raíz, para hacer un mejor seguimiento trasasé varias semillas a un recipiente de postre transparente” (E4)

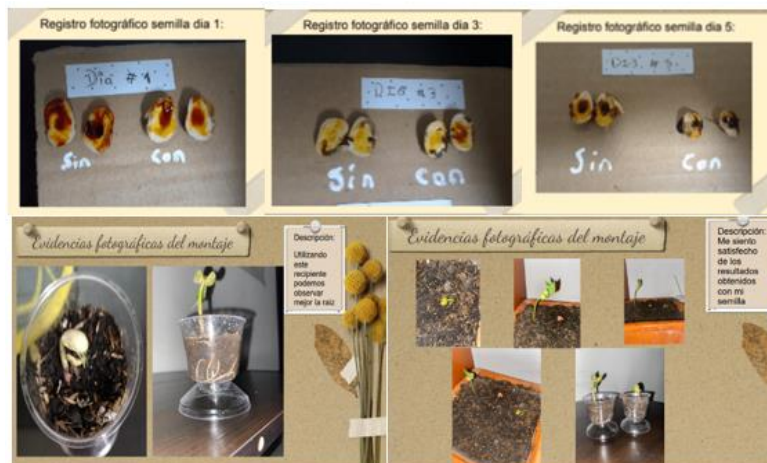


Imagen 42. Tinción de semillas y cambios en los montajes experimentales.

De esta manera a través de los montajes experimentales los estudiantes pueden cuestionar desde diversos aspectos al fenómeno de estudio y en la medida en que se avanza en la experiencia se pueden rediseñar los montajes para dar cuenta desde diversas formas de proceder de cómo la semilla de frijol cambia respecto a las condiciones en la que es puesta, así, por ejemplo en el caso del estudiante 3 lo que



sucede al interior de la semilla parece ser algo invisible que requiere del uso de una sustancia, en este caso Iodine, para ser visible, en este sentido el Yodo presente en la sustancia reacciona con los carbohidratos presentes en la semilla cambiando así de color, haciendo visible en la semilla una serie de reacciones que con el paso de los días transforman su composición interna y así se posibilita el desarrollo de ciertas estructuras que antes no estaban en su interior, para el estudiante fue necesario cortar y hacer tinción a la semilla para responder su pregunta sobre lo que sucede al interior de esta.

Por su parte el estudiante 4, se preocupa más por el cambio en la semilla desde el exterior y para dar cuenta de ello reformula su montaje experimental al notar que las características del material del cual está hecha la cubeta de huevos no le permite ver lo que sucede en la semilla, por lo que decide trasplantar sus semillas a un recipiente transparente en el cual puede visualizar desde diferentes ángulos lo que sucede en la semilla tras la emergencia radicular, dando cuenta de la manera en que se dispone la raíz, su color y forma de crecimiento.

Por otro lado, el desarrollo de los semilleros también posibilita que los estudiantes describan aspectos importantes que generan las condiciones en las semillas y que a veces no son percibidos, así, por ejemplo:

“El agua es importante para la semilla, pero cuando se agrega mucha, las semillas comienzan a pudrirse, trate de no agregar más agua, pero las semillas ya se habían dañado, voy a sembrar de nuevo las semillas y voy a agregar agua cada tres días a ver lo que sucede” (E5)



Imagen 43. Variación del montaje por humedad.

Con esto el estudiante 5 reúne parte de las reflexiones derivadas de la actividad desencadenante sobre el papel del agua en el proceso de germinación de la semilla, pero también gracias al montaje experimental reconoce que el exceso de agua genera putrefacción en la semilla y que ese proceso de descomposición hace que la semilla ya no sea viable para la germinación, por ello decide volver a realizar la experiencia teniendo cuidado de la cantidad de agua que agrega.

Este registro se puede argumentar desde el referente de los problemas de conocimiento (Valencia et al., 2003) en el apartado de la artificialización del mundo natural, ya que allí los montajes experimentales enriquecen la experiencia básica del estudiante, por ejemplo, en este caso, fue determinante para que el estudiante comprobara que el exceso de agua en el semillero ocasiona procesos de descomposición y no de germinación. De igual modo, a través de la profundización teórica y los elementos de orden disciplinar se contrastan con las explicaciones de los estudiantes, que en la medida en que avanzan en la experiencia se incluyen más detalles y temáticas para dar cuenta de lo observado.

Por esto, los montajes experimentales como también lo presentan Sandoval y otros (2006), constituyen un ejercicio intensional incluso desde la elección de los materiales con los que se trabaja, de igual manera y como se presentó en los registros anteriores, también se constituyen en elementos determinantes que pueden facilitar la observación del fenómeno de estudio.

Además de lo anterior, el trabajo práctico experimental o el trabajo con montajes experimentales desde Gott y Duggan (1995) y Valencia y otros (2003) juega un papel importante en la construcción de explicaciones de los fenómenos en las ciencias, particularmente en la biología. De ahí que, con el desarrollo de esta experiencia los estudiantes al trabajar directamente sobre sus semilleros fueron capaces de observar y cuestionar la germinación de las semillas de frijol y así mismo construyeron un conocimiento sobre el cambio y los procesos y condiciones que lo hacen posible.



Con estas observaciones se comienzan a concretar las explicaciones sobre el proceso de germinación, el cambio en la semilla, las condiciones que hacen posible el proceso y el desarrollo de las estructuras, de allí que en la última agrupación presentada a continuación, sobre la complejización de explicaciones, se reúnan los registros que a lo largo de la experiencia dan cuenta de cómo los estudiantes incorporan nuevos aspectos a sus descripciones, observaciones y explicaciones del proceso de germinación de las semillas de frijol.

### **LA COMPLEJIZACIÓN DE EXPLICACIONES EN LA COMPRESIÓN DE LAS PLANTAS COMO ENTIDADES HISTÓRICA**

Para esta última agrupación, se reúnen los registros en los que se evidencia la forma como los estudiantes amplían y complejizan sus explicaciones a medida que se va avanzando en la implementación de la ruta, así mismo, estos registros se pueden relacionar a los referentes de los problemas de conocimiento de Valencia et al. (2003) cuando presentan:

“En una renovada instancia la construcción del fenómeno es posible concebirla en su dimensión compleja lo cual demanda un cambio en las formas de mirar, de pensar y de hacer del sujeto que conoce”

Por tanto y en relación nuevamente a Hanson (2005) la manera de observar de los estudiantes condiciona la forma en que piensan el fenómeno de estudio y proceden sobre él mismo, así, se hace necesario resaltar los registros que reúnen dentro de las explicaciones aspectos que van más allá de lo observable y plantean cuestionamientos. Por ejemplo:

“Analiqué qué en cada semillero el proceso de germinación de las semillas fue diferente, lo que me permitió llegar a una comparación y establecer qué, dependiendo de lo que haya en la tierra, los nutrientes que entrarán a la semilla acelerarán o harán más lento el proceso de germinación. Con mi equipo descubrimos que los abonos naturales son muy buenos, sin embargo, es importante revisar los compuestos que tengan estos desechos naturales para no afectar la tierra, como en el caso de los ácidos de las cáscaras de naranja y limón ya que no favorecieron el crecimiento de las plantas de frijol, esto lo comprobamos con las tiras de pH que indicaron un valor muy ácido el suelo” (E2)

“En general las semillas han germinado muy rápido. No todas tenían las mismas condiciones, pienso que ya fue cuestión de cada una de ellas, ya que cada semilla tiene una composición que la hace más efectiva o menos efectiva en el tiempo que tarda en germinar y en empezar su etapa de desarrollo dependiendo de si se formó bien en la vaina de la planta o si tiene algunos defectos. Pude analizar que el proceso de germinación de las semillas es un cambio muy rápido, por ejemplo, en la mañana la semilla estaba a punto de salir de la tierra y en la tarde ya tenía un tallo aproximadamente 4 cm, lo que sucede gracias a los procesos de división celular que realiza el embrión en su crecimiento que son diferentes en el desarrollo ya que hay una diferenciación celular que da lugar a los tejidos del tallo, de la raíz y de las hojas” (E3)

Ambos registros recuperan la experiencia a lo largo de la implementación para dar explicaciones sobre el proceso de germinación de la semilla, teniendo en cuenta que desde la actividad desencadenante las condiciones que hacen posible la germinación de la semilla no solo dependen de lo que hay al exterior de la semilla, sino también de las características internas de la misma, de este modo por ejemplo el estudiante 2 establece una relación importante entre los nutrientes disponibles en el medio y su papel en la activación de la semilla, de esta manera también recupera su experiencia al comprobar en su semillero que los abonos naturales inciden en el proceso de germinación tanto de manera positiva como negativa, ya que al agregar cáscaras de cítricos al suelo cambia su pH, explicación que se comprobó con tiras indicadoras de pH, ampliando la experiencia más allá de la observación, así mismo, recurre a la consulta documental para verificar o contrastar lo que son los suelos ácidos y su impacto sobre las semillas, lo que le permite comprender lo que sucedió en su montaje experimental y determinar si las cáscaras de cítricos como compuestos no óptimos para la germinación de las semillas de frijol.

Por su parte, el estudiante 3 concentra sus explicaciones en la configuración interna de la semilla reconociendo que las características del embrión para ser viable en la germinación depende de cómo se formó la semilla en la planta, así mismo, entiende que si la semilla tiene defectos desde su formación no va a germinar de manera correcta, además, integra dentro de su explicación aspectos muy importantes sobre el cambio de la semilla producto de la división celular, reconociendo que lo que sucede al interior de la

semilla se puede clasificar en una etapa de crecimiento y una etapa de desarrollo cuando las estructuras de raíces, tallos y hojas comienzan a diferenciarse. Es importante también reconocer que el estudiante a través del seguimiento de su semillero puede observar el proceso de germinación desde sus diversas etapas, de forma detallada.

Para ir cerrando el capítulo de sistematización se puede decir que a través de la implementación la forma de proceder de los estudiantes sobre el fenómeno de estudio se enriquece en la manera en que se recurre al cambio, las condiciones y las estructuras para describir el proceso de germinación, así mismo, se trasciende de la observación externa al cuestionamiento de lo que sucede al interior de la semilla, su constitución y transformación producto de la acción de diversos factores.

Es importante resaltar que la experiencia básica, como se presenta en la profundización pedagógica, permite a los estudiantes focalizar su atención en un objeto particular de estudio, introduciendo elementos de análisis como la composición, las estructuras y las condiciones a las cuales se encuentra expuesta la semilla durante la germinación. Particularmente en este trabajo la disponibilidad de agua fue un aspecto de problematización en la mayoría de los estudiantes.

De igual forma, los montajes experimentales también juegan un papel importante en la construcción de explicaciones con respecto al estudio de la germinación, ya que debido a que los estudiantes diseñan por sus propios medios sus montajes, el ejercicio experimental va más allá del seguimiento de instrucciones, se constituye como una actividad intencionada en donde el sujeto toma decisiones frente al uso de materiales, el control de las condiciones y la selección de instrumentos que le permitan seguir los cambios que va observando, como en el caso del estudiante que hace uso de una regla sobre el semillero para responder a las preguntas que le van surgiendo sobre el crecimiento de la planta de frijol.



Imagen 44. Montaje experimental con instrumentos de medida.

Los ejercicios de documentación y profundización teórica realizados tanto por la docente como por los estudiantes también configuran un papel importante en la construcción de explicaciones, debido a que permiten tomar decisiones sobre las formas de proceder en la experiencia, desde el diseño y montaje de los semilleros hasta el uso de sustancias que permiten revelar el cambio en las estructuras que de otra forma serían invisibles. De igual manera, la documentación permite introducir nociones sobre el programa, las condiciones, las estructuras, el crecimiento, el desarrollo, el cambio y así mismo realizar ejercicios de reflexión sobre su actuar y valorar de esta manera las formas en las que se ha procedido durante la experiencia, dejando enseñanzas, aprendizajes y emociones que permiten que el proceso educativo sea más satisfactorio.

## PRODUCCIÓN DISCURSIVA

Al surgir este trabajo de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, es necesario en este capítulo de Producción Discursiva recoger las reflexiones derivadas del ejercicio de profundización teórica y la recuperación de la experiencia en torno a la germinación de la semilla de frijol, ya que son estos dos elementos los que sustentan la relevancia del fenómeno para la enseñanza de las ciencias naturales en la Educación básica y a la vez presentan los aportes de este trabajo a la práctica docente con un trascender de los modelos de enseñanza tradicionales, por medio del ejercicio de profundización y el diseño de experiencias significativas en el aula que enriquecen los procesos de aprendizaje en los estudiantes.

Por tanto, en este capítulo a partir de los hallazgos de la profundización disciplinar sobre el papel de las condiciones, el programa, el cambio y la acción fitohormonal se dan los elementos que dan cuenta de la recuperación de la experiencia frente al papel de la observación, la experimentación y las nuevas nociones sobre la práctica docente en la enseñanza de las ciencias y particularmente en la enseñanza de la germinación.

En un inicio con los diferentes espacios académicos de la Maestría, desde el docente se ha transformado la noción de ciencia y de conocimiento, lo cual permite reflexionar sobre la manera de proceder en el aula, encontrando elementos importantes para la consolidación de la propuesta que problematiza la enseñanza del fenómeno de la germinación y así mismo da elementos para considerar que la ciencia como actividad cultural requiere de un trabajo conjunto entre el docente y el estudiante para fortalecer y dar sentido a los procesos de aprendizaje.

Por ello, el ejercicio de delimitación y definición del problema de este trabajo surgen de una mira crítica de las prácticas educativas propias y externas, en donde se evidencia la importancia de la profundización disciplinar y pedagógica para dar cuenta de la germinación y su configuración como un objeto de estudio de interés para la ciencia y así mismo para la enseñanza en Educación Básica.

Así, para comprender el proceso de germinación fue necesario un arduo trabajo de consulta y aprendizaje, que, si bien en un inicio aparentaba ser sencillo, con la revisión documental y el diálogo con los autores se reveló como una trama de dinámicas que hacen a una semilla de frijol una entidad organizada.

Teniendo en cuenta lo anterior, al abordar a la semilla de frijol desde toda su complejidad y de acuerdo al ejercicio de dialogo con los autores fue posible descubrir que las condiciones necesarias para la germinación parten en un inicio desde el programa preestablecido en la semilla producto de su formación, ya que desde la embriogénesis la semilla guarda todo el comando de operaciones que permitirán el crecimiento y posterior desarrollo de las estructuras que darán lugar a la planta, por tanto el programa cumple un papel determinante en su viabilidad y es una condición para la germinación.

Así mismo, el agua permite la activación de la semilla desde su acción sobre los tejidos constituyentes de la semilla, como la testa, al iniciar la actividad metabólica que bajo el control de las fitohormonas van dando lugar al crecimiento por elongación y división de las células y posteriormente un cambio hacia el desarrollo de nuevas estructuras que sin la presencia del agua permanecerían en estado latente o no existirían.

Así, con la profundización en embriogénesis se aportó en gran medida al cambio de nociones que se tenían al inicio del trabajo, ya que través del proceso de documentación, conceptos como crecimiento y desarrollo fueron problematizados y orientados desde autores como Baker y Allen (1970), quienes plantean ideas simples para dar cuenta de procesos complejos como los presentados en la germinación.

Por ejemplo, en el estudio del programa y la embriogénesis, el aprendizaje sobre el cambio al interior de la semilla producto de la acción de las sustancias químicas, tanto de las fitohormonas como de las enzimas, permitió avanzar en la identificación de los elementos claves del proceso de germinación y la causalidad que tiene unos sobre los otros.

Así, teniendo en cuenta lo presentado en el inicio del capítulo se plantean 2 ejes de reflexión importantes, el primero desarrolla el papel de la profundización y el segundo aborda el diseño, implementación y sistematización de la experiencia en aula como un eje clave para la enseñanza de la germinación. Estos elementos se analizan desde la perspectiva de los problemas de conocimiento, las actividades desencadenantes y el papel del experimento en la construcción de explicaciones.

Finalmente, en el cierre de este capítulo se describen algunas recomendaciones limitaciones y proyecciones para la enseñanza de la germinación producto de este trabajo.

## **EL PAPEL DE LA PROFUNDIZACIÓN DOCENTE EN LA COMPRESIÓN DE LA GERMINACIÓN Y SU ENSEÑANZA**

En este trabajo producto de la reflexión docente emergen una serie de problemáticas asociadas a los procesos tradicionales de enseñanza de las ciencias que dificultan los procesos de aprendizaje y así mismo, se encuentran desligados de las necesidades de los contextos en los que se aplican. Con ello, es importante rescatar que con base en las características institucionales y las particularidades del contexto de enseñanza es que surge el objeto de estudio de este trabajo, la germinación, de ahí que el docente ve como una necesidad el profundizar y trabajar experiencias en torno al cambio en la semilla de frijol para vincular temáticas de orden disciplinar y pedagógico que aporten a los estudiantes en la comprensión de los procesos en las plantas.

Por ello, la profundización docente parte de un supuesto en el que la germinación debe precisarse e incluso complejizarse en la enseñanza de las ciencias, no solo por su poca incorporación en el currículo de la educación básica en el que se encuentra enmarcado, sino también por la trama de dinámicas que implica y que hacen compleja su enseñanza. De ahí que sea importante designar tiempo para la documentación y planificación de la intervención en el aula, aspecto que no siempre se puede realizar.

De este modo, partiendo del desconocimiento, el ejercicio de profundización demanda del docente procesos de aprendizaje sobre la marcha, es decir, a la par se va indagando sobre el proceso de germinación se van hallando más procesos que hacen parte del cambio en la semilla.

Por ejemplo, al iniciar este trabajo, el concepto que se tenía sobre germinación era superficial y no trascendía del proceso mediante el cual una semilla se convierte en planta, sin embargo, al comenzar la documentación sobre la historicidad del fenómeno y cómo este se configuró en un objeto de estudio para la biología, se evidenció una serie de explicaciones de orden biológico y bioquímico que suceden de manera diferente en un antes, un durante y un después de la semilla, de ahí que, si bien todos los procesos hacen parte de la historia de la vida de la planta, se requieren de varias condiciones para darse, para el caso de las angiospermas y gimnospermas, una planta no puede existir sin una semilla, y al mismo tiempo una semilla no puede ser planta si no cumple con unas características al formarse, otras para activarse y otras para germinar.

En lo evidenciado, autores como Jacob (1986) en la lógica de lo viviente orienta la documentación desde aspectos importantes en la organización de las entidades vivientes, así, al ir hallando cada uno de los procesos y condiciones que hacen posible la germinación, se va comprendiendo y enriqueciendo la idea sobre la cual las semillas se constituyen como un conjunto de estructuras y funciones organizadas en espera a que las condiciones para su despliegue sean las adecuadas.

Por tanto, es de interés en este espacio desarrollar aquellas reflexiones centrales de la profundización teórica sobre la germinación de la semilla de frijol que aportan a la construcción de nuevas explicaciones sobre los fenómenos en ciencias y los cuales desde la actividad docente se convierten en hallazgos significativos para la transformación de los procesos de enseñanza en las ciencias.



## **La germinación de la semilla de frijol: precisiones derivadas de la profundización teórica**

Según lo anterior, en la profundización teórica emergen tres ejes de reflexión sobre el proceso de germinación que se configuraron como objeto de estudio debido a la importancia que tienen para la explicación del fenómeno, y así se reconoce también que aportan significativamente en los procesos de enseñanza. Entre estos ejes están los procesos en la semilla de frijol como desencadenantes de las transformaciones dentro y fuera de la semilla; de igual manera, las condiciones, como la disponibilidad de agua, la temperatura, la disponibilidad de oxígeno y la misma estructura de la semilla se identifican como condicionantes en el paso de la semilla a la planta; finalmente, la configuración de la planta como una entidad histórica parte del análisis de lo que es la semilla, cabe destacar que bajo las reflexiones del trabajo, aunque la semilla y la planta constituyen una misma historia de vida, la semilla y la planta son entidades diferentes, no solo por su forma, sino también por los procesos que suceden en cada una.

Entre estas precisiones también es importante considerar que en el proceso de germinación los conceptos como crecimiento y desarrollo se diferencian y aunque forman parte del cambio en la semilla no lo hacen de la misma manera.

Teniendo esto en cuenta, con el inicio de la profundización teórica, en la presentación del cambio como parte de la dinámica de lo viviente se desglosan una serie de argumentos por los cuales las plantas dentro de su programa están predisuestas al cambio, no solo por su transformación tras la germinación, sino también por el cambio en las funciones que suceden al interior de ellas, no sucede lo mismo al interior de la semilla en la embriogénesis que lo que sucede en la germinación, en este punto, tras la documentación se encontró que el cambio en la semilla sucede de manera controlada y unidireccional lo cual se justifica desde Arana (2015) por medio de la continuidad y discontinuidad en la historia de vida de las plantas.

Si bien, hay continuidad de la semilla en la germinación debido a que el programa preestablecido en la semilla de frijol dará única y exclusivamente una planta de frijol, la

discontinuidad se presenta en la medida en que los cambios hacen desaparecer por completo las estructuras que identifican a la semilla, de igual manera lo que sucede al interior, como la actividad fitohormonal y enzimática, son remplazadas por otras reacciones o compuestos, así mismo la actividad celular que ocurre en la semilla no sucede de igual forma en la planta.

Del mismo modo, en la configuración de la germinación como objeto de estudio para la biología se construyeron importantes reflexiones sobre los aspectos técnicos del estudio de las plantas, de donde se evidencia la importancia de la tinción como técnica para identificar los cambios al interior de la semilla y con ello es necesario incluir desde la intervención en el aula actividades que aproximen a los estudiantes a ese aspecto histórico del reconocimiento de procesos y funciones.

Finalmente, con el apartado de la dinámica de los cambios en la semilla se profundiza al detalle en los procesos de formación y maduración, de los cuales se puede reconocer que antes de la germinación suceden aspectos importantes para la viabilidad de la semilla, entre los cuales está la formación de los cotiledones como fuentes de nutrientes que permitirán al embrión desarrollarse, de ahí surge uno de los hallazgos más significativos de este trabajo.

Con estos aspectos derivados de la profundización teórica se concretan tres aspectos de los cuales se derivan los elementos que permitieron construir la intervención en el aula y los cuales son descritos a continuación.

### **El papel de los procesos y las condiciones**

La germinación de la semilla de frijol involucra una serie de procesos que permiten a la semilla paso a paso sufrir una serie de transformaciones hasta el momento de la emergencia radicular, entre estos procesos están, la embriogénesis de la semilla de frijol, el metabolismo celular, el crecimiento y el desarrollo.

Sí bien en la profundización se desglosan estos procesos, para este capítulo es importante destacar las reflexiones que producto de la indagación posibilitaron reconocer que la germinación de la semilla de frijol tiene un potencial en la enseñanza de las ciencias en la Educación Básica. Con ello, tras el proceso de lectura de la embriogénesis cigótica, se fueron consolidando las explicaciones de orden teórico que hacen del programa un tema a considerar a la hora de enseñar la germinación, así mismo el metabolismo celular, toma particular protagonismo en la medida en que se reconoce que al interior de la semilla suceden actividades de síntesis y degradación de compuestos que son utilizados por el embrión para su transformación, finalmente producto de la acción del programa y del metabolismo celular es que el embrión puede aumentar su tamaño o número de células, creciendo, y construyendo estructuras a partir de la especialización de las células en la organogénesis, desarrollo.

Con la revisión documental de los procesos es necesario profundizar en las condiciones que los hacen posibles, por ejemplo en el caso de la embriogénesis hay una serie de aspectos producto de la reproducción en las plantas que determinan la viabilidad de la semilla incluso antes de que se desprenda de la planta, de ahí que surgiera un particular interés por ahondar en la formación de las semillas de frijol tomando como referente investigaciones en las cuales se pueden apreciar en detalle los cambios que sufren las estructuras al interior de la semilla y considerar los tejidos que se desarrollan para proteger al embrión y permitir a la semilla en casos de ser necesario ser preservada por largos periodos de tiempo.

Así, teniendo en cuenta que la semilla tras su formación almacena en sí toda la información necesaria para convertirse en planta no es hasta que se cumplen con las condiciones necesarias que se activan los procesos de transformación que permiten hacer visible ese programa contenido en la semilla.

Con estos elementos se configuraron las ideas centrales a considerar en la intervención en el aula, a través del análisis de lo visible y lo invisible en la semilla de frijol y la identificación de los procesos y condiciones que permiten configurar a la semilla como

una parte importante de la historia de vida de las plantas y un objeto de estudio de interés para la biología.

## **DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE PROPUESTAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA GERMINACIÓN**

Producto de las reflexiones de la profundización teórica emergen las problemáticas asociadas a la enseñanza de la germinación, ya que al reconocer los procesos y condiciones que hacen posible el cambio en la semilla es necesario que a través de la intervención en el aula se puedan reunir parte de los hallazgos para enriquecer la experiencia en los estudiantes y ayudar a los procesos de aprendizaje sobre la germinación de semillas de frijol.

Con ello, a partir de los referentes de la profundización pedagógica como Sandoval y otros (2006), Hanson (2005) y Hacking (1983), se construyó la ruta de la implementación en el aula, ya que así como la docente experimentó una nueva forma de conocer sobre el fenómeno de la germinación, así mismo fue importante que los estudiantes, aunque no de la misma manera, lograran profundizar en el tema y así mismo vivenciar una experiencia de construcción de conocimiento mediada por la experiencia sensible en la construcción de semilleros.

Al identificar desde el contexto institucional las problemáticas en torno a la enseñanza de la germinación, se buscó que a través de la intervención en el aula se innovara en la forma en que se conoce en ciencias, de ahí que las experiencias planteadas abordaran ejercicios desde la experimentación y la argumentación.

Con el diseño de la experiencia varias interrogantes surgieron a propósito de la contingencia por COVID-19 ya que los medios virtuales de enseñanza eran nuevos tanto para la docente como para los estudiantes, de ahí que la pertinencia de cada actividad se determinara desde las posibilidades de los estudiantes para desarrollarlas en casa con la disponibilidad de materiales, así como de recursos para la socialización con los compañeros de equipo y del curso.

De igual manera, las sesiones de clase en las cuales se apoyó de manera teórica cada una de las experiencias contó con el diseño de material digital para consulta debido a las problemáticas de conexión que se pudieran presentar.

La ejecución de la propuesta partió de un ideario de múltiples posibilidades, sin embargo, a la par se fue avanzando, fue necesario rediseñar y reconsiderar las actividades que por las particularidades del momento de ejecución no eran apropiadas. Sin embargo, la contingencia también fue impulso para la creatividad y la recursividad que permitieron la consolidación de laboratorios virtuales que dentro de la experiencia sensible motivaron a los estudiantes a conocer sobre el fenómeno de germinación y desarrollar con múltiples variaciones las actividades sugeridas durante la implementación.

A continuación, se presentan las reflexiones producto del diseño e implementación de la propuesta, así como de la recuperación de la experiencia para la sistematización y finalmente se presentan a manera de reflexiones finales algunos de los aportes más relevantes del trabajo para la práctica docente.

### **Los problemas de conocimiento como estrategias para la enseñanza de las ciencias en Educación Básica**

Para dejar en claro el por qué la germinación de la semilla de frijol se configura como un problema de conocimiento es importante retomar la idea principal que permitió su selección como objeto de estudio de este trabajo.

En la enseñanza de las ciencias naturales al hablar de germinación, una de las primeras imágenes que aparecen en nuestras mentes es la de la semilla de frijol en un recipiente con algodón y agua, esto se debe principalmente a que el fenómeno de la germinación se ha normalizado en los procesos de enseñanza primaria hasta el punto de ser casi una obligación que todos los estudiantes en su formación inicial sepan germinar un frijol.

Partiendo de esto y teniendo en cuenta las características institucionales de formación de bachilleres agroindustriales, parecía poco creíble que la única experiencia de siembra y seguimiento de la germinación que podría tener un estudiante se limitaran a un fragmento de la educación primaria y no tuviera una versión de profundización o por lo menos de recordación.

De ahí que, fuera necesario el problematizar la enseñanza de la germinación en la educación básica, ya que en estos grados de escolaridad se desarrollan las teorías correspondientes a la biología celular y la bioquímica, aspectos que en primaria no se consideran y que son el pilar sobre el cual se estudia la germinación.

Con esto, se preguntó por el lugar que ocupa la germinación en la enseñanza y así mismo sobre las particularidades teóricas que permiten explicar el fenómeno, sin embargo, dentro de los planteamientos iniciales no se esperaba obtener tantos hallazgos sobre el fenómeno que eran desconocidos anteriormente, de ahí que se diera tiempo para documentar lo más fielmente la germinación con el fin de aproximar a los estudiantes detalladamente a lo que sucede en una semilla de frijol que permite su transformación en plantas.

Ahí, los referentes epistemológicos de los problemas de conocimiento fueron vitales para la orientación de lo que se estaba hallando en la profundización teórica y su posibilidad en la enseñanza de las ciencias, particularmente en la enseñanza de la biología, con el referente se fueron enriqueciendo las ideas sobre las formas de proceder en el aula, así como también las reflexiones en torno a la práctica docente y las posibilidades de la germinación en la enseñanza de las ciencias.

### **Las actividades desencadenantes y los montajes experimentales**

Partiendo de lo anterior, las actividades desencadenantes orientadas por los referentes de los problemas de conocimiento se configuran como un punto de inicio importante en

el que se orienta a los estudiantes en la selección de objetos de estudio desde la pregunta y la observación.

Dentro de la propuesta de intervención en el aula, la actividad desencadenante del papel que cumple el agua en la distinción de los conceptos crecimiento y aumento de tamaño fue determinante para el desarrollo de las demás fases. Aunque, la actividad partió de un proceso experimental sencillo, agregar agua a gomitas, semillas y cristales de azúcar, los productos del trabajo visibilizados en los registros de los estudiantes dejaron en evidencia que en la enseñanza de las ciencias las experiencias que parten de las ideas previas son indispensables para que el estudiante se sienta responsable y protagonista de su proceso formativo.

Al construir por ellos mismos los experimentos en casa y realizar las observaciones de lo que acontecía en los diferentes montajes, se consolidaron habilidades explicativas y argumentativas de la interacción de los diferentes materiales con agua, centrando la atención al proceso que sucedió en la semilla y que no se repetía en los otros montajes.

Así, también se reconoció al agua como una condición de cambio en los montajes, y así mismo como un objeto de estudio de interés para los estudiantes, ya que, al evidenciar su acción sobre las semillas, fue objeto de preguntas y cuestionamientos sobre lo que podría pasar en la semilla si se variaba la disponibilidad de agua.

De esta manera, las actividades desencadenantes son el punto de partida para la consolidación de supuestos y de objetos de estudio, en el caso de la experiencia de intervención, fue lo que permitió que las fases siguientes de desarrollo se lograran orientar desde el papel que cumplen los procesos y condiciones en la germinación de las semillas de frijol.

Partiendo de la actividad desencadenante en los montajes experimentales se construyó una base teórica similar a los hallazgos de la profundización teórica en la medida en que se aproximó a los estudiantes al reconocimiento de los aspectos que no son visibles en

el cambio de la semilla, pero que son determinantes a la hora de su transformación en planta.

La experiencia en este trabajo fue un punto focal y por tanto de cuidado, de ahí que para el desarrollo de los semilleros se tomara la decisión de dejar a los estudiantes decidir sobre las formas de proceder sobre el experimento lo cual dio dentro de los resultados gran variedad de modelos bajo los cuales los estudiantes cuestionaron al fenómeno de germinación, desde los materiales utilizados, hasta las características de las observaciones que se realizaron y los aspectos a los cuales se les dio más atención y descripción.

### **El papel de la experiencia**

A partir de la sistematización de la intervención en el aula, en la lectura de los registros, se evidencia un proceso de cambio en las formas de proceder y de explicar que tienen los estudiantes, por medio de diferentes explicaciones se resaltaron aspectos importantes para la comprensión del fenómeno de la germinación, cuestionamientos y problemáticas que enriquecen la experiencia en el aula y asimismo sirven como evidencia de la pertinencia de la germinación en la enseñanza de las Ciencias Naturales desde una perspectiva de profundización en las condiciones y procesos por las cuales se da.

Con la experiencia, también se lograron enriquecer las explicaciones del fenómeno, lo cual se sustenta desde lo que dicen los estudiantes a partir de la observación y en la experiencia directa con el fenómeno de la germinación.

Se llegaron a concretar varios de los elementos de orden teórico que dan cuenta de su funcionamiento e incluso se plantearon ideas sobre las posibilidades de activación o inhibición del cambio en la semilla de frijol, lo cual de manera significativa dejó como reflexiones finales que el conocimiento construido en primaria sobre la germinación del frijol fue ampliado y comprendido en un grado mayor de complejidad al desarrollar los



procesos de la intervención en el aula y así mismo al conocer sobre los aspectos teóricos que orientaron las actividades y dieron cuenta de la profundización disciplinar.

## **RECOMENDACIONES, LIMITACIONES Y PROYECCIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA GERMINACIÓN EN LA EDUCACIÓN BÁSICA**

En las Ciencias Naturales, particularmente en el caso de la biología, el tema de la experimentación ha requerido de cierto nivel de creatividad e ingenio por parte del docente para aportar a los procesos de enseñanza y de conocimiento de los fenómenos en lo vivo, ya que, de no hacerlo, los procesos de enseñanza tradicionales dejan como consecuencia procesos desligados de los contextos y falta de interés por parte de los estudiantes.

De ahí que, sea relevante en este trabajo dejar a manera de conclusión la importancia de la profundización disciplinar en la comprensión de los fenómenos y asimismo en el reconocimiento de las posibilidades explicativas que estos tienen en el aula de clase. Este reconocimiento produjo una transformación de la práctica docente, ya que el docente que pasa por este proceso de problematización, profundización y de diseño e implementación no vuelve a ver su quehacer de la misma manera.

Se entiende que los procesos de conocimiento en ciencias requieren de la participación tanto de los estudiantes como el mismo docente en experiencias activas que dinamicen el conocimiento, enriquezcan la experimentación y ayuden a potencializar los aprendizajes en torno a los fenómenos como el de la germinación.

A manera de cierre con todo el trabajo expuesto hasta este apartado, se puede reconocer que los cuestionamientos de los problemas que suceden en la enseñanza de las ciencias son un punto de partida para su solución y transformación, un aspecto tan sencillo como la germinación de una semilla permitió el despliegue de toda una serie de aspectos técnicos y teóricos que han hecho de este fenómeno un proceso único para la configuración de todo lo que conocemos como plantas, sin embargo, a pesar de su importancia y de su complejidad, la germinación ha sido rezagada en la enseñanza de

las ciencias y con este trabajo se quiere devolver el papel protagónico que merece por las posibilidades emergentes para la enseñanza de las ciencias y las cuales quedan plasmadas en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

Alves, C et al. (2016). Water uptake mechanism and germination of seeds treated with atmospheric plasma. *Revista Scientific reports*. Vol 6.

Anaya, F y Padilla, F. (2010). Conceptos y definiciones de la vida y la muerte celular. *Acta Universitaria*. Vol 20. Pp 9-15.

Arana, J. (2015). Continuidad y Discontinuidad en el desarrollo de las estructuras naturales. *Revista Scripta Philosophiae Naturalis*. Vol 7. Pp 97-119. Francia.

Arca, M., Guidoni, P., Mazzolli, P. (1990). Enseñar ciencia. Como empezar: reflexiones para una educación científica de base. Paidós, Barcelona.

Ayala, M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Revista Pro-Posições*. Vol 17. Pp 19-37. Brasil.

Azcón, B y Talón, M. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Mk Graw Hill Interamericana.

Baker, J y Allen, G. (1970). *Biología e investigación científica*. Fondo Educativo Interamericano.

Barrera, M et al. (2013). El proceso de germinación: modelos expresados por estudiantes de básica primaria. Universidad de Antioquia.

Barrios, E et.al. (2014). Morfología del embrión de frijol y su comparación entre razas Durango y Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol 5. Pp 965-978.

Carrión, J. (2003). Perspectivas recientes en evolución vegetal. Revista Anales de Biología. Vol 25. Pp 163-198.

Da Silva et al. (2019). Effect of cold plasma on black beans (*Phaseolus vulgaris*), fungi inactivation and micro-estructures stability. Emirates Journal of Food and Agriculture. Vol 31.

Diaz, J y Corona, J. (2018). Aspectos moleculares del desarrollo de las angiospermas: Embriogénesis y origen de los sistemas tisulares. Casa abierta del tiempo. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Diaz, J. (1988). Teofrasto. Historia de las plantas. Editorial Gredos. Madrid.

Dodeman, V et al. (1997). Zygotic Embryogenesis versus somatic Embryogenesis. Journal of Experimental Botany. Vol 48.

Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Revista Cultivos Tropicales. Vol 31. Pp 74-85.

Duarte, A. (2015). Historia de la Histología. Revista Médica de Honduras. Vol 83. Pp 77-81.

Duschl, R. (1997). Renovar la enseñanza de las ciencias. Madrid.

Elkana, Y. (1983). La ciencias como sistema cultural: una aproximación antropológica. Boletín de la Sociedad Colombiana de Epistemología. Vol 10. Pp 65-80.

Foley, M. (2001). Seed dormancy: an update on terminology, physiological genetics, and quantitative trait loci regulating germinability. Weed Science. Vol 49. Pp 305-317.

García, A. (2005). El jardín Botánico como recurso didáctico. Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias. Vol 2. Pp 209-217.

Gesner, C. (1555). Historia Plantarum. Repositorio Botánico. Universidad Erlangen. Alemania.

Gilbert, S. (2000). Developmental Biology. Sexta Edición. Sinauer Associates.

Giordan, A y De Vecchi, G. (1995). Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos. Editorial Sevilla.

Gott, R y Duggan, S. (1996). Practical work: its role in the understanding of evidence in Science. International Journal of Science Education. Vol 18. Pp 791-806.

Guisasola, J., Gras, A., Martínez, J., Almudí, J y Becerra, C. (2004). La enseñanza universitaria de la física y las aportaciones en la didáctica de la física. Revista española de Física. Vol 18. Pp 15-16. Madrid.

Hacking, I. (1983). Representar e intervenir. Editorial Paidós.

Hanson, N. (2005). Observación. Alianza Editorial, Madrid.

Herrero, U. (2006). ¿Qué es la vida? ¿La ciencia, se atreve a definirla? Diálogos Revista Electrónica de Historia. Vol 7. Pp 1-35. Costa Rica.

Hu, Y et al. (2018). Gibberellins play an essential role in late Embryogenesis of seeds. Nature Plants. Vol 4. Pp 289-298.

Jacob, F. (1986). La lógica de lo viviente. Biblioteca científica Salvat. España.

Kigel, J. (1995). Seed Development and germination. New York.

Koller, D. (1959). Germinación de semillas. Annual Review of plant physiology. Vol 13. Pp 437-462. EE.UU.

Lobato, R y Cidras, J. (2013). Evolución vegetal: la conquista de la tierra firme. Universidad de Vigo. México.

Malagón, F., Ayala M., Sandoval, S. (2011). El experimento en el aula: Comprensión de las fenomenologías y construcción de magnitudes. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.

Malagón, F., Ayala M., Sandoval, S. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Praxis Filosófica. Vol 36. Pp 119–138.

Mantilla, A. (2008). Fundamentos de Fisiología vegetal. Desarrollo y germinación de las semillas. Segunda Edición. McGraw Hill. España.

McDonald, M y Copeland, L. (1995). Principles of seed Science and technology. Tercera edición. Editorial Chapman & Hall. New York.

Megías, M et al. (2020). Atlas de histología vegetal y animal. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Universidad de Vigo. España.

Melgarejo, L. (2010). Experimentos en Fisiología Vegetal. Primera edición. Universidad Nacional de Colombia.

Ministerio de Educación Nacional. (1998). Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales. Colombia.

Ministerio de Educación Nacional. (2004). Estándares Básicos en Competencias en Ciencias Naturales. Colombia.

Ministerio de Educación Nacional. (2016). Derechos Básicos de Aprendizaje. Colombia.

Monod, J. (1981). El azar y la necesidad. Tusquets Editores. España

Nambara, E. (2005). Abscisic acid biosynthesis and catabolism. Annual Review Plant Biology. Vol 56. Pp 165-185. EE.UU.

Pelt, J. (1981). Las Plantas. Biblioteca científica Salvat. España

Pita, J y Perez, F. (1998). Germinación de semillas. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. España.

Raghavan, V. (1986). Developmental Embryogenesis in Angiosperms. A Developmental and Experimental Study. Cambridge University Press. Pp 13-45.

Rivas, M et al. (2013). La respiración de las plantas. Fundamentos de Fisiología vegetal. Crai Landivar. Red de Bibliotecas. Pp 265-285.

Rivera, E. (2018). Aprendizaje de valores ambientales en niños de preescolar: la huerta escolar como estrategia para la educación ambiental. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá.

Rodríguez, M. (2019). Apuntes sobre el Papiro Ebers. Asociación Española de Egiptología. Madrid.

Romero, E et al. (2020). Evaluación de la calidad de semillas de frijol común, Phaseolus vulgaris, variedad Palicero en el banco de semillas de la universidad libre. Avances Investigación en Ingeniería.

Romero, M et al. (2018). Germination and early seedling Development in *Quercus ilex* recalcitrant and non-dormant seeds: targeted transcriptional, hormonal, and sugar análisis. *Revista Plant Sci.* Vol 22.

Ruiz, F y Zapata, D. (2017). Modelo explicativo sobre el concepto de germinación de semillas: un estudio de caso sobre su enseñanza en un contexto rural. *Revista Biografía.* Numero extraordinario. Bogotá.

Rumphius, G. (1750). *Herbarium Amboinense.* Repositorio Digital del Real Jardín Botánico de Madrid. España

Salgado, E y Guevara, H. (1998). El aprendizaje de algunos conceptos fundamentales en Botánica. *Revista de la Facultad de Ciencias y Tecnología.* Universidad Pedagógica Nacional. Vol 4. Pp 69-73

Sallon, S et.al. (2020). Origins and insights into the historic Judean date palm based on genetic analysis of germinated ancient seeds and morphometric studies. *Science Advances.* Vol 6.

Sandoval, S et al. (2006). El experimento en enseñanza de las ciencias como una forma de organizar y ampliar la experiencia. Ponencia III congreso Nacional de Enseñanza de la física.

Segura, D. (1998). *¿Es posible pensar otra escuela? Planteamientos en educación.* Bogotá.

Segura, D., Arcos, F., Pedreros, R. (2005). El constructivismo radical como alternativa para fundamentar prácticas con sentido en la enseñanza de las ciencias. *Escuela Pedagógica Experimental.* Bogotá.



- Serrato, R. (2011). La botánica en el marco de las ciencias naturales: diversas miradas desde el saber pedagógico. *Revista Bio-grafía*. Vol 4. Pp 35-50. Bogotá.
- Short, D. (2017). *Plinio El Viejo. Historia Natural. Libros XII a XVI*. Editorial Gredos.
- Sixto, E. (2018). *Historia de la horticultura. Colección de Educación Superior*. Inta. Buenos Aires.
- Smykal, P et al. (2014). The role of the testa during Development and in establishment of dormancy of the legume seed. *Frontier in plant Science*. Vol 5. Pp 351-365.
- Ubeda, C et al (2011). Determination of major volatile compounds during the production of fruit vinegars by static headspace gas chromatography-mass spectrometry method. *Food Research International*. Vol 44. Pp 259-268.
- Valencia, S et al. (2003). Los problemas de conocimiento una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.
- Valencia, S. (2017). *Eco-perspectivas en educación ambiental*. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.
- Vidal, M y Membiela, I. (2005). Germinación de semillas: un caso de investigación acción en formación de futuros maestros. *Boletín de ciencias*. Vol 58. Pp 85-86
- Wehner, F et al. (2003). Cell volume regulation: osmolytes, osmolyte transport, and signal transduction. *Revista. Physiology. Biochemistry*. Vol. 148. Pp 1-80
- Wendrich, J y Weijers, D. (2013). The seed embryo as a miniature morphogenesis model. *National library of medicine. National Center for Biotechnology Information*. Vol 199. Pp 14-25.

Wu, X et al. (2009). Functional characterization of the beta-ketoacyl-coenzyme A reductase candidates of the fatty acid elongase. National Library of Medicine. National Center for Biotechnology information. Plant Physiol. Vol 150. Pp 109-137.