

**ACERCAMIENTO BIOINORGÁNICO A LAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS
PARA EL DESARROLLO DE HABILIDADES DE INDAGACIÓN EN ESTUDIANTES
DE EDUCACIÓN MEDIA DEL COLEGIO BUENAVISTA IED**

Daza Rodríguez Roger Camilo

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de ciencia y tecnología

Departamento de Química

Bogotá D.C.

2025

**ACERCAMIENTO BIOINORGÁNICO A LAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS
PARA EL DESARROLLO DE HABILIDADES DE INDAGACIÓN EN ESTUDIANTES
DE EDUCACIÓN MEDIA DEL COLEGIO BUENAVISTA IED**

Daza Rodríguez Roger Camilo

2024183012

Estudiante de Maestría en Docencia de la Química

Director Profesor Yair Alexander Porras Contreras

Doctor en Innovación e Investigación en Didáctica

Grupo de investigación Educación en ciencias, ambiente y diversidad

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de ciencia y tecnología

Departamento de Química

Bogotá D.C. 2025

Agradecimientos

Quisiera agradecer ante todo a Dios por darme la paciencia, resiliencia y habilidades para lograr llegar hasta este punto de conocimiento y realización profesional, de igual manera a la Universidad Pedagógica Nacional por acogerme una vez mas como en aquel pregrado de licenciatura en Biología y ahora en la Maestría en Docencia de la Química.

También quiero agradecer a mi director de tesis el Maestro Yair Alexander Porras el cual desde aquel espacio de electiva ha sido un ejemplo para seguir en mí que hacer como docente y hasta el día de hoy sigo confiando, creyendo y sorprendiéndome de la forma como entiende y visualiza la enseñanza de las ciencias.

Quisiera también agradecer a mi familia padre, madre, mi novia y hermano los cuales siempre han aportado un granito para este gran logro ya que, sin ellos, sin su apoyo, no hubiese tenido esa fuerza que me mueve a siempre querer lograr las cosas y llenarlos de orgullo. 14

Por último, agradecer a la comunidad educativa Buenavista IED Calasanz, en especial a esos 15 estudiantes que siempre estuvieron presentes y con toda la disposición para permitir que se diera este gran logro, espero Dios siempre les recompense con conocimiento y oportunidades de éxito académico.

INDICE

1.INTRODUCCIÓN.....	8
2.JUSTIFICACIÓN.....	10
3.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
4.OBJETIVOS.....	13
5. ANTECEDENTES.....	14
5.1 Competencias de indagación.....	14
5.2 Plantas Hiperacumuladoras.....	15
5.3 Química Bioinorgánica.....	17
6.MARCO CONCEPTUAL.....	18
6.1 Referente Disciplinar-químico.....	18
6.2 referente Pedagógico y Didáctico.....	22
7. MARCO METODOLÓGICO.....	25
7.1 Paradigma de Investigación Mixto.....	25
7.2 Enfoque Investigativo Interpretativo.....	25
7.3 Diseño Transformativo concurrente.....	26
7.4 Población y Muestra.....	27
7.5 Instrumentos.....	27
7.6 Fases de la Metodología.....	29
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	33
9.CONCLUSIONES.....	94
REFERENCIAS.....	96
ANEXOS.....	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de las estrategias de hiperacumulación de metales pesados en plantas.....	21
Figura 2. Modelos de Aprendizaje Basado en Indagación a partir de las 7E.....	23
Figura 3. ¿Cuáles fuentes principales de emisión de metales pesados en entornos urbanos e industriales conoces?.....	37
Figura 4. ¿De qué forma la presencia de metales pesados en el medio ambiente afecta la salud humana a corto y largo plazo? Escribe las que conozcas.....	39
Figura 5. ¿Sabes qué es una planta hiperacumuladoras?, si su respuesta es sí, ¿Qué características definitorias debe tener una planta para ser clasificada como hiperacumuladoras?.....	40
Figura 6. ¿Conoces los metales pesados? Si la respuesta es sí, ¿En qué condiciones y concentraciones pueden los metales pesados ejercer efectos beneficiosos en procesos celulares sin causar toxicidad?.....	41
Figura 7. Categorías en el reconocimiento de metales pesados y el papel de las plantas hiperacumuladoras	43
Figura 8. Teniendo en cuenta la situación vista en el video planteo, una pregunta problema que involucre el contexto de la huerta del colegio.....	45
Figura 9. Frecuencia de categorías sobre la maleza.....	48
Figura 10. ¿Qué conceptos e ideas crees que se necesitan para lograr solucionar la pregunta problema o comprobar la hipótesis planteada?	50
Figura 11. Plantee una solución, estrategia o modelo que permita comprobar la hipótesis planteada.	52

Figura 12. Diseñe y describa un instrumento o formato que le permita realizar un seguimiento de su estrategia.....	54
Figura 13. Teniendo en cuenta la información anterior por favor digite 4 ideas o situaciones que le hayan llamado la atención.	57
Figura 14. A partir de las situaciones que te llamaron la atención en la pregunta 1, plantee una pregunta problema.....	59
Figura 15. ¿Qué insectos se están comiendo la huerta del colegio?	61
Figura 16. Plantee dos hipótesis para la pregunta problema del grupo.....	63
Figura 17. Rubrica de evaluación Aprendizaje basado en la indagación.	66
Figura 18. ¿Qué Conceptos se tienen sobre Química bioinorgánica?.....	70
Figura 19. ¿Cómo pueden llegar a servir estos conceptos para poder comprobar su hipótesis de trabajo?	72
Figura 20. ¿Qué va a realizar para lograr comprobar la hipótesis planteada en las sesiones.....	74
Figura 21. ¿Qué especies de plantas de la huerta va a trabajar?	78
Figura 22. Formato V-heurística.	80
Figura 23. ¿Cómo se preparan las muestras vegetales para dicho proceso?, ¿Qué materiales necesitamos?.....	81
Figura 24. V-Heurística grupo 1	86
Figura 25. V-Heurística grupo 2.....	87
Figura 26. Frecuencia de Categorías sobre las ideas a futuro y ¿para qué le puede servir lo aprendido en el semillero?.....	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preguntas Planteadas por los Grupos de Estudio sobre Metales Pesados	60
Tabla 2. Insectos que posiblemente afectan la huerta según los estudiantes.	62
Tabla 3. Hallazgos Clave Reportados por Grupo de Estudiantes	64
Tabla 4. Conceptos Sobre Química Bioinorgánica Recopilados por Grupo	71
Tabla 5. Propuestas de Diseños Experimentales por Grupo	75
Tabla 6. Escribe tus comentarios o sugerencias sobre las clases de química y que temas podríamos seguir abordando en el semillero de bioinorgánica	91

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las ciencias tiene por objeto formar ciudadanos mejor preparados para enfrentar problemas reales, a partir de una mejor comprensión del mundo, lo cual se logra, según Claxton (1994) con el desarrollo de capacidades para alcanzar condiciones de bienestar, teniendo en cuenta la cultura, las creencias y la dimensión ética. Estamos en una sociedad donde lo político, lo global, lo social y lo personal toman un papel muy importante, ya que es desde ahí donde se afrontan las problemáticas cotidianas con ingenio y creatividad, considerando la incertidumbre y asumiendo el escepticismo como parte del proceso de aprendizaje.

En Colombia el Ministerio de Educación Nacional asegura que los Estándares de Competencias en Ciencias Naturales “*constituyen un referente nacional en donde se propone una visión de la enseñanza de las ciencias que trasciende a los contenidos disciplinares e incluye el desarrollo de pensamiento científico y de compromisos personales y sociales que surgen al conocer y valorar críticamente el conocimiento presentado por las ciencias*” (Galeano,2014), por lo cual se puede evidenciar que se desea que los estudiantes logren proponer diferentes situaciones para desarrollar habilidades de resolución de problemas a partir de un conocimiento científico, dependiendo los niveles de desarrollo.

A nivel del Distrito Capital de Bogotá el enfoque general del área de ciencias naturales según la SED (2015) considera al ciudadano como un sujeto epistémico con la capacidad de entender, comprender y en su momento lograr generar soluciones argumentadas frente a la cotidianidad (fenómenos naturales y tecnológicos); en ese orden de ideas, se espera que los estudiantes de la ciudad de Bogotá, logren un nivel de apropiación tanto de conocimiento científico como de resolución de problemas y así mismo solucione situaciones cotidianas o que

logre un nivel apropiado para afrontar futuros estudios. De igual manera, se espera que los egresados de las instituciones de Bogotá aporten a la sociedad de manera positiva e innovadora.

2. JUSTIFICACIÓN

Los maestros de Química se enfrentan a diferentes retos que ponen a prueba sus conocimientos, creatividad e innovación con el fin de promover habilidades en torno a las competencias de Indagación, cruciales para construir conocimientos científicos frente al aprendizaje de la ciencia. Para cumplir estos propósitos, la presente tesis de investigación plantea una propuesta didáctica que tiene como eje central el desarrollo de habilidades en indagación por parte de los estudiantes del colegio Buenavista IED, a partir del estudio Bioinorgánico de tres plantas endémicas de la zona de influencia de la institución educativa: Hierbabuena (*Mentha spicata*), Girasol (*Helianthus annuus*) y Begonia (*Begonia rex*), las cuales poseen propiedades hiperacumuladoras de metales como el Cadmio (Cd) y el Plomo (Pb). Vale la pena resaltar que estos dos tipos de metales pesados según estudios de la CAR (2016) son los más frecuentes en la localidad de Ciudad Bolívar y que muchas veces generan problemáticas socioambientales por diferentes prácticas de extracción minera aledañas al colegio, lo cual muchas veces responde al ODS 8: Industria, innovación e infraestructura, puesto que el sector se encuentra en constante reparación de la malla vial y realización de obras civiles, en especial por la empresa de Maquinas amarillas SAS.

Es importante señalar que el fortalecimiento de esas experiencias y conocimientos a través de la indagación, consolidan procesos pedagógicos que permiten al estudiante desarrollar diferentes habilidades científicas, además de contribuir a un acercamiento de los estudiantes frente a su realidad cercana. En este sentido, el manejo de diferentes cuerpos conceptuales relacionados con la hiperacumulación de metales pesados en plantas, los principios de fisiología vegetal, los conceptos centrales de la Bioinorgánica, las técnicas de análisis instrumental y su articulación con el aprendizaje basado en la indagación, son el escenario para el desarrollo de habilidades en torno a las 7E, para la comprensión de diferentes fenómenos naturales, además de

evaluar las ventajas o desventajas de determinados tipos de prácticas que influyen en la dinámica ambiental, particularmente los comportamientos proambientales (Guzmán, Pérez y Porras, 2025).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la localidad de Ciudad Bolívar, en el Barrio Buenos Aires se encuentra la Institución Educativa Distrital Buenavista Calasanz, la cual recibe más de 1000 estudiantes en sus aulas promoviendo un desarrollo académico en el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental con el propósito de fomentar determinadas competencias propias de las ciencias: uso comprensivo del lenguaje científico, explicación de fenómenos, indagación y planteamiento de hipótesis, cada una de éstas, con el grado de complejidad requerido en los diferentes niveles. Para lograr el objetivo proyectado desde el plan de área, es necesario generar una conciencia en el estudiante sobre la importancia que tiene su entorno físico, químico y biológico, así como su compromiso con el cuidado de su cuerpo, del ambiente y los demás seres vivos que lo rodean. Es importante resaltar que desde el Departamento de Ciencias Naturales se dinamiza la construcción de conocimientos a partir de una serie de competencias.

Una de las prácticas epistémicas del área de ciencias naturales, importante para promover el desarrollo de conocimientos científicos y ambientales en los estudiantes, es la indagación que, según el plan de área de ciencias naturales del IED Buenavista Calasanz (2025), se asocia con la investigación científica particularmente en la elaboración de explicaciones sobre el mundo natural. Desde este enfoque, el estudiante analiza qué tipo de preguntas pueden ser contestadas mediante una investigación científica, gracias al reconocimiento de la importancia de la evidencia científica, observando y relacionando patrones en los datos para evaluar las predicciones. Adicionalmente, se procura que el estudiante represente datos en una tabla o gráfico, así como interprete regularidades, patrones y/o tendencias. En la institución educativa es

prioritario que los estudiantes desarrollen habilidades que les permitan crear sus propios conocimientos basados en hechos y evidencias, puesto que en muchas ocasiones se limita el aprendizaje en los diferentes niveles, a simples transcripciones de texto, pero no se evidencia el desarrollo y la transformación de ese conocimiento obtenido por parte del estudiantado en nuevas ideas y argumentos científicos.

Desde la perspectiva de la educación en ciencias naturales se hace necesario fomentar la resolución de problemas desde una perspectiva contextual, teniendo en cuenta el territorio donde se encuentra el colegio, una zona de ladrilleras y parques mineros los cuales están generando una desmedida explotación de los recursos naturales en donde se ve afectado el suelo, el aire, el agua y la seguridad alimentaria del sector rural y urbano de la localidad (CAR, 2016). Prueba de ello es la presencia de partículas de diferentes metales pesados, en especial de Cadmio y Plomo, los cuales según Rascio y Navari-Izzo (2011) son absorbidos por diferentes especies de plantas hiperacumuladoras que pertenecen a los cultivos y zonas verdes propios de la localidad.

Teniendo en cuenta el panorama de la localidad y la importancia de la formación científica de los estudiantes, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera el estudio Bioinorgánico de plantas hiperacumuladoras, permite el desarrollo de habilidades de indagación en un grupo de estudiantes del colegio Calasanz Buenavista IED?

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Promover habilidades de indagación a partir del modelo 7E con un enfoque en ABI en un grupo de estudiantes del colegio Calasanz Buenavista IED, por medio del acercamiento Bioinorgánico de plantas hiperacumuladoras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Reconocer las habilidades de indagación por medio de un cuestionario de preguntas abiertas que evidencia un grupo de estudiantes del colegio Calasanz Buenavista IED, en el contexto de la enseñanza de las ciencias experimentales.
2. Diseñar e implementar una Secuencia Didáctica desde el modelo 7E con un enfoque ABI, orientada al acercamiento Bioinorgánico de plantas hiperacumuladoras.
3. Evaluar el desarrollo de las habilidades de indagación científica mediante el uso de V-Heurísticas, escalas Likert y rúbricas de evaluación, en el marco de una secuencia didáctica sobre el estudio bioinorgánico de plantas hiperacumuladoras.

5. ANTECEDENTES

5.1 Habilidades de indagación.

El trabajo de Buesaquillo (2022) parte de la categorización de las comprensiones y estrategias pedagógicas de algunos profesores de ciencias naturales, que apuntaban al desarrollo de habilidades científicas de indagación en las aulas, fortaleciendo el enfoque CTSA. Este estudio da cuenta de cómo la indagación puede promover en los estudiantes habilidades científicas y comunicativas como el trabajo en grupo.

En cuanto a la indagación como aporte al desarrollo de estrategias de aula, por ejemplo el uso de mini proyectos, Corro (2023) propone una serie de actividades con estudiantes de la Tecno Academia Cazucá del CIDE de Soacha – SENA a partir de diferentes métodos químicos en donde se estudiaron las antocianinas de la mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*), fomentando las habilidades de indagación, aplicables a diferentes situaciones experimentales cuantitativas, como realizar mediciones de diferentes magnitudes; recolectar datos; diseñar gráficas, que permitiesen la extracción adecuada de la extracción y aplicación de la antocianina.

Las habilidades científicas equiparables a las habilidades de indagación fueron estudiadas por Agudelo (2020), a partir del diseño de una serie de proyectos de investigación sobre energía química enmarcados en la metodología ABP. Aquí se resalta la importancia de tener un estudio previo sobre los diferentes conceptos que se van a trabajar y la manera como el maestro debe tener una buena documentación para lograr enfocar la investigación y así mismo promover la indagación. En relación con lo anterior se logra evidenciar que no solamente se ve involucrada la competencia de indagación, sino que también emerge el uso comprensivo del conocimiento científico. Por último, se dice que no todos los estudiantes lograron cumplir con las metas propuestas, mientras que otros descubrieron afinidades con el desarrollo de las diferentes habilidades.

Es importante recordar que la institución donde se desea trabajar se encuentra cerca a diferentes contextos rurales, por ello se hace pertinente reconocer la manera como se desarrollan algunas habilidades de indagación. Por ejemplo, en el Colegio Técnico Ambiental San Mateo de Yopal-Casanare se caracterizaron algunas habilidades de indagación a partir de las diferentes practicas pedagógicas en el día a día de los maestros de la institución (Rojas, 2017). En este estudio se encontró que las preguntas orientadoras planteadas por docentes y estudiantes son muy importantes, ya que orientan la investigación y promueven su desarrollo. En este sentido, Torres (2015) propone el diseño de una unidad didáctica en pro del desarrollo de habilidades de indagación en torno al concepto de herencia biológica. Aquí se resalta la importancia de considerar las ideas previas de los estudiantes, ya que de ahí es donde se formulan preguntas orientadoras que permiten el desarrollo de la temática a manera de investigación.

5.2 Plantas Hiperacumuladoras.

En lo que respecta al trabajo investigativo con plantas hiperacumuladoras, Sánchez (2016) propone el fortalecimiento de competencias científicas en estudiantes de licenciatura en química, a partir de la fitorremediación de cromo (Cr). Esta investigación fundamentada en una pregunta orientadora evidenció que la especie *Eichhornia crassipes*, más conocida como Jacinto, tenía un alto porcentaje de absorción de cromo en comparación con especies como *Cyperus papyrus* y *Spathiphyllum wallissi*. Adicionalmente, se dieron unos primeros pasos en la identificación del cromo (Cr) en dichas plantas, lo cual es importante en el desarrollo de un estudio bioinorgánico.

En lo que se refiere a la indagación en el marco de la fitorremediación con plantas hiperacumuladoras, se tiene que la especie acordeón de agua (*Salvinia mínima Baker*) logra absorber Ni (II), esto se logró a partir de la implementación de actividades de aula llamadas *Quimexperia* realizadas por Monroy (2022). Aquí se puede evidenciar la manera en que los datos cuantitativos experimentales y cualitativos como la planificación de procesos, procesamiento de

datos, el análisis de datos y la argumentación son fundamentales a la hora de trabajar con especies que acumulan metales pesados.

En la segunda categoría de antecedentes relacionados con las plantas hiperacumuladoras, encontramos que Bustos (2021) logra evidenciar el papel pionero de Colombia en lo que respecta al uso y trabajo con plantas hiperacumuladoras en procesos involucrados con el ciclo minero. El documento, más que llegar a entrar en la controversia por las problemáticas que genera la minería, trata de demostrar que gracias a la biodiversidad vegetal que posee Colombia, el uso de plantas hiperacumuladoras puede llevar a otro nivel la extracción minera donde sea más favorable para el ambiente, pero todo esto a partir de la investigación académica.

Los procesos de fitorremediación actualmente surgen como una solución que favorece a los ecosistemas, una alternativa sustentable donde se resalta que la hiperacumulación de metales pesados es un fenómeno evolutivo (Jaramillo, 2021), que implica adaptaciones a los suelos, además de la aparición de nuevos nichos ecológicos y procesos de coevolución.

En el año 2021 se hizo un estudio de especies vegetales Hiperacumuladoras de Arsénico, Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) ubicadas más exactamente en zonas mineras del Perú. El trabajo se realizó a partir de estudios de absorción atómica, Cercado (2021) encontró que la mayoría de las especies de la familia *Poaceae* absorbían grandes cantidades de metales pesados. En ese sentido, Galvis (2021) trabajó con 4 especies forestales y nueve genotipos de cacao estudiando la posibilidad de encontrar Cadmio bioacumulado. En el estudio afirman que las hojas de estas especies acumulan la mayor cantidad de Cadmio y por ello podría tener una desventaja el reciclaje del cadmio, además que la planta posiblemente pueda tener deterioro en las hojas por la acumulación de este, pero para ello queda abierta la investigación para un estudio de índole Bioinorgánico.

5.3 Química Bioinorgánica

La Bioinorgánica es una ciencia interdisciplinar en desarrollo, la cual según Fuertes (2007) intenta relacionar la química inorgánica, la bioquímica, la biología y la física de tal manera que llegue a un punto que genere grandes resultados científicos y permita entender esa contradicción entre la vida y lo inorgánico.

La Bioinorgánica posee un principios y conocimientos básicos que se deben tener en cuenta a la hora de realizar estudios. Olson (2002) realizó una revisión de los principios de la Bioinorgánica y su importancia, en este caso recurrió a los estudios publicados en el *Journal of Chemical Education* por el Dr. Ei-Ichiro Ochiai de la Universidad de Tokio. Esta monografía puede llegar a ser clave puesto que muestra muchos conocimientos necesarios a la hora de realizar estudios bioinorgánicos desde relaciones entre los diferentes metales pesados, los radicales libres y la importancia biológica de los metales, hasta la manifestación evolutiva de la química bioinorgánica.

La integración de la Bioinorgánica en contextos educativos a partir de situaciones contextuales se incentiva a partir de la enseñanza de temáticas de la fisiología humana; En este sentido, Fellet (2022) elaboró una secuencia didáctica a partir de los procesos fisiopatológicos que se entretajan en la interdisciplinariedad de la Fisiología y la Bioinorgánica. En este caso se intentó promover el interés por este tipo de temas en los estudiantes a partir de algo novedoso y práctico, así dando evidencia que muchas veces para lograr que el estudiante logre aprender se necesita de una motivación, en ese caso el ámbito de la medicina que es llamativo para muchos en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

6. MARCO CONCEPTUAL.

La discusión teórica que orienta la presente tesis se basa en los referentes de corte disciplinar-químicos y referentes pedagógico-didácticos, sobre los cuales se construye la propuesta metodológica.

6.1 REFERENTE DISCIPLINAR-QUÍMICO

Para empezar, es necesario aclarar algunos conceptos relacionados con la Química Bioinorgánica, la cual según el Dr. Ochiai (1979), docente de la Universidad de Tokio, es una ciencia que estudia las funciones que tienen las sustancias inorgánicas en este caso los metales en los diferentes sistemas biológicos, entiéndanse como los organismos. Así mismo, Fuertes (2000) dice que si bien la palabra Bioinorgánica genera contradicciones ya que estamos hablando en términos coloquiales de lo vivo y lo no vivo, se puede llegar a entender la relación que existe desde lo funcional y fisiológico, por ello la química Bioinorgánica se puede entender como esa serie de conocimientos que estudian la reactividad química de los compuestos inorgánicos con los organismos. Cabe resaltar que los diferentes estudios de la Química Bioinorgánica van de la mano con otros campos de estudio como lo son la Bioquímica, Biología Molecular, Química Inorgánica, Fisicoquímica, la medicina, entre otras.

Siguiendo las ideas del Dr. Ochiai, existe una clasificación de los compuestos Bioinorgánicos según la función que cumplen en los organismos: “*Estructural, Acarreamiento y transporte de electrones y oxígeno, Actividad catalítica en reacciones rédox y Actividad catalítica en reacciones ácido-base y otras*” (Ochiai,2008). Algunas ideas centrales se exponen a continuación:

- Se dice que si el organismo absorbe o está expuesto a dos compuestos bioinorgánicos usará el que esté en mayor cantidad, para sus funciones vitales (Regla de la abundancia).

- Los organismos tenderán a absorber el metal más eficiente según su funcionalidad y fisiología (Regla de la eficiencia)
- Los metales son específicos ya que los organismos los usan según su potencial funcional (Regla del ajuste Básico)
- Los organismos a través del tiempo han utilizado los diferentes compuestos inorgánicos para desarrollar adaptaciones y sobrevivir (Regla del mejoramiento evolutivo de eficiencia y especificidad evolutiva).

Siguiendo estas ideas, Reedijk (2013, docente de la Universidad de Leiden en Países Bajos, abre un abanico de ideas en torno a diferentes iones metálicos fundamentales para el estudio bioinorgánico, como son: Sodio (Na), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Vanadio (V), Molibdeno (Mo), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Arsénico (As) y Plomo Pb, los cuales tienen relevancia en los diferentes organismos, particularmente en el crecimiento, el metabolismo, el desarrollo y su toxicidad.

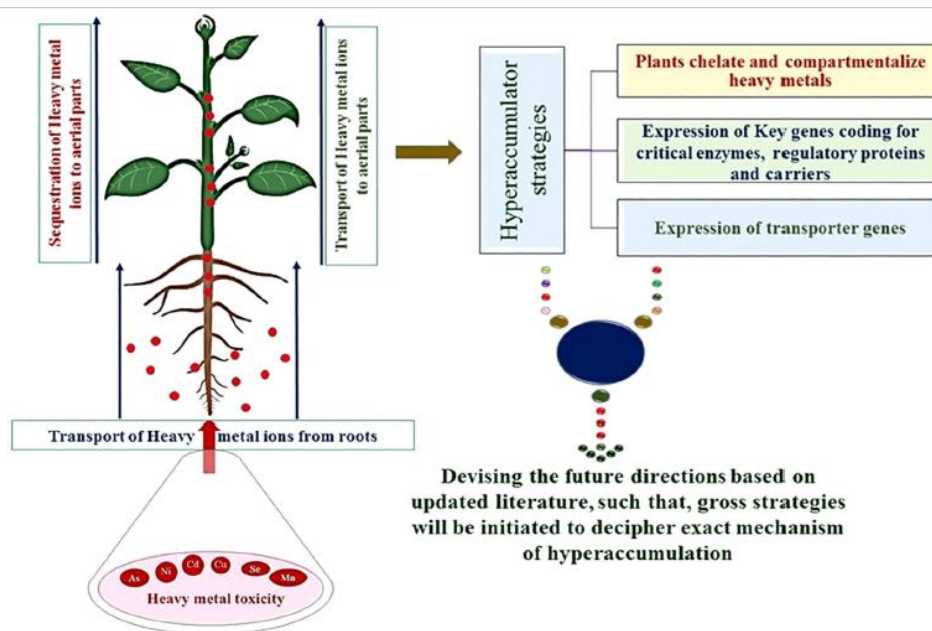
El conocimiento de la Química Bioinorgánica tiene diferentes campos de estudio que permiten enmarcar la temática del estudio Bioinorgánico de las plantas hiperacumuladoras, las cuales tienen la capacidad de absorber o retener metales pesados en sus tejidos, por lo que es importante resaltar que las especies con esta capacidad no desarrollan ningún tipo de afectación en su desarrollo o metabolismo como lo dice Lluganny (2007). Siguiendo con la idea Backer (2003), las plantas hiperacumuladoras tienden a conseguir metales del sustrato teniendo en cuenta la especie y a su vez desarrollan adaptaciones para la conservación de esta.

Es fundamental tener claro cómo se dan los procesos fisiológicos de Hiperacumulación en las especies vegetales, por ello grosso modo tenemos tres etapas según Martínez (2024):

- **Absorción y transporte:** Se dice que la obtención de los metales pesados se hace por medio de las raíces hasta llegar a las células por medio de moléculas específicas que hacen de transporte, pero que esto se ve condicionado por factores como el tipo de metal, pH, potencial redox, contenido de agua, composición del suelo.
- **Translocación:** En esta etapa las plantas tienden a acumular los metales pesados en las hojas, tallos, flores y por ende sus frutos. Ahora bien, se dice para este momento “*Las plantas hiperacumuladoras de metales pesados translocan los iones metálicos a través del pasaje simplástico radial y la carga de la xilema, mientras que las no hiperacumuladoras concentran los iones metálicos en las vacuolas de la raíz o en el citoplasma formando complejos con ligandos*” (Sytar, 2021)
- **Secuestro Vacuolar:** Por último, tenemos que los metales pesados tienden a llegar hasta las vacuolas ubicadas en las células donde se almacenan cantidades, teniendo en cuenta la tolerancia a dichos elementos o compuestos inorgánicos.

Figura 1

Representación esquemática de las estrategias de hiperacumulación de metales pesados en plantas.



Nota. Tomado de "Chapter 10 - Omics approaches for understanding heavy metal hyperaccumulation and tolerance mechanisms in plants."

En el desarrollo de este trabajo se requirió el desarrollo de actividades experimentales, las cuales permiten a los estudiantes desarrollar algunas habilidades de indagación, por ello un método de análisis que nos permita identificar metales pesados en las plantas hiperacumuladoras requiere el análisis instrumental, particularmente la Espectroscopía de Absorción Atómica (Giraldo, 1995). Según Giraldo (1995) este estudio de energía radiante, utilizando átomos de metales pesados en un estado volátil o gaseoso, logra medir “*la cantidad de energía absorbida en la llama a una longitud de onda característica, es proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un intervalo de concentraciones limitadas*” (Giraldo, 1995)

La presente tesis pretende aportar a la enseñanza de la química Bioinorgánica, al promover el desarrollo de habilidades de indagación en el contexto del estudio de las plantas hiperacumuladoras.

6.2 REFERENTE PEDAGÓGICO Y DIDÁCTICO

Desde la pedagogía activa, es importante señalar el aporte de Dewey (2018) como pionero en la enseñanza de la indagación, el cual afirma que todos los estudiantes generan deseo por la educación a partir de la curiosidad y las diferentes preguntas que de allí emergen, a lo cual se le une ese deseo por conocer y explorar el mundo que lo rodea, destacándose el papel del docente como dinamizador de la cultura, más allá de un papel como transmisor de conocimientos. En ese sentido, se opta por un aprendizaje basado en la indagación (ABI), el cual responde a las necesidades planteadas en la metodología de la investigación, pues según Bevins (2016) la indagación es un método que se fundamenta en el uso de la investigación a partir de preguntas orientadoras que son planteadas por el maestro, quien sugiere que el estudiante busque la autonomía, para que a partir de su creatividad y forma de entender el mundo, desarrolle habilidades y despierte esa afinidad con la ciencia, de manera procesual para ir avanzando hacia conocimientos más complejos.

Si bien, en términos de Bevins (2016) el ABI es un enfoque interesante que permite al estudiante llegar a nuevos niveles de conocimiento, también se entiende que muchas veces es necesario considerar las posibles dificultades o fortalezas que tienen los estudiantes, para ello el enfoque pedagógico que se trabaja toma en cuenta los siguientes niveles:

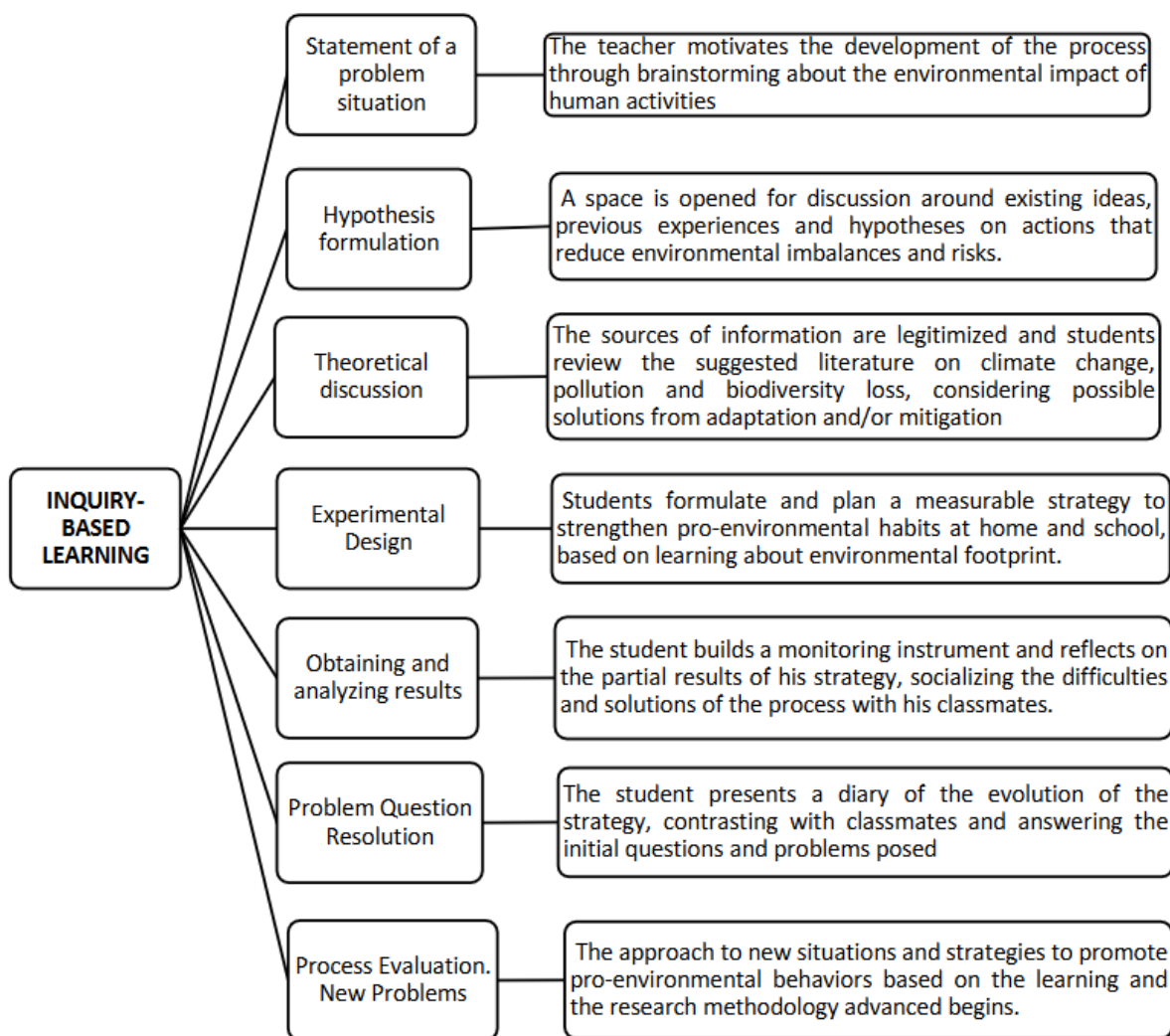
- Indagación por confirmación
- Indagación estructurada.
- Indagación Guiada.

- Indagación Abierta.

El ABI tiene diferentes momentos o fases que permiten al estudiante tener un mejor aprendizaje, en ese sentido encontramos un modelo con una serie de procesos denominados las “7E” las cuales según Porras (2024) se encuentran descritas metodológicamente en la figura 1.

Figura 2

Modelos de Aprendizaje Basado en Indagación a partir de las 7E



Fuente: Tomado de Guzmán, Pérez y Porras, 2025.

Agregando a lo anterior es importante traer a colación las ideas del precursor del Aprendizaje basado en indagación a partir de las 7E, Dr. Arthur Eisenkraft, el cual quiso realizar una modificación al ya establecido modelo de las 5E, tratando de llevarlo a un nuevo nivel de aprendizaje en donde no solamente se debía comenzar con un enganche, sino que también debían tenerse en cuenta las diferentes ideas previas de los estudiantes logrando así que se de esa transición conceptual. Además, a eso, el hecho de lograr llevar los nuevos aprendizajes a contextos de la vida cotidiana y no solamente los establecidos en el círculo de trabajo era a lo que él se refería con la secuencia de aprendizaje de Extender todo esto a partir de Eisenkraft (2005).

En cuanto a la Química Bioinorgánica en la literatura se han presentado acercamientos a su enseñanza. De hecho, según Fuertes (2000) esta ciencia se presenta en diferentes programas académicos como en farmacología, pero se hace necesario que se empiece a trabajar como asignatura con temáticas propias de ámbitos como la ingeniería, las licenciaturas, la Medicina Veterinaria, entre otras. Además, los estudiantes que cursen estos espacios deben construir bases conceptuales en diferentes campos afines a la química, todo esto en pro de lograr generar proyectos y soluciones a esta ciencia.

7. MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la tesis se tienen en cuenta una serie de referentes metodológicos, los cuales se eligen a partir de los referentes disciplinares y pedagógico-didácticos que enmarcan la investigación.

7.1 Paradigma de Investigación Mixto.

En lo que concierne a la investigación y el enfoque que se adopta, se tiene que los métodos mixtos los cuales abarcan tanto procesos cualitativos como cuantitativos en donde la recolección de información y datos puede generar discusiones mucho más acertadas en torno a la temática trabajada, como lo dice Hernández-Sampieri (2008). Por otra parte, Chen (2006) refiere la investigación mixta como la respuesta a una necesidad en la cual se requiere tomar en cuenta todos los factores que surgen en la investigación de un fenómeno de tal manera que se dé un conjunto de métodos cualitativos y cuantitativos, sí que estos pierdan su naturaleza y permitan un mejor entendimiento.

7.2 Enfoque Investigativo Interpretativo

Teniendo en cuenta lo anterior se escoge el Paradigma Interpretativo como base metodológica de trabajo, el cual según Lincoln (1985) relaciona con un contexto, donde la parte humana es fundamental con el fin de comprender la realidad. El conocimiento experiencial es importante ya que gracias a este se logran entender e interpretar diferentes situaciones que no solamente se basan en aprendizajes previos, si no también enraizados que se obtienen en el trabajo de campo en conjunto de los conocimientos por indagación o conocimientos teóricos, todo esto acompañado de diferentes análisis inductivos que provienen de resultados cualitativos los cuales se apoyan en resultados cuantitativos que dan soporte y rigurosidad a la investigación.

En lo que respecta a los resultados, esta metodología se enfoca en la interpretación a partir del planteamiento de conjeturas y contrastaciones, teniendo en cuenta que es necesario trabajar situaciones acordes al tema trabajado orientado por el investigador. Las dinámicas de comunicación y socialización son importantes ya que es aquí donde se construye el diálogo de saberes académicos que permiten construir nuevos conocimientos teniendo en cuenta los diferentes puntos de vista tanto cuantitativos como cualitativos. Cabe resaltar, que, a nivel de confiabilidad y validez de la información propuesta en este tipo de investigación, se hace necesario una serie de criterios especiales los cuales pueden ser propuestos por los investigadores teniendo en cuenta la rigurosidad académica.

7.3 Diseño Transformativo Concurrente (DISTRAC)

Teniendo en cuenta que para el desarrollo de la investigación se tendrán en cuenta principalmente datos cualitativos y en aporte datos cuantitativos, lo que en otras palabras no hubo solo una fase cualitativa y una cuantitativa, sino que por el contrario iban de la mano para lograr obtener mejores apreciaciones, por ello se trae a colación el Diseño Transformativo Concurrente (DISTRAC) el cual en palabras de Creswell (2018) es un enfoque de métodos mixtos el cual permite la flexibilidad de obtener datos cuantitativos como cualitativos de forma simultánea durante el desarrollo de las investigaciones, todo esto con la finalidad de lograr un cambio en las sociedades. En ese orden de ideas el aporte del DISTRAC se basa en el contenido a trabajar; química bioinorgánica en torno a las plantas hiperacumuladoras, la meta pedagógica: desarrollo de habilidades en indagación y desde los social el empoderamiento de los estudiantes para generar un cambio positivo en torno a la contaminación por metales pesados.

7.4 Población y Muestra.

En la ciudad de Bogotá D.C encontramos la localidad 19 de Ciudad Bolívar en donde se ubica el Colegio Buenavista IED Calasanz, caracterizado por un modelo de educación pública en concesión. Cada día la institución recibe a más de 1100 estudiantes, de los cuales algunos se encuentran en situación de vulnerabilidad, en donde muchas veces sus vidas son permeadas por situaciones sociales de desigualdad e inequidad. No obstante, el colegio actualmente cuenta con excelentes resultados en la prueba SABER 11, lo cual lo ubica como el único colegio con nivel muy superior (Unión Temporal Calasanz Colegio Buenavista IED, 2024)

En la institución podemos encontrar estudiantes desde grado transición hasta grado Undécimo, los cuales entre su plan de estudios van explorando el mundo de las ciencias naturales y ya en grado séptimo empiezan a trabajar de manera más específica las áreas de Biología, Química y Física. Por lo tanto, para la conformación del semillero de Química Bioinorgánica se realizó una convocatoria abierta para estudiantes desde grado Octavo hasta Undécimo los cuales se vieran interesados en el aprendizaje de la Química en espacios extracurriculares, vale la pena resaltar que no se hizo filtro para el ingreso de los estudiantes simplemente los interesados hicieron parte de la conformación del grupo de estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior a la convocatoria y organización llegaron 15 estudiantes de grado Noveno y Décimo los cuales se encuentran en las edades de los 15 años a los 17 años, que demuestran afinidad y gusto por el estudio de las ciencias naturales como lo indica el modelo por indagación, además de un respeto por el trabajo académico.

7.5 Instrumentos.

Para lograr obtener la información y datos que permitan el desarrollo adecuado de la investigación se diseñaron e implementaron una serie de instrumentos que responden a los

objetivos planteados, en donde podemos encontrar cuestionarios con preguntas abiertas, prácticas de laboratorio, V-heurísticas y escalas tipo Likert. Cabe resaltar que los instrumentos que se utilizaron para la obtención de los datos e información fueron validados por expertos que son doctores con amplia trayectoria en el campo de la didáctica de las ciencias, además de tener conocimientos teórico-prácticos en el ABI 7E. A continuación, se hará una descripción de cada uno de ellos, además de especificar en que momentos se usaron para dar cumplimiento con los objetivos de la investigación.

Los primeros instrumentos que se diseñaron fueron los cuestionarios de preguntas abiertas o cuestionarios estructurados que, según Paramo (2017), constituyen una técnica que permite reconocer actitudes, opiniones y comportamientos en torno a una serie de preguntas estructuradas. En ese orden de ideas, se diseñaron 6 cuestionarios estructurados los cuales se trabajaron alrededor de las 13 sesiones de trabajo en donde se trató de obtener información acerca del desarrollo de las habilidades de indagación en torno a las secuencias de aprendizaje del modelo de las 7E. (ver Anexo C)

Ahora bien, para lograr reconocer y desarrollar algunas habilidades de indagación (Objetivo específico 1 y 2) por parte de los estudiantes del semillero se hizo uso del cuestionario de inicio (ver Anexo B), cuestionario 2: aprendizaje por indagación: manejo de hierbas y malezas (ver anexo E), cuestionario 3: planteamiento de preguntas problemas e hipótesis. (aprendizaje por indagación) (Ver anexo F), cuestionario 4 Planteamiento de hipótesis y Discusión Teórica (Explorar). (ver anexo G) y cuestionario 5: ¿qué son las plantas hiperacumuladoras? y diseños experimentales. (Ver Anexo H)

Un segundo instrumento que se utilizó para obtener información del grupo de estudiantes emerge de las actividades de laboratorio realizadas en la Universidad Pedagógica Nacional (objetivo específico 3) y se condensa en la V-heurística (Presentación del informe de laboratorio),

la cual se trabaja en diferentes contextos. De acuerdo con Puma-Ramos (2024) la V heurística es una estrategia que promueve el aprendizaje significativo, ya que facilita la conexión entre conocimientos previos y nuevos conceptos, además de promover la indagación y la identificación de temas de investigación. Este instrumento fue diseñado en 1980 por Gowin y Novak los cuales pretendían construir un esquema de interpretación que les permitiese trabajar tanto la parte teórica como la parte práctica de las investigaciones, permitiendo comprender el proceso que conlleva el realizar una práctica de laboratorio desde sus inicios. De esta forma, el objetivo de utilizar la V-Heurística es evaluar las habilidades de indagación que desarrollan los estudiantes a través del trabajo realizado en las diferentes sesiones que se propusieron en la secuencia didáctica, todo esto a partir de la rúbrica de evaluación proceso v-heurística (ver anexo L), la cual se adaptó de la rúbrica de evaluación rúbrica de evaluación aprendizaje basado en indagación.

Por último, se elaboró una Escala tipo Likert con la cual se evaluó el proceso, según Páramo (2018) este tipo de instrumentos permiten identificar las actitudes, a partir del uso de afirmaciones que muestran el acuerdo o desacuerdo de la persona en situaciones particulares.

7.6 Fases de la Metodología

Con el fin de describir los diferentes momentos de la investigación, a continuación, se describen las fases de la metodología:

- **Fase De Inicio**

Durante la primera fase de desarrollo se realizó una revisión documental de los diferentes conceptos estructurantes tanto disciplinares como pedagógicos, los cuales permitieron tener un

mejor entendimiento del tema a trabajar. Por otra parte, se hizo necesario que a partir de dichos conocimientos se elaborara una serie de instrumentos entre los cuales se encontraban la información de la convocatoria, la propuesta de trabajo para la institución y aprobación del ICCE: Instituto Calasanz de Ciencias de la Educación, los consentimientos informados, todos estos tenían como finalidad conformar el Grupo Semillero de Bioinorgánica para el desarrollo de la investigación.

En consonancia con la información recabada y la conformación del Semillero de Investigación, se procedió al diseño de una Secuencia Didáctica orientada a dar cumplimiento al segundo objetivo específico. Esta propuesta se estructuró a partir de una meta de aprendizaje definida, integrando los componentes del modelo 7E con enfoque ABI. La secuencia articula momentos de desarrollo con resultados de aprendizaje observables, estableciendo tiempos, materiales, recursos y actividades específicas. De este modo, se logró abordar la temática de Química Bioinorgánica en Plantas Hiperacumuladoras bajo la perspectiva didáctica del modelo 7E.

- **Fase De Desarrollo**

En un segundo momento, se llevaron a cabo dos actividades las cuales tuvieron como objetivo avanzar en la obtención de información a partir de la validación e implementación de la secuencia didáctica. Para realizar el proceso de validación se tuvo en cuenta el juicio de expertos, a partir de una serie de ítems previamente elaborados en pro de obtener una información adecuada y de calidad, para luego generar opciones de retroalimentación y mejora en la versión final. Posteriormente se realizó la implementación de la secuencia didáctica, de tal manera que cada uno de los integrantes del Grupo Semillero lograra apropiarse de los diferentes momentos

del trabajo teórico-práctico. En este proceso se promueven las habilidades en torno a cada uno de los procesos expuestos en la metodología ABI.

Durante dicha implementación, se evidenció una participación por parte de los estudiantes involucrados, quienes progresivamente desarrollaron una mayor afinidad con la Química Bioinorgánica. Para documentar este proceso, se aplicaron los instrumentos de recolección de información previamente validados, garantizando así la obtención de datos de alta calidad. De esta manera, se aseguró que los resultados fueran óptimos, pertinentes y coherentes con los objetivos planteados en la secuencia didáctica y la metodología de trabajo.

Fase de Evaluación

Para finalizar con lo propuesto, se utilizaron una serie de procesos, técnicas e instrumentos metodológicos y pedagógicos que permitieron sistematizar la información tanto cualitativa como cuantitativa, obtenida a través de los procesos de aplicación. Luego, se procede a una fase de análisis teniendo en cuenta los diferentes ítems a evaluar (Proceso, Objetivos, habilidades), partiendo de los componentes disciplinar y pedagógico, incluyendo las diferentes categorías deductivas que emergen durante el desarrollo del proyecto. Con base en lo anterior, las categorías de análisis se definieron en función de los procesos de aprendizaje del modelo 7E, para ello, se sistematizaron los datos obtenidos a través de los cuestionarios, calculando frecuencias de respuesta y porcentajes que posteriormente fueron graficados. Por consiguiente, se realizó una contrastación de estos resultados cuantitativos con las evidencias observacionales y el sustento teórico bibliográfico, lo cual permitió enriquecer y fundamentar académicamente la discusión.

En lo que respecta al proceso de evaluación de las habilidades de indagación a partir del instrumento de la V-Heurística como ya se había nombrado previamente se hace uso de la rúbrica de evaluación para obtener una puntuación a partir de los ítems allí establecidos, para luego entrar en un proceso de discusión y análisis de dichos resultados en torno a lograr evaluar las

habilidades en indagación desarrolladas por parte de los estudiantes. Por último se utiliza una escala Likert que permita realizar un momento de autoevaluación por parte de los estudiantes en torno al trabajo realizado en el semillero de química Bioinorgánica, para luego entrar a realizar un proceso interpretativo de lo expresado por los estudiantes.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan y analizan los diferentes resultados obtenidos a lo largo del proceso realizado en el semillero de Química Bioinorgánica. En esta sección se describen las primeras habilidades de indagación de los estudiantes, además la manera como llevó a cabo el diseño e implementación de la secuencia didáctica, enfatizando en la evaluación de nuevos conceptos y habilidades a desarrollar por los participantes del grupo.

➤ **Etapas Enganchar**

El aprendizaje basado en la indagación conlleva diferentes momentos que permiten al estudiante desarrollar una serie de habilidades para dar solución a situaciones de la vida cotidiana, tomando como referente la investigación científica (Bevins, 2016). En ese orden de ideas se hace necesario precisar que habilidades posiblemente se pueden llegar a evidenciar en los estudiantes las cuales de acuerdo a National Research Council (NRC, 2012) se basan en realizar preguntas para lograr establecer problemas, el diseño y uso de modelos, el lograr llevar a cabo investigaciones, analizar e interpretar por medio de las discusiones los diferentes resultados obtenidos, el uso de las matemáticas y tecnologías, la elaboración y razonamiento de explicaciones, además de participar y comunicar en la divulgación del conocimiento científico obtenido. Para complementar la serie de habilidades anteriores Sanmartí (2007) propone que se debe tener en cuenta también un proceso de definición de conceptos científicos, como también de autorregulación en donde se logre hacer un diagnóstico y seguimiento autónomo del proceso de aprendizaje.

Teniendo en cuenta lo anterior, aparece la primera fase de aprendizaje de las “7E”, denominada **Enganchar**, la cual pretende que el estudiante sienta esa afinidad por el

conocimiento, generando interés por una situación de la vida cotidiana. Las primeras 6 sesiones de trabajo con los estudiantes del semillero iban enfocadas a desarrollar el interés por el tema a trabajar que era el estudio Bioinorgánico de algunas plantas hiperacumuladoras.

En ese orden de ideas, cada sesión de 40 minutos fomentó la optimización del tiempo, además del trabajo cooperativo para el cumplimiento de la tarea inicial. En el primer encuentro, los estudiantes se familiarizaron con la importancia de un espacio académico científico en el proceso de enseñanza y aprendizaje que se vive día a día en la institución, por ello durante este espacio se realizó la organización del semillero, además de comunicar a los interesados las dinámicas de trabajo. En este caso se logra notar cómo los estudiantes llegan a la participación del semillero a partir de su interés por la investigación científica, según Einsenkraft (2005) el docente en estas situaciones asume un papel importante para incentivar al estudiante a generar interés por las situaciones cotidianas que requieren una explicación desde la perspectiva científica. De la misma forma Renninger (2016) da conocer que para haya existido ese interés el estudiante debió pasar por la fase del interés situacional desencadenado del modelo del desarrollo del interés, la cual desarrolla que debió existir algo en los estudiantes que captara su atención ya sea la temática, intereses y gustos personales, entre otros.

Algunos estudios como el proyecto ROSES (Relevance of Science Education-Second) demuestran que los factores afectivos son relevantes para el aprendizaje de la ciencia y la tecnología, aunque si bien existe poco interés en los estudiantes colombianos por desarrollar carreras relacionadas con la ciencia, también es cierto el compromiso de los jóvenes por hacer frente a los desafíos ambientales (Tuay et al., 2025). De acuerdo con Pineda (2018) la denominación de “jóvenes nini”, los cuales no estudian, no trabajan,

o no reciben ningún tipo de formación o capacitación, demuestra el desinterés de este grupo poblacional en participar de una vida productiva, razón que justifica el desarrollo de una investigación que despierte el interés de los estudiantes, además de convertirse en un proceso gratificante y motivador para el inicio investigativo de los participantes. La primera sesión constituyó un primer acercamiento para promover el diálogo en torno a la posible temática a trabajar, para el desarrollo del semillero enfocado al estudio de un tema de la química bioinorgánica.

En el segundo encuentro que se realizó con los estudiantes se pretendió reconocer algunos conceptos básicos para el desarrollo de un proceso de siembra con plantas hiperacumuladoras, esto con el fin de empezar a reconocer las habilidades en torno a un posible aprendizaje basado en indagación previo y experimentado por parte de los estudiantes. Para ello, se dividió el grupo de estudiantes del semillero en 3 subgrupos a los cuales se les asignó una de las siguientes especies: Girasoles (*Helianthus annuus*), Begonias (*Begonia rex*) y Hierba Buena (*Mentha spicata*). Cada grupo realizó una presentación de la morfología, siembra y cuidado de la especie asignada todo esto con el fin de lograr que los estudiantes desarrollen la creatividad y que empiecen a dar esas conexiones entre los conocimientos previos y las construcciones conceptuales que de allí van emergiendo. Además, con este trabajo se pretende llamar la atención de los estudiantes frente a las posibilidades de estudio y aprendizaje, pues de acuerdo con el modelo de interés de Renninger (2016), el individuo que se preocupa por el conocimiento mantiene el interés gracias a un buen diseño de la tarea.

Luego de la socialización se logró realizar un reconocimiento de los espacios de la huerta en torno a la preparación y la adecuación para la siembra, este paso es importante ya que si bien, el ABI 7E tiene una serie de secuencias de aprendizaje, permite la

flexibilidad en el caso de necesitar algunos momentos primero que otros, ya que para el desarrollo del trabajo en el semillero se hace necesario el material biológico que permitiese a los estudiantes el estudio Bioinorgánico de las plantas hiperacumuladoras. Por último, en esta sesión se realiza la entrega de unas semillas de girasol para que los estudiantes las pongan a germinar y sirvan de insumo en la siembra.

Hasta el momento se trató de ir encaminando a los estudiantes en torno al tema de las plantas hiperacumuladoras relacionándolos con algunos contextos próximos como la huerta escolar, por eso siguiendo por esa idea en la tercera sesión se realizó la siembra de las plantas que iban a permitir a los estudiantes realizar la praxis en el desarrollo del proyecto, para eso se debían aplicar los conceptos elaborados por parte de los estudiantes en el espacio de trabajo para la siembra de las plantas en el aula viva, lo cual responde a lo que Eisenkraft (2005) señala sobre la participación activa de los integrantes del semillero en la siembra de las plantas, impulsando también la interacción entre las nuevas ideas con los diferentes conceptos ya trabajados. Asimismo, Blair (2009) habla sobre la importancia de los huertos escolares en la educación y el crecimiento personal de los estudiantes, en donde muchas veces estos espacios promueven la observación directa y la práctica lo cual es importante en el ABI, además está comprobado que los estudiantes que trabajan en huertos desarrollan mejores conocimientos en torno a las ciencias naturales, lo cual se podrá ver más adelante en el desarrollo de este capítulo.

Para el trabajo de campo los estudiantes consideran lo desarrollado en la sesión 2, tanto en cuestiones de manejo de las plantas, como siembra y luego su posterior riego, en donde no solamente se puso en juego el ingenio de los estudiantes, sino que también lograran aplicar conocimientos previos sobre cultivar, cabe resaltar que al final se realizó

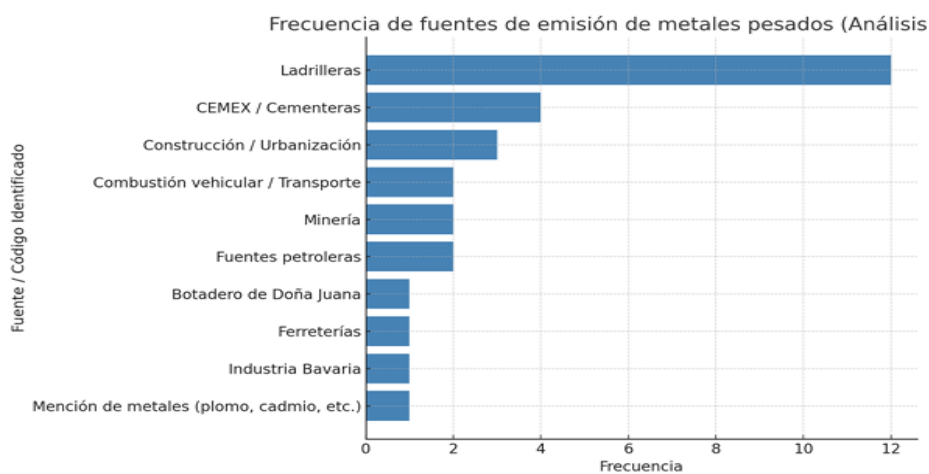
la siembra de 10 individuos de cada especie teniendo en cuenta que cada uno de los subgrupos de trabajo debía sembrar de una planta.

Teniendo preparadas las plantas para el futuro trabajo de campo, se procede a reconocer cómo los estudiantes asocian los conceptos e ideas previas del contexto cotidiano con situaciones experimentales de comprobación en torno al tema de los metales pesados y plantas hiperacumuladoras. De modo que se diseñó un cuestionario con 5 preguntas, las cuales se analizaron una a una teniendo en cuenta las respuestas de los 15 estudiantes pertenecientes al semillero.

En un primer momento se trabajó la siguiente pregunta ¿Cuáles fuentes principales de emisión de metales pesados en entornos urbanos e industriales conoces?, a lo cual los estudiantes contestaron en torno a los siguientes datos obtenidos:

Figura 3

¿Cuáles fuentes principales de emisión de metales pesados en entornos urbanos e industriales conoces?



Frecuencia de las fuentes de emisión de metales pesados identificadas en el análisis.

Para esta pregunta los estudiantes desarrollaron la idea de forma individual, donde el 80% de los estudiantes mencionan a las ladrilleras del sector como responsables de la mayor cantidad

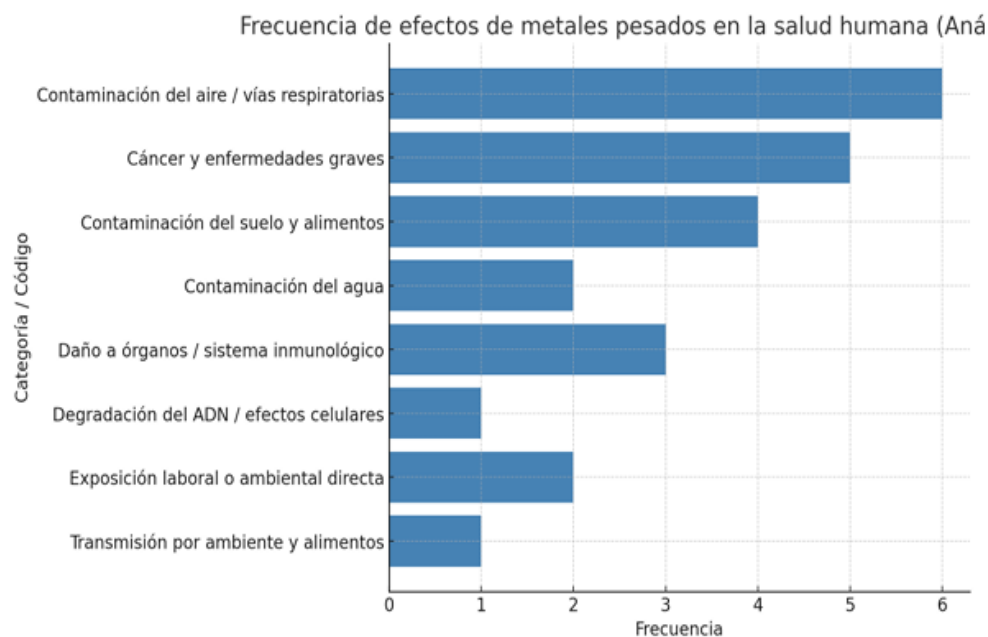
de emisión de metales pesados. De igual manera, con un 26% de los estudiantes se expresa que las cementeras como la empresa CEMEX influyen en esta contaminación, seguido de un 20% de los estudiantes que relacionan las construcciones urbanas con el aumento de la polución. Consecuentemente, un 13% de los estudiantes señalan que la combustión vehicular, la minería y las fuentes petrolíferas contaminan los suelos de la localidad, y por último un 6% de los estudiantes atribuye al relleno sanitario Doña Juana y las industrias aledañas, los desequilibrios en materia ambiental. En las diferentes respuestas de los estudiantes se aprecia la relación entre la temática y el contexto cercano, razón por la cual expresan la presencia de ladrilleras, la incidencia de la empresa CEMEX y algunas prácticas humanas que posiblemente están contaminando espacios de sus vidas cotidianas. Eso se puede contrastar a partir de Tarazona Rincón (2020) el cual realizó un trabajo en donde evalúa la calidad del aire en el barrio Mochuelo Alto y logró evidenciar que la fuente principal de emisiones de metales pesados es el "Parque Minero Industrial el Mochuelo", específicamente por la gran presencia de fábricas de ladrillo artesanal y la extracción de arena, piedra y arcilla. Para nadie es un secreto que este tipo de prácticas puede conllevar a contaminar el agua y los suelos con metales pesados como lo expresan los estudiantes. Al respecto, es pertinente traer las ideas de Dewey (1906) frente a la importancia de articular las ideas previas de los estudiantes con las diferentes experiencias de clase que tienen por objeto analizar las causas, consecuencias y alternativas de solución a la contaminación. Como se ha venido trabajando el desarrollo del cuestionario de inicio.

A continuación, la figura 3 relaciona la manera en que los estudiantes explican la incidencia de los metales pesados en la salud de las personas.

¿De qué forma la presencia de metales pesados en el medio ambiente afecta la salud humana a corto y largo plazo? Escribe las que conozcas.

Figura 4

¿De qué forma la presencia de metales pesados en el medio ambiente afecta la salud humana a corto y largo plazo? Escribe las que conozcas.



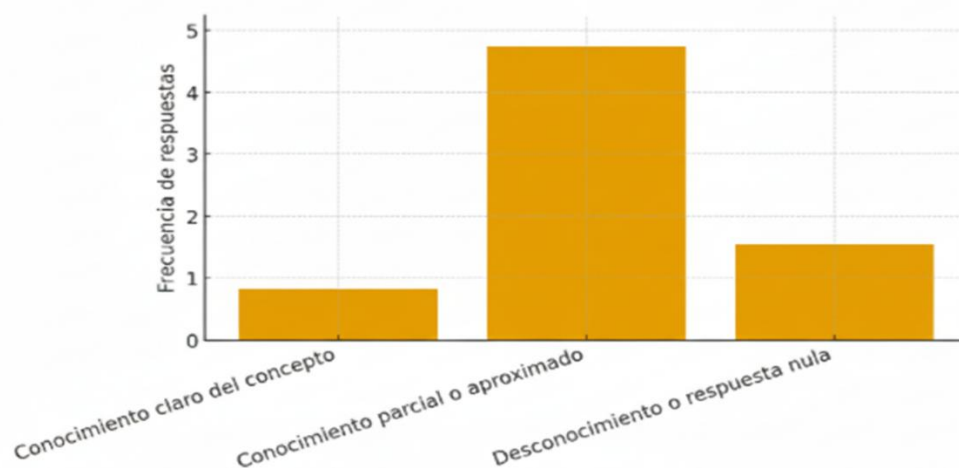
Nota. El gráfico muestra la frecuencia de las categorías identificadas en el análisis sobre los efectos percibidos de los metales pesados.

En esta segunda pregunta del cuestionario inicial, se puede evidenciar que el 40% de los estudiantes relacionan las afectaciones de la salud por metales pesados con el desarrollo de enfermedades de las vías respiratorias, un 33% de los participantes señalan la relación de esta problemática con el cáncer y un 26% evidencian las problemáticas de desertización con la siembra. Un 13% de los estudiantes ejemplifican situaciones como la contaminación del agua y, por último, un 6% relaciona la ingesta de metales pesados con la modificación de la información genética. Teniendo en cuenta lo anterior Jaishankar et al. (2014) en su estudio de *¿Cómo actúan los metales pesados a nivel celular?* Explica sobre el proceso del estrés oxidativo, el cual genera

una interferencia en la generación de enzimas y puede llegar a producir radicales libre que pueden afectar el ADN, las proteínas y las membranas celulares, generando en los organismos envejecimiento prematura y enfermedades crónicas. Según lo expresa Bevins (2016), estas problemáticas que expresan los estudiantes pueden llevar al maestro a proponer situaciones que permitan enfocar e identificar habilidades de indagación y generar conceptos científicos más elaborados.

Figura 5

¿Sabes que es una planta hiperacumuladoras?, si su respuesta es sí, ¿Qué características definitorias debe tener una planta para ser clasificada como hiperacumuladoras?



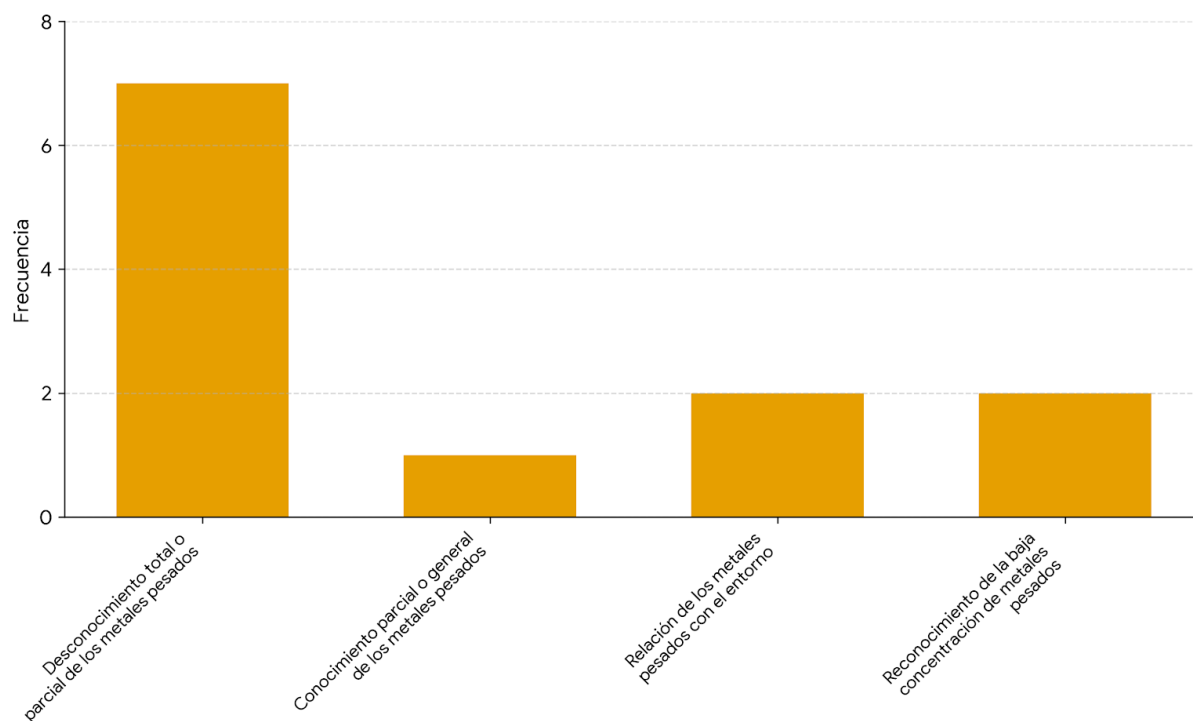
Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de respuestas de los participantes sobre su nivel de conocimiento de las plantas hiperacumuladoras.

Con la pregunta *¿Sabes que es una planta hiperacumuladoras?, si su respuesta es sí, ¿Qué características definitorias debe tener una planta para ser clasificada como hiperacumuladoras?* se pretende indagar un conocimiento previo un poco más complejo y académico sobre las plantas hiperacumuladoras, entendiendo que los estudiantes se ubican en niveles avanzados de escolaridad con respecto a los estándares y los resultados académicos obtenidos de diferentes simulacros que se establecen en la institución cada año, en ese orden de ideas algunos aportes varían teniendo en cuenta su formación personal y académica y lo que posiblemente se trabajó en

la sesión 3 de durante la práctica. Vale la pena resaltar que un 33% de los estudiantes del semillero manifestaron un conocimiento parcial o aproximado de estas plantas, mientras que 20% estudiantes dijeron que tenían un conocimiento claro del concepto. Otro 20% de los estudiantes expresaron que no contaban con ideas sobre estas especies. Es importante señalar que en la literatura se han documentado numerosas plantas hiperacumuladoras que reducen la concentración de iones metálicos hasta en casi 100 veces más que las no acumuladoras, sin embargo, el conocimiento general sobre ellas, sus usos en temas de Fito extracción, fitominería y desintoxicación de iones metálicos aún sigue lejano para la mayoría de los ciudadanos (Bhat et al., 2025).

Figura 6

¿Conoces los metales pesados? Si la respuesta es sí, ¿En qué condiciones y concentraciones pueden los metales pesados ejercer efectos beneficiosos en procesos celulares sin causar toxicidad?

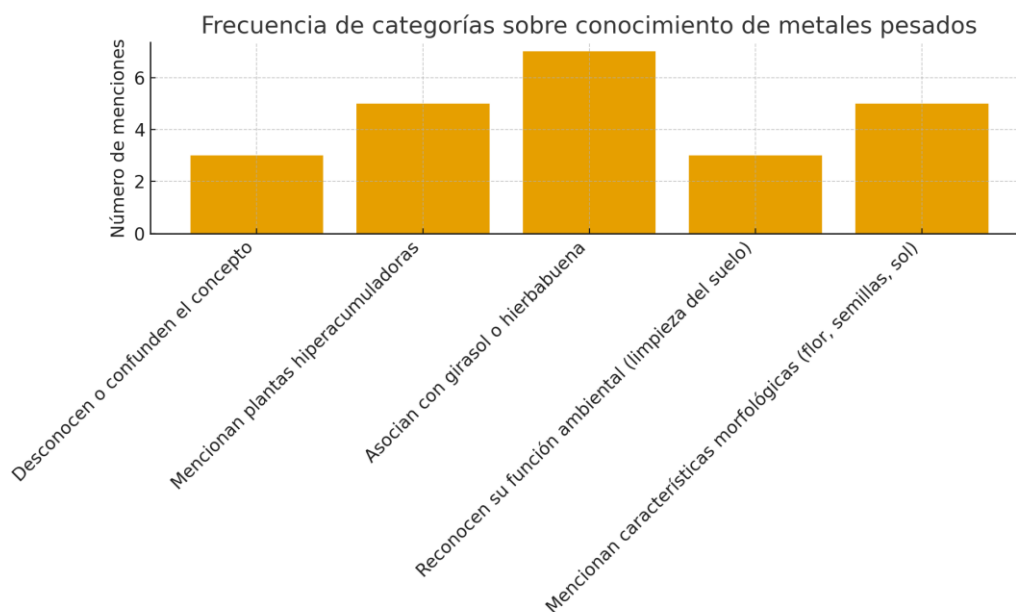


Nota. El gráfico ilustra la frecuencia de los diferentes niveles de conocimiento sobre metales pesados reportados por los participantes.

En la cuarta pregunta se pidió a los estudiantes que contestaran si tenían conocimientos sobre los metales pesados a lo cual un 46% de los estudiantes dijeron que tenían un desconocimiento total, mientras que un 66% de los estudiantes dijo que tenían un conocimiento parcial. Por último, un 20% de los estudiantes relacionaron esta pregunta tanto con su entorno como con la presencia de metales pesados en bajas concentraciones.

Consecuente con la pregunta anterior, el desconocimiento de la cercanía de los metales pesados permite la planeación de una estrategia didáctica innovadora para el estudiante, lo cual según Eisenkraft (2005), permite que el maestro tome un rol colaborativo con el estudiante y formen esas bases de conocimiento para un buen desarrollo del pensamiento crítico y la construcción autónoma de criterios. En ese orden de ideas se hace necesario para un aprendizaje en torno al modelo 7E, la creación de preguntas que parten de los estudiantes de sus experiencias y los temas que se trabajaron y no preguntas preestablecidas que no permitan o desarrollen el pensamiento genuino y crítico, ya que, como lo expresa Scardamalia & Bereiter (2006), algunos problemas que se plantean en las clases de ciencias son poco auténticos ya que no permiten el desarrollo de un conocimiento propio. Por otra parte, Dewey (1916) expresa que los estudiantes deben aprender a pensar a partir del hacer y por ende esto permitirá un aprendizaje natural, si bien es necesario que el estudiante logre este tipo de aprendizajes desde la práctica, el aprender a analizar los contextos en los cuales se ven involucrados y lograr pensar soluciones es la clave de un aprendizaje natural y que pertinente en el contexto.

Figura 7 Categorías en el reconocimiento de metales pesados y el papel de las plantas hiperacumuladoras



Nota. El gráfico de barras muestra el número de menciones para diferentes categorías relacionadas con el conocimiento sobre metales pesados y plantas.

En la gráfica de barras (figura 6) se tiene que 66% de los grupos relacionaron la problemática de la huerta del colegio con la presencia de maleza en el crecimiento de las plantas, mientras que el 33 % respectivamente lo hizo en torno a las categorías de importancia del conocimiento, identificación, clasificación e impacto ecológico en el cultivo en torno a las malezas. Para analizar los anteriores datos se debe recurrir a términos de educación ambiental ya que es ahí donde se trabaja en la institución el tema de contaminación en este caso por metales pesados, aportando a esto Sauvé (2010) habla del enfoque cientificista el cual trabaja específicamente desde la ciencia las situaciones ambientales lo cual cae en un reduccionismo que no permite que las personas en este caso los estudiantes puedan ir más allá, pero son de esas dificultades que se generan por la forma de educar en ciencias naturales, pero entonces es

momento de empezar a tomar en cuenta lo social, lo político, lo ambiental y como esto se relaciona con la vida cotidiana.

"El enfoque científicista, que reduce la educación ambiental a la dimensión científica de los problemas ambientales, se ha asociado a menudo, por desgracia, a la educación científica."

Lo anterior lo podemos analizar desde la perspectiva de Bransford et al. (2000) en donde se resalta que los estudiantes siempre llegan a los salones de clases con ideas previas, experiencias y conocimientos los cuales se necesitan activar para lograr generar nuevos conocimientos. En este punto se hace necesario recalcar la importancia del tema contextualizado con el fin de salir al paso de visiones deformadas de la ciencia y la tecnología. Al respecto, De Zubiría (2017) ofrece una mirada crítica sobre la educación tradicional, sugiriendo que a menudo se privilegia la retención momentánea de información para aprobar exámenes sobre la construcción de aprendizajes para la vida. En este contexto, la introducción de temáticas poco convencionales en el aula —como el estudio de metales pesados y plantas hiperacumuladoras— surge como una estrategia pedagógica valiosa para romper con la inercia académica y despertar una curiosidad genuina hacia nuevos saberes científicos.

➤ **Etapa Elicitar.**

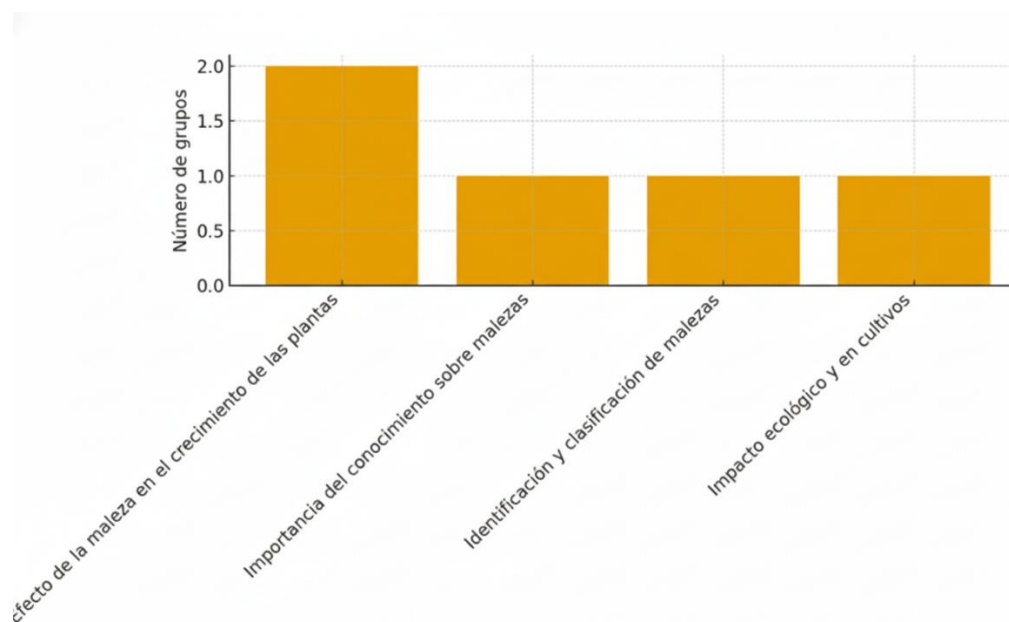
Para este momento de la investigación ya se tienen claras algunas ideas previas las cuales permiten al estudiante ubicarse en torno a lo que va a abordar, lo cual según Einsenkraft (2005) es importante ya que esa relación de trabajo en conjunto, tanto de maestro como estudiante, permite establecer unas bases de conocimiento fuertes con el fin de fortalecer la indagación. En ese orden de ideas, durante el trabajo realizado hasta el momento se logró evidenciar la necesidad de

adelantar un primer ejercicio básico, el cual tenía como finalidad realizar un acercamiento al aprendizaje por indagación “7E” a partir de una situación que genere afectaciones a los cultivos. Para ello, se diseñó en la sesión 5 un cuestionario en línea (forms), el cual tiene en cuenta las opiniones y las ideas de los estudiantes del semillero para lograr solventar una situación del día a día, relacionada con los cultivadores y el manejo de hierbas y malezas.

En un primer momento los estudiantes debían visualizar un video en la plataforma de YouTube el cual tiene como tema central el control de malezas y la conservación del suelo para diferentes cultivos (Mocca, 2023), los cuales permitían obtener mejores resultados y cosechas tanto a corto como a largo plazo. Posteriormente, los 3 grupos de estudiantes debían responder el cuestionario en donde se obtienen los siguientes análisis:

Figura 8

Teniendo en cuenta la situación vista en el video planteo, una pregunta problema que involucre el contexto de la huerta del colegio.



Nota. El gráfico muestra el número de grupos que formularon preguntas problema en las categorías identificadas.

En la gráfica de barras (figura 8) se tiene que 66% de los grupos relaciono la problemática de la huerta del colegio con la presencia de maleza en el crecimiento de las plantas, mientras que el 33 % respectivamente lo hizo en torno a las categorías de importancia del conocimiento, identificación, clasificación e impacto ecológico en el cultivo en torno a las malezas. Si bien las plantas que denominamos malezas muchas veces no se les ve la importancia, pero en este caso los estudiantes en su mayoría muestran preocupación frente a esto lo cual se puede argumentar desde Bhat et al. (2025) en donde se habla del concepto de las “Supermalezas” las cuales tiene un potencial riesgo para el crecimiento y la competencia con la biodiversidad de las plantas hiperacumuladoras, afectando el ambiente y alterando las condiciones ecológicas. Ahora bien, a partir de los trabajados, uno de los estudiantes dice pregunta “¿es posible que las malezas sean plantas hiperacumuladoras?”, a lo cual según Velásquez (2022) en su artículo “*Revisión Teórica sobre Fitorremediación con Malezas*” dice que muchas de las malezas pueden llegar a ser usadas en procesos de fitorremediación por metales pesados gracias a su capacidad de hiperacumular, además de su especificidad.

Es importante en esta pregunta evidenciar la manera como los estudiantes plantean preguntas problemas a partir de una situación problema que se propone, en este caso como propone Eisenkraft (2005) los estudiantes deben ir generando ese deseo por la exploración, por la búsqueda del conocimiento y que mejor forma que a partir de preguntas formuladas a partir del interés del estudiante. En este caso si bien se propone una situación, las preguntas y respuestas reflejan el interés del estudiante con el tema, lo cual al ser contrastado con lo propuesto por Eisenkraft (2005) da muestras que cada grupo posee algunas habilidades de indagación a la hora

de trabajar la secuencia elicitar. Para el desarrollo del trabajo en el semillero fue interesante que los estudiantes lograsen proponer preguntas problema, que si bien necesitaban un mejor desarrollo en la formulación fueron insumos claves del trabajo. Esto contrasta con las observaciones de Rothstein y Santana (2011) quienes sostienen que, en la mayoría de las aulas, el maestro tiene un papel protagónico, pues además de formular las preguntas para desarrollar su clase, deja de lado la curiosidad del estudiante, pues no invita a preguntarse y generar dudas sobre las situaciones, lo cual es relevante para el desarrollo de un aprendizaje en la secuencia de Elicitar.

Ahora bien, existe una relación entre el uso de plantas hiperacumuladoras y el aprendizaje basado en indagación lo que ha permitido en diferentes experiencias previas e investigaciones realizadas por pares que se obtengan resultados positivos, como lo expresa Baquero(2017) en su trabajo de *cómo funcionan las plantas, una estrategia de aula para desarrollar habilidades para la indagación*" afirmar que las plantas hiperacumuladoras son un recurso didáctico efectivo para lograr implementar ABI en lugares donde se ausente el laboratorio y que son practicas que permiten la conexión con la vida cotidiana generando un aprendizaje duradero y complejo. Esto toma relevancia desde el hecho que el concepto de plantas hiperacumuladoras tiende a ser novedoso y llamativo y aun mas si se trabaja de un punto de vista social como lo expresaba Sauvé (2010) en su enfoque de educaci3n ambiental.

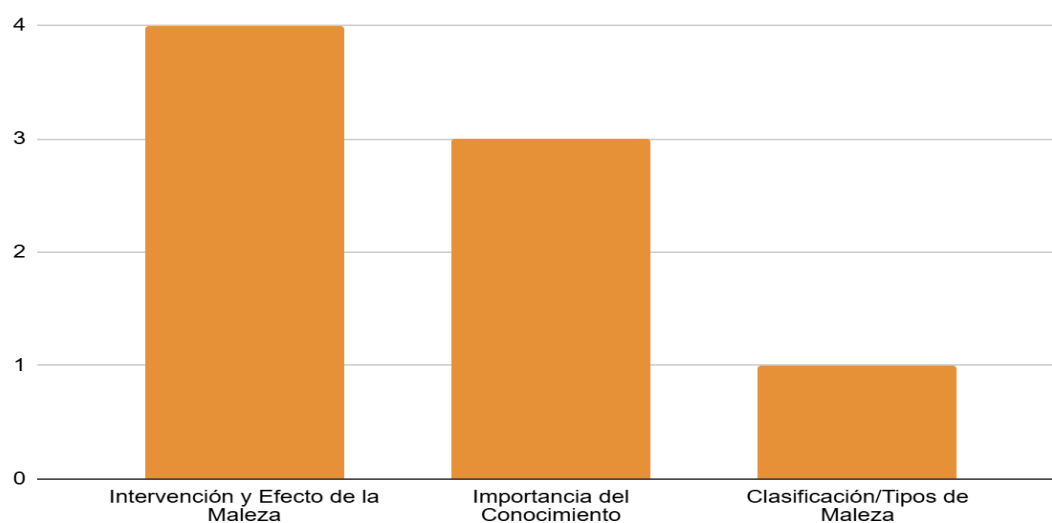
Esto tambi3n se puede trabajar desde lo que plantea Furman (2021) el cual pretende que el proceso de indagaci3n se pueda dar de una forma genuina, mas no directiva por parte del maestro con las preguntas ya preestablecidas y es ahí donde se necesita que la curiosidad del estudiante despierte, no obstante en algunos escenarios puede pasar que los estudiantes no logren este tipo de desarrollo de querer preguntar, ya sea porque no se ha entendido el trabajo se necesite un

apoyo más por parte del maestro ya también depende de cómo se lleve el proceso y la posibilidades de la población con la que se está trabajando ya que no todos aprendemos de la misma forma y es por eso que se deben tener en cuenta las diversas situaciones y estímulos que permitan despertar el interés de los estudiantes.

Es importante destacar que las expresiones manifestadas por los estudiantes durante la sesión evidencian habilidades de indagación preexistentes, las cuales lograron articularse a través de las distintas etapas del modelo ABI 7E. Este fenómeno pone de manifiesto una realidad institucional: si bien el currículo apunta al desarrollo de la competencia indagatoria, en la práctica a menudo se carece de los enfoques metodológicos y procesos específicos necesarios para potenciar efectivamente este tipo de aprendizaje.

Figura 9

Frecuencia de categorías sobre la maleza



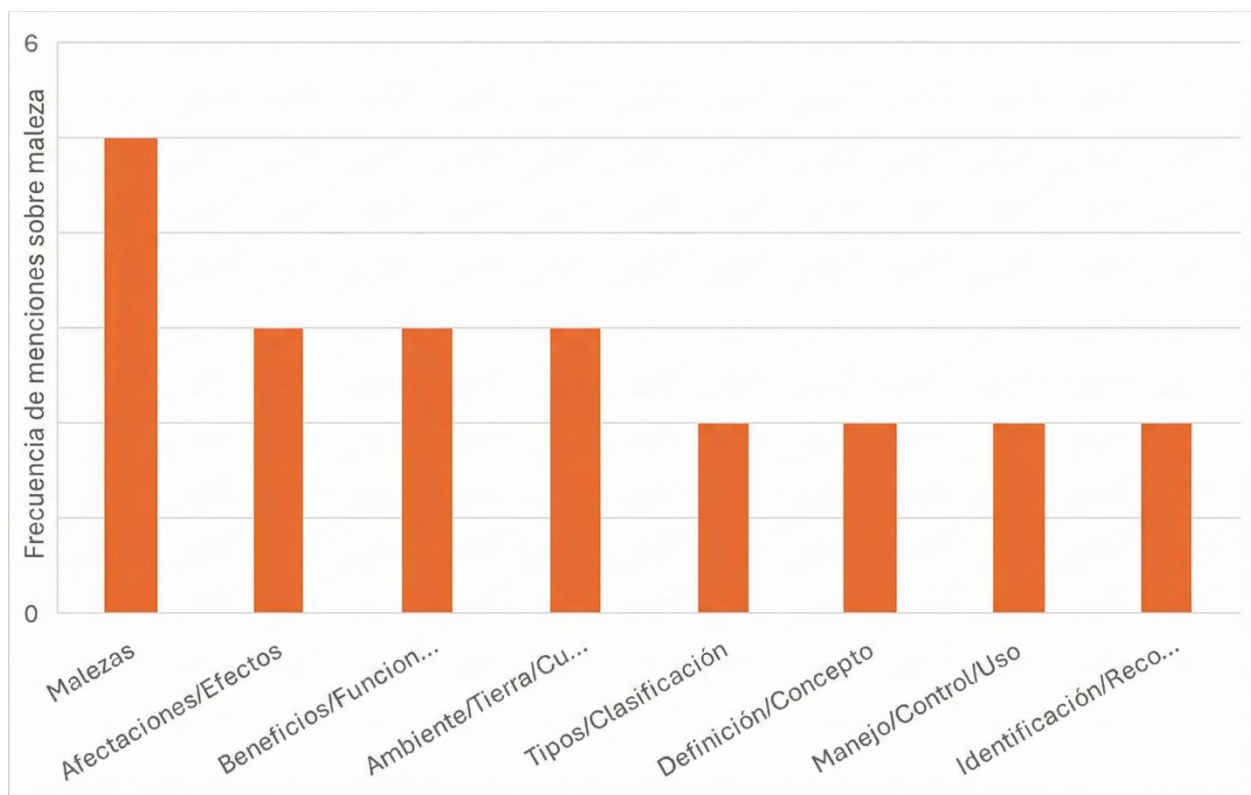
Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de las categorías identificadas en el análisis sobre la maleza.

En este caso particular se pretende que los estudiantes encuentren relación entre la problemática y el conocimiento científico sobre las malezas, Sólo el 26% de los estudiantes afirmaron tener la necesidad de saber sobre la importancia y el efecto de la maleza. Mientras que el 20% estudiantes señalan cierta importancia por conocer o trabajar el tema, mientras que el 6.6% de los estudiantes creen que resulta interesante considerar la clasificación de los tipos de maleza. Teniendo en cuenta lo anterior, esta importancia que reflejan los estudiantes en el estudio de este tipo de plantas se puede traducir en la capacidad que pueden tener las plantas denominadas malezas en los procesos de fitorremediación y ya que poseen un rápido crecimiento y alta producción de biomasa pueden llegar a ser perfectas para este tipo de prácticas como lo expresa Dissanayake et al. (2022).

En la pregunta de la figura 9 se tiene como finalidad visualizar esas habilidades que tienen los estudiantes para formular hipótesis, por ello se puede notar que 3 de los grupos ven que el proponer una idea, afirmar una situación posible o predecir un resultado, es la forma de plantear una hipótesis factor central para el ABI. Por otra parte, dos grupos tienen dificultades al momento de diseñar la hipótesis en forma de una pregunta. De acuerdo con Bevins (2016) las hipótesis muchas veces en el ABI se basan en conocimientos previos, lo cual se puede evidenciar en el momento que los estudiantes realizan comentarios propios a la hora de predecir y formular sus predicciones.

Figura 10

¿Qué conceptos e ideas crees que se necesitan para lograr solucionar la pregunta problema o comprobar la hipótesis planteada?



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de menciones de las diferentes categorías identificadas en el análisis sobre la maleza

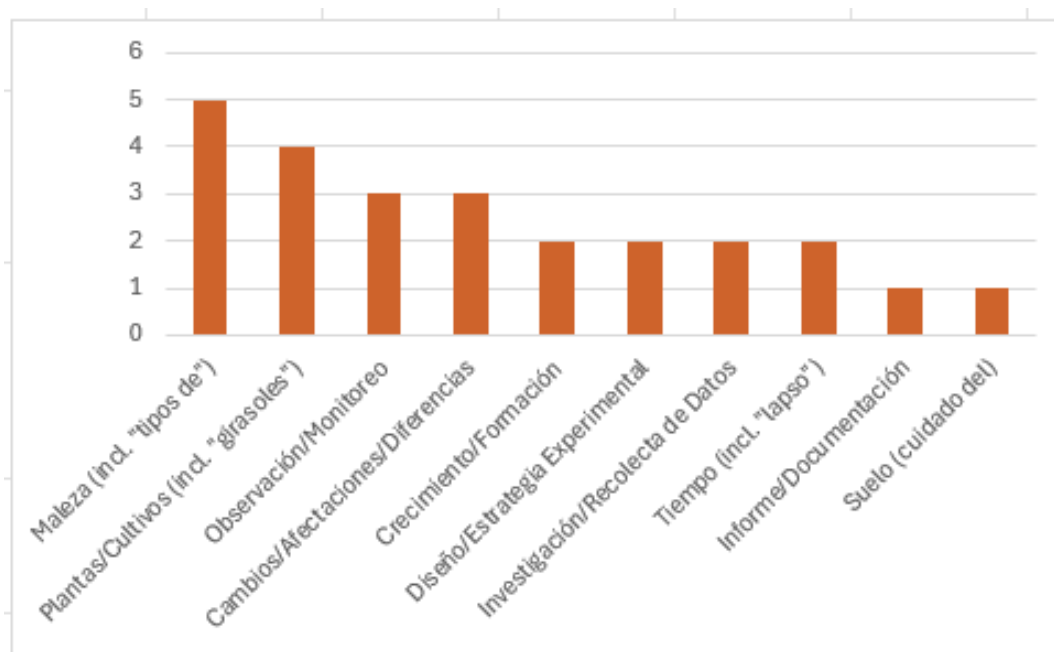
En la secuencia de explorar los estudiantes expresaron los posibles conocimientos que consideran necesarios para el desarrollo del trabajo en el semillero, por ejemplo, el 33% de los estudiantes necesitan conocer sobre las malezas, 20% de los estudiantes consideran que se necesita investigar y conocer sobre afectaciones y beneficios ambientales. Así mismo, 13% de los estudiantes coinciden que se debe saber sobre tipos, manejo, control e identificación de especies de malezas. En este caso los estudiantes ven la necesidad de saber sobre este tipo de plantas que también son consideradas hiperacumuladoras por ello se puede ver que según Boyd (2007) el cual plantea la “Hipótesis de la defensa elemental” en donde propone que el beneficio de las

malezas para hiperacumular metales es una estrategia de defensa. Mientras que Sinha (2018) expresa que el aporte de usar malezas que sean nativas favorece en procesos ecológicos y climáticos y aun mejor reduce costos en los procesos de fitorremediación cabe resaltar que el contexto de esta investigación es de la India, un país reconocido por los altos niveles de contaminación por metales pesados. Por consiguiente, este conocimiento permite que los estudiantes logren resolver sus dudas frente a lo expuesto en los resultados que expresan en la gráfica en cuestiones de beneficios e importancia de las malezas como plantas hiperacumuladoras.

Según Einsenkraft (2005) en la construcción de nuevos conocimientos, es necesario tener algunos referentes conceptuales de apoyo y cierta manera realizar preguntas sobre ¿Qué necesito en cuestión de conceptos académicos para poder solucionar las preguntas problema que surgen?, por ello se puede notar como los estudiantes en sus respuestas expresan algunos conceptos e ideas que se hacen necesarias para el desarrollo de la temática, pero también se ven algunos conceptos reiterados que en el video guía se trabajan a lo cual los estudiantes deben poner más cuidado y se detallistas a la hora de examinar y extraer información.

Figura 11

Plantee una solución, estrategia o modelo que permita comprobar la hipótesis planteada.



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de menciones de las diferentes categorías identificadas en el análisis sobre la maleza.

En la gráfica anterior, se puede evidenciar que el 33% de las opiniones plantean una solución en torno a las malezas, mientras que el 26% de las ideas propuestas incluyen el uso de la especie de los girasoles para el trabajo. Por otro lado, el 20% de las propuestas dicen necesitar desarrollar una observación teniendo en cuenta los cambios y diferencias. En menor porcentaje encontramos el evaluar el crecimiento, la importancia de un diseño experimental, recolectar datos y tener en cuenta el tiempo todo esto con un 13% y por último se hace necesario un informe y tener en cuenta el cuidado del suelo en un 6%.

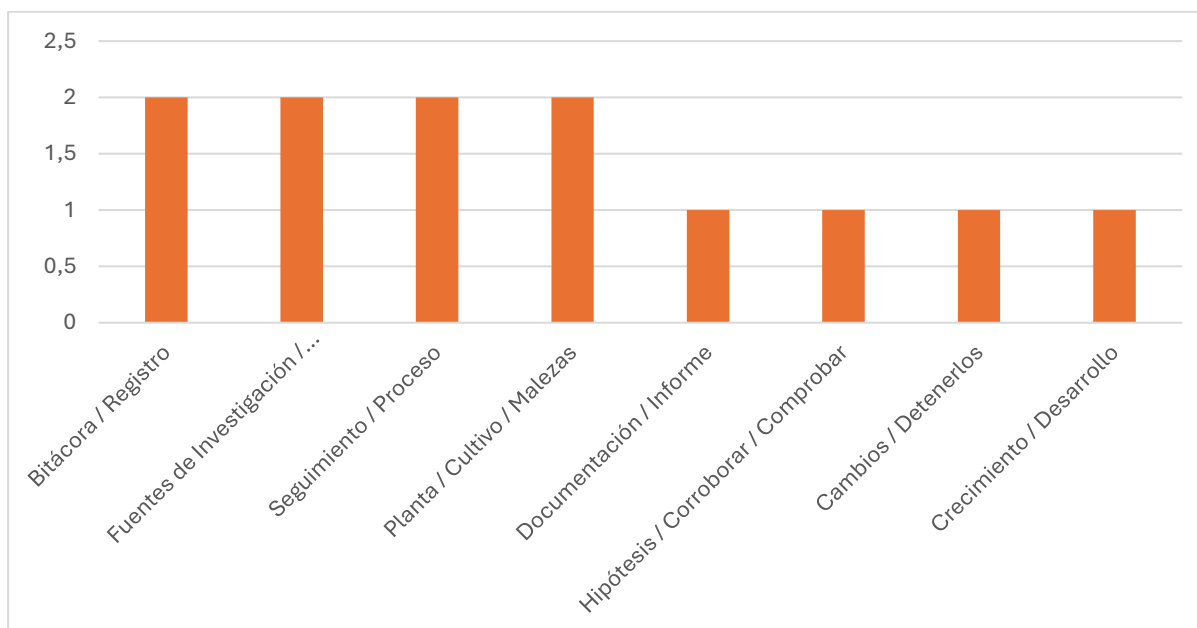
En esta pregunta se reconoce la creatividad de los grupos para poder comprobar y dar solución a una situación problema. En algunas de las respuestas de los estudiantes se da importancia a la observación como primer proceso de la investigación y luego la implementación

de acciones para el desarrollo de misma. Con respecto a lo anterior, aquí se necesita profundizar el conocimiento de una manera más compleja llegando a conocimientos prácticos con los cuales solucionar situaciones del contexto. Como afirma Einsenkraft (2005), hace falta que los estudiantes desarrollen metodologías más apropiadas y tengan en cuenta los espacios experimentales y las posibilidades que el laboratorio les puede brindar, con el propósito de lograr apropiarse de métodos y prácticas complejas que muchas veces se quedan escasas en las instituciones. Como maestros no se puede seguir pensando que los estudiantes tienen un papel pasivo en los procesos experimentales y limitarlos solo a la observación y descripción puesto que son ellos los que van a generar conceptos y soluciones para las situaciones complejas. Al respecto Furman (2021) sostiene que la idea no solo es que los estudiantes sean creativos si no que aprendan a diseñar y logren hablar y entender el mundo teniendo en cuenta la rigurosidad del conocimiento científico.

Si bien las dinámicas de las escuelas públicas del país a menudo enfrentan limitaciones logísticas como la gestión del tiempo o la alta densidad estudiantil que dificultan la implementación de estrategias complejas, es precisamente en este escenario donde el Magíster en Docencia de la Química debe intervenir. Su formación le permite adaptar y proponer nuevas metodologías que superen dichas barreras. En este sentido, Adúriz-Bravo (2013) advierte sobre el riesgo de perpetuar una 'visión deformada de la ciencia', caracterizada por limitar al estudiante a una observación pasiva de la realidad. Por el contrario, la práctica docente debe trascender la simple contemplación para incentivar la inventiva y la validación experimental de las ideas.

Figura 12

Diseñe y describa un instrumento o formato que le permita realizar un seguimiento de su estrategia



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de las categorías metodológicas o de proceso identificadas en el análisis.

Para lograr obtener unos resultados adecuados del trabajo realizado con los estudiantes se tuvo en cuenta la gráfica de barras “*Diseñe y describa un instrumento o formato que le permita realizar un seguimiento de su estrategia*”, para la cual tenemos que para un 13 % de las opiniones de los grupos de trabajo es necesario realizar una bitácora de seguimiento, llevar un proceso adecuado, tener unas fuentes de información claras sobre la temática a trabajar. Mientras que un 6% de lo contestado dicen que pueden dar a conocer sus resultados por medio de informes, corroborando hipótesis y tener en cuenta el crecimiento y desarrollo.

En esta última pregunta los estudiantes proponen diferentes ideas a partir de procesos de discusión y bitácoras de seguimiento, los cuales permitan plasmar sus ideas y observaciones

Según Einsenkraft (2005) aquí es donde el estudiante debería esforzarse por desarrollar un pensamiento crítico encaminado a la toma de posturas y decisiones que le permitiese trasegar por niveles conceptuales más profundos. En esta fase solo un grupo que trató de llevar el proceso de investigación a una discusión utilizando conceptos académicos y posibles conjeturas que surgen del pensamiento crítico. Uno de los procesos que se lleva a cabo durante las diferentes prácticas de laboratorio, es la toma de resultados a través de tablas, bitácoras o registros, pero es importante que los estudiantes, como lo expresa Revel Chion y Adúriz-Bravo (2017), desarrollen la capacidad de construir sus propias opiniones e ideas y así lograr tomar posturas críticas frente a lo que se logró encontrar en el laboratorio, dejando de lado un poco el hacer planas científicas y más bien contrastar de forma disciplinar, con teorías e ideas sus hipótesis, además de aprender a defender sus ideas o conclusiones, así se construye comunidad académica.

Esta fase de “autorregulación” (metacognición) se caracteriza por la evaluación de los procesos realizados, teniendo en cuenta la toma decisiones a partir de la resolución de situaciones a través de los resultados y el análisis.

Para el desarrollo de la secuencia didáctica, en la sesión 6 del semillero y teniendo en cuenta las habilidades en indagación según el modelo 7E de los estudiantes, se empezaron a plantear problemas de interés, preguntas problemas e hipótesis a partir de situaciones de interés en torno a la temática de la química bioinorgánica en plantas hiperacumuladoras. Para ello, se diseñó un cuestionario en línea que tenía por objeto formular las diferentes preguntas problema e hipótesis que enmarcaran el estudio Bioinorgánico de las plantas hiperacumuladoras desde la indagación, teniendo en cuenta a cada uno de los grupos del semillero. En este sentido, Einsenkraft (2005) señala el rol activo del docente, ya que se debe promover el trabajo en equipo, pero también incentivar al estudiante a escudriñar la situación problema a desarrollar, de tal

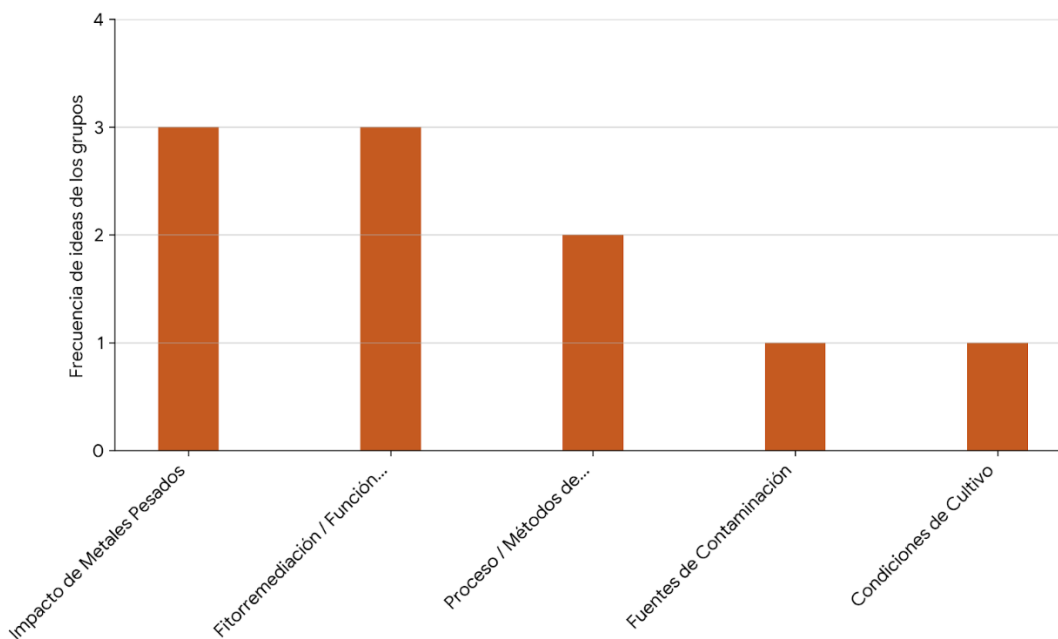
manera que se generen preguntas problema de investigación acorde a la temática y el enfoque pedagógico.

En este punto se proponen dos Reels interactivos los cuales describen las plantas hiperacumuladoras desde una perspectiva cotidiana, ya que se dice que son plantas que comen metales, lo cual permite un poco el entendimiento del concepto ya que es algo más del común del estudiante, cabe resaltar que siempre manteniendo los parámetros académicos del contexto. Luego de eso se dan a conocer 3 lecturas que se enfocan en la temática, una de ellas permite al maestro dar a conocer la importancia de la hiperacumulación a partir de lo evolutivo y lo antrópico de tal manera que se intenta despertar el interés de los estudiantes. Por último, se trabaja una lectura enfocada al contexto de los estudiantes en torno a la contaminación por metales pesados, a raíz de las prácticas de extracción minera que se dan en las cercanías del colegio. Si bien, este tipo de contextos se pueden conocer con experiencias cercanas al estudiante muchas veces por cuestión de recursos, espacios y un calendario académico que limita este tipo de aprendizajes no se permiten estos acercamientos, pero es ahí donde el maestro pone a prueba su conocimiento pedagógico para lograr llamar el interés de los estudiantes.

A continuación del proceso de contextualización de los estudiantes y el despertar del interés por la temática, en el cuestionario se plantearon 4 cuestiones que permiten al estudiante familiarizarse y lograr proponer preguntas problema e hipótesis.

Figura 13

Teniendo en cuenta la información anterior por favor digite 4 ideas o situaciones que le hayan llamado la atención.



Nota. Ideas de los estudiantes en torno a los temas trabajados en el contexto.

En la gráfica de barras (Figura13) se realizó esa indagación de situaciones problemas a partir de los gustos científicos de los grupos, por ello en un 33% de opiniones de los grupos de trabajo les llamó la atención el impacto de los metales pesados y la fitorremediación y funciones de las plantas. Por otra parte, se encontró 13% de ideas en torno a los procesos y métodos para la extracción de metales pesados y por ultimo las situaciones que trabajan fuentes de contaminación y condiciones de los cultivos en un 6.6%.

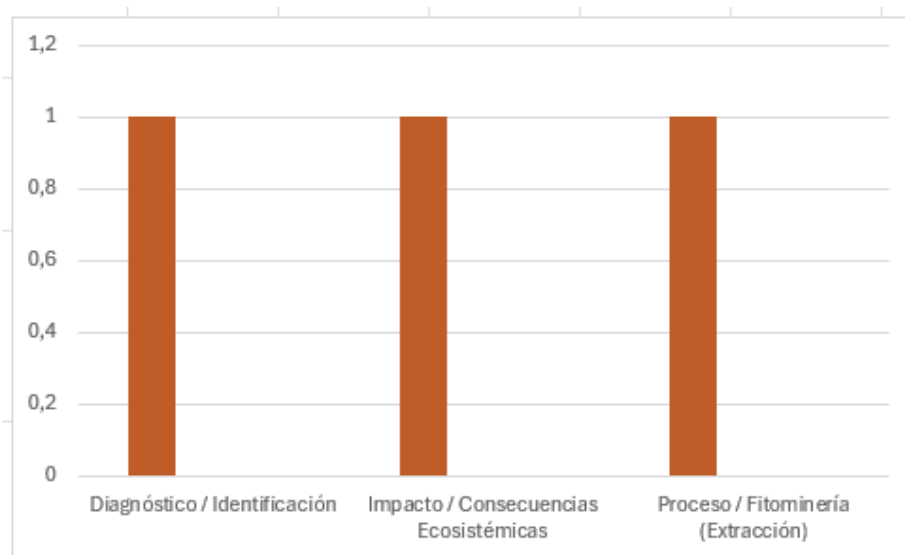
Para el desarrollo del trabajo en el semillero se realizaron grupos los cuales permitieron el trabajo colaborativo, las reflexiones sobre un tema y el diálogo de saberes entre los estudiantes, todo esto para fomentar la construcción de conceptos a y a su vez la formulación de preguntas y dudas frente a un tema, como lo expresa Einsenkraft (2005). Por esta razón se puede notar en las diferentes respuestas de los grupos cómo a partir de la información desarrollada y la socialización

se logran plasmar las diferentes ideas, generando interés en relación con las afectaciones y consecuencias del consumo de los metales pesados en la salud humana, conectando ideas previas con ideas nuevas frente al tema. Por otra parte, en las diferentes ideas expuestas, llama la atención el desconocimiento frente a conceptos disciplinares, particularmente la existencia de plantas hiperacumuladoras y su relación con los metales pesados, lo cual, según Eisenkraft (2005), estos retos intelectuales empiezan a generar retos mentales ya que consciente o inconscientemente los estudiantes empiezan a contrastar los conocimientos, además de generar conclusiones y proyecciones.

De acuerdo con Díaz Barriga (2006) esa necesidad de conocimientos por parte de quienes participan de una investigación resalta la motivación por resolver problemas de la vida cotidiana, por ende aquí la cuestión no es sólo que aprendan de plantas hiperacumuladoras, también reconocer los efectos de los metales pesados en las plantas, enfocándose en el estudio químico bioinorgánico; viéndolo desde esta perspectiva los estudiantes no van a querer solo conocer el concepto, sino que lo realizan para lograr solventar la situación que les genera interés.

Figura 14

A partir de las situaciones que te llamaron la atención en la pregunta 1, plantee una pregunta problema



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia. La categoría "Diagnóstico / Identificación", "Impacto / Consecuencias Ecosistémicas". "Proceso / Fitominería (Extracción).

En la formulación de preguntas problemas los estudiantes tuvieron en cuenta la idea de diagnosticar e identificar con un 6.6%. De igual forma, se tuvo en cuenta el impacto, las consecuencias ecosistémicas y los procesos de Fito minería para lograr establecer las preguntas problemas lo cual responde a una similitud en la idea de trabajo que han desarrollado los estudiantes en el semillero. Teniendo en cuenta lo anterior las preguntas planteadas por los grupos de estudiantes fueron:

Tabla 1.*Preguntas Planteadas por los Grupos de Estudio sobre Metales Pesados*

Grupo	Preguntas planteadas.
1	<i>G1: “¿Como extraer los minerales o minerales pesados de las plantas que se encuentran en la huerta?”</i>
2	<i>G2: “¿Como se puede evidenciar el impacto de los metales pesados en su ecosistema?”</i>
3	<i>G3: “¿Que tipos de metales pesados están presentes en el huerto y ¿cómo es posible identificarlos?”</i>

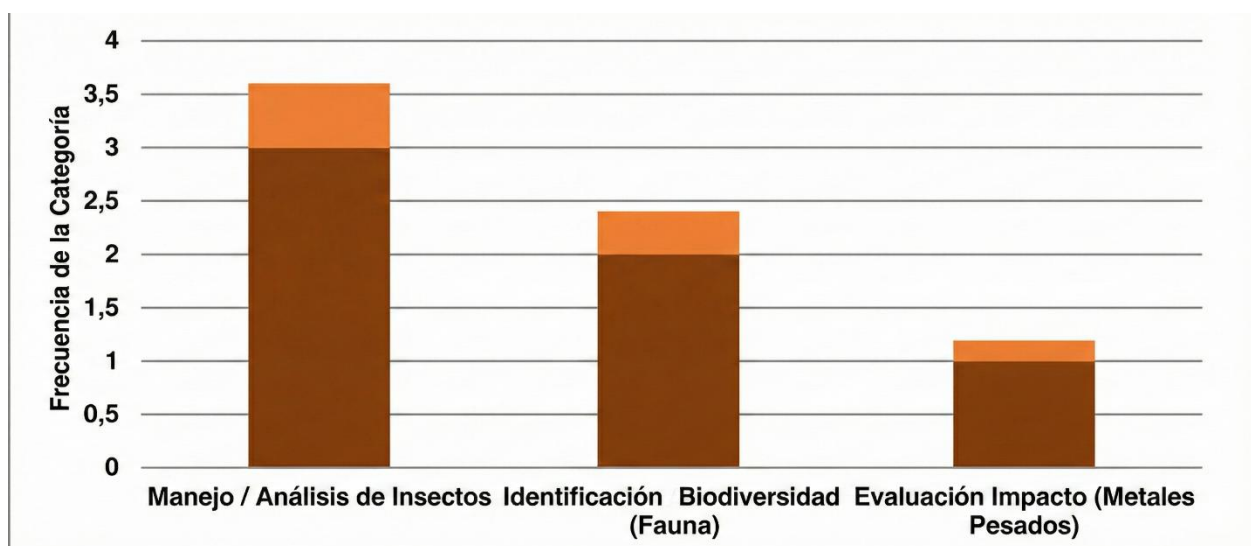
Nota. La tabla muestra las diferentes preguntas problemas que formularon los grupos de estudiantes.

Estas preguntas se analizan a partir de rubrica de evaluación proceso ABI (Ver anexo L), en donde se puede evidenciar que el grupo 1 obtuvo una puntuación de 2 ya que La pregunta se relaciona con el tema (metales pesados, plantas, huerta), pero le falta claridad al mezclar "minerales" (que pueden ser nutrientes) con "minerales pesados" (contaminantes) lo cual puede traducirse en que la formulación no sea suficientemente clara como problema de investigación. En lo que corresponde al grupo 2 tendría una puntuación de 4 es una formulación excelente, puesto que es clara y se relaciona con el problema a investigar, además a eso se Interpreta la situación no solo como la presencia de metales, sino como su efecto negativo. Por último, el grupo 3 fórmula una pregunta clara y que se relaciona con la temática, además a eso, es un primer paso investigativo. Sin embargo, según la rúbrica, podría asignársele un 3 porque, aunque es una pregunta necesaria, es una pregunta de descripción, lo cual puede considerarse carente de profundidad para investigar.

En estos momentos los estudiantes lograron formular algunas preguntas problema que van a enmarcar su trabajo durante el semillero, las cuales involucran el contexto más próximo, en este caso la huerta escolar, la cual provee los insumos para el desarrollo de la temática. Según Einsenkraft (2005) este tipo de dinámicas permite que los estudiantes logren construir preguntas que dirigirán su investigación y así consolidan una ruta de aprendizaje a partir de sus gustos e intereses. Retomando un poco lo trabajado anteriormente aquí se puede notar como el contexto logra generar dudas e interrogantes en los estudiantes frente a la influencia de los metales pesados en los diferentes organismos ya sea de forma positiva o negativa, por ello como dice Freire (1970) todo comienza desde una perspectiva de la “educación problematizadora” la cual lleva a diferentes contextos o como se dice el universo temático en donde los estudiantes empiezan a tomar roles de investigadores en el escepticismo y necesidad por conocer lo que los rodea.

Figura 15

¿Qué insectos se están comiendo la huerta del colegio?



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de las categorías conceptuales identificadas en el análisis de las respuestas de los grupos, sobre la fauna de la huerta y la evaluación de impacto.

En el trabajo de campo en torno a que estaba afectado la huerta escolar y para aportar a sus preguntas problemas los grupos de trabajo del semillero dan relevancia en un 23% al manejo y análisis de las especies de insectos que habitan el espacio de trabajo. Mientras que para lograr esto también tomaron en cuenta la identificación y por ende la biodiversidad de los individuos lo cual se ve reflejado en el 16% de las ideas plasmadas en el forms, todo esto apoyado desde una idea de evaluación e impacto que los estudiantes en un 8% reflejaban que se debía tener en cuenta.

Para lograr introducir a los estudiantes en la formulación de hipótesis, se realizó un breve ejercicio en el cual los participantes intentaron predecir y afirmar a partir de evidencias frente a un contexto de significación, en este caso observando la huerta y las especies de animales que posiblemente están realizando procesos de transformación de nutrientes en el suelo. A continuación, tenemos los insectos que establecieron los grupos de trabajo:

Tabla 2.

Insectos que posiblemente afectan la huerta según los estudiantes.

Grupo	Hipótesis frente a las especies entomológicas que afectan las plantas.
1	<i>Escarabajo Arañas Gusanos Lombrices Abejas Moscas</i>
2	<i>Es posible analizar y evaluar el impacto de los metales pesados a través de la evaluación del ecosistema y todos sus componentes</i>
3	<i>1- Los insectos no es necesario que coman solo de la huerta porque también tienen otros tipos de mecanismos de alimentación. 2- Se pueden <<ahuyentar>> estos insectos cambiando el tipo de agua que se les hecha 3- Al identificar los tipos de insectos que se</i>

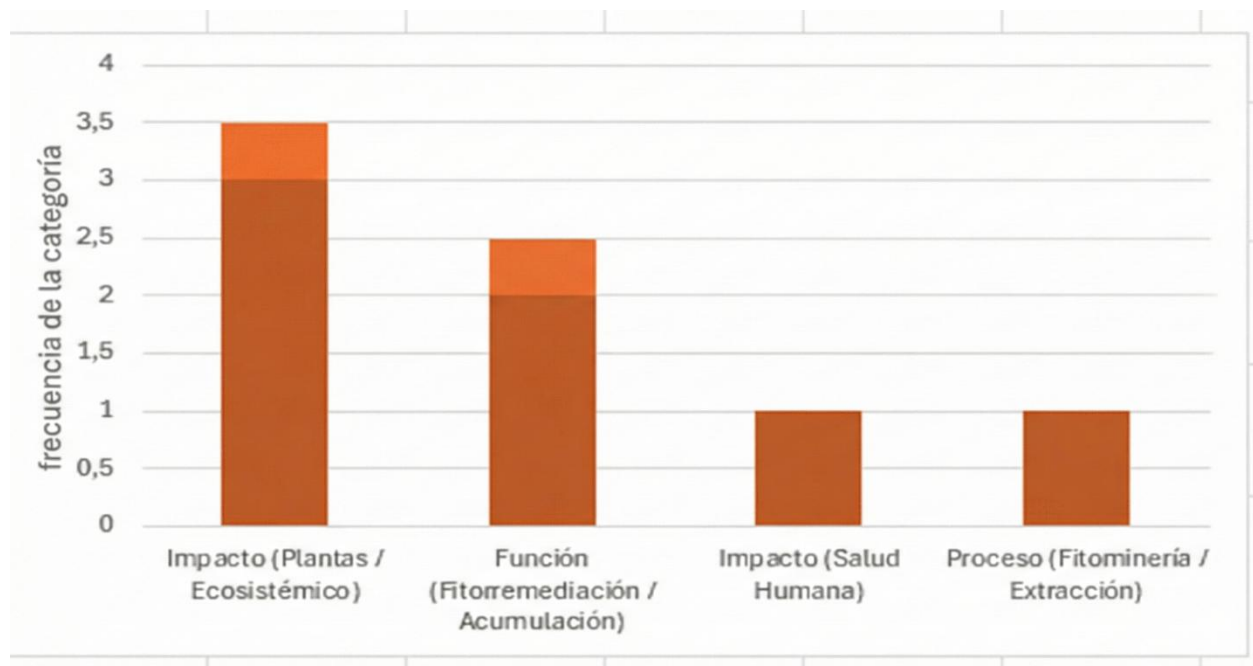
están comiendo la huerta se puede saber si se deben ahuyentar o quedar si están ayudando en algo

Nota. La tabla muestra las diferentes respuestas de los insectos que afectan la huerta escolar.

Como podemos notar, el primer grupo logró captar la idea de que solo debían proponer una cantidad de especies que se alimentan de las plantas de la huerta, los otros se fueron más hacia posibles soluciones para evitar la depredación de las plantas. En esta fase el maestro proporciona una aclaración sobre la formulación de hipótesis para lograr un mejor desarrollo de este, puesto que cuando los estudiantes evidencian términos alejados de la ciencia, es necesario abordarlos de manera efectiva y lograr que se comprendan de la mejor manera (Eisenkraft, 2005).

Figura 16

Plantee dos hipótesis para la pregunta problema del grupo.



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de las categorías conceptuales identificadas en el análisis de las respuestas de los grupos las hipótesis planteadas.

Ahora veamos, como en la figura 16 cuando se les pidió a los estudiantes la elaboración de una hipótesis estas fueron relacionadas en diferentes ideas de las cuales sobresalen en un 23% el impacto de la relación plantas- ecosistema, seguido de un 16% en torno a la función de fitorremediación y acumulación. Luego de eso en un menor porcentaje, más exactamente 6.6% se tuvo en cuenta el impacto en la salud y los procesos de Fito minería y extracción lo cual refleja el interés de los estudiantes por involucrar el concepto de las plantas hiperacumuladoras con situaciones de la vida cotidiana.

Por último, para lograr realizar la hipótesis de trabajo, el maestro presenta un cuestionario de trabajo con una definición que permite una mejor comprensión de la idea, tal y como se describe en el análisis anterior. Como resultado, se tiene lo siguiente:

Tabla 3.

Hallazgos Clave Reportados por Grupo de Estudiantes

Grupo	Hipotesis planteadas en torno a las preguntas problema sobre plantas hiperacumuladoras.
1	<i>1. Se evidencia que efectivamente estas plantas acumulan metales pesados. 2. Se puede extraer metales con la utilización de estas plantas</i>
2	<i>1.Los metales pesados afectan de mayor o menor manera a los diferentes tipos de plantas. 2. ¿Qué tipos de plantas son afectadas por los metales pesados?</i>

- | | |
|---|--|
| 3 | <i>1) Los metales pesados afectan el ecosistema de las plantas acumuladoras debido a que las plantas no logran absorber los nutrientes necesarios. 2) Los metales pesados, generan cierta intoxicación en el cuerpo, causando daño a diversos órganos, modificando o dificultando la memoria, pensamiento y comportamiento, por lo tanto, todo ello dependerá de la cantidad y tipo de metal que reciba.</i> |
|---|--|

Nota. La tabla resume las principales hipótesis generadas por cada grupo de trabajo durante la investigación.

Analizando los resultados con la rúbrica de evaluación ABI la cual está estructurada de la siguiente manera:

Figura 17

Rubrica de evaluación Aprendizaje basado en la indagación.

RÚBRICA DE EVALUACIÓN APRENDIZAJE BASADO EN LA INDAGACIÓN

Subhabilidad	Puntuación			
	1	2	3	4
Interpretación del problema	La formulación del problema no se relaciona directamente con el tema a investigar	La formulación del problema está de acuerdo con el tema, pero no es suficientemente claro.	La formulación del problema es clara, se relaciona con el tema, pero requiere mayor originalidad.	La formulación del problema es clara, se relaciona directamente con el tema y fue realizada por los estudiantes
Observación	No se realizaron observaciones	Se hacen observaciones incompletas del trabajo realizado	Se realizaron observaciones importantes, pero aún son parciales del trabajo	Todos los aspectos importantes del trabajo fueron observados satisfactoriamente
Formulación de hipótesis	No se presentan hipótesis	Se hacen hipótesis, pero no están en línea con la pregunta de investigación	Hizo una hipótesis de acuerdo con la pregunta de investigación, pero falta delimitación	Hizo una hipótesis que es apropiada para la pregunta de investigación
Diseño Experimental	Experimento diseñado con la ayuda del profesor	Experimento diseñado, pero no está de acuerdo con la formulación de la hipótesis	Experimento diseñado de acuerdo con la formulación de la hipótesis, pero la descripción del procedimiento es incompleta.	El experimento diseñado de acuerdo con la formulación de la hipótesis es adecuado, y la descripción del procedimiento es completa.
Uso de materiales y equipos	Seleccionó todos los materiales y equipos de manera poco apropiada, lo que requirió la ayuda de profesores y asistentes de laboratorio.	Seleccionó algunos materiales y equipos de manera adecuada, pero las usó con la ayuda de profesores y asistentes de laboratorio	Seleccionaron la mayoría de materiales y equipos de manera correcta y el grupo supo cómo usarlos de manera apropiada	Seleccionó y utilizó todos los materiales y equipos de manera adecuada con base en la pregunta de investigación.
Recopilación de datos	No hubo recopilación de datos	Datos recogidos, pero no son relevantes para la	Se recogieron algunos datos relevantes para la	Se recopilaron todos los datos relevantes para la

		formulación de la hipótesis	formulación de la hipótesis	formulación de la hipótesis
Análisis de datos	No se analizaron los datos	Analizó los datos parcialmente, explicando la teoría solo en parte	Analizó parcialmente los datos para probar la teoría	Analizó todos los datos para probar la teoría
Conclusión	No llegó a ninguna conclusión	La conclusión desarrollada no está conectada con la pregunta, ni la hipótesis	Algunas de las conclusiones desarrolladas están conectadas con la pregunta problema y la hipótesis	Todas las conclusiones desarrolladas están conectadas con la pregunta de investigación y la hipótesis
Colaboración en equipo	No todos los miembros del grupo participaron en la investigación	Algunos miembros del grupo participaron, pero con bajo compromiso	Algunos miembros del grupo participaron activamente y con compromiso	Todos los miembros del grupo participaron con compromiso de manera activa.
Comunicación	La comunicación entre los miembros del grupo era muy difícil y no había clima para el trabajo en equipo.	Los miembros del grupo se comunicaron de manera poco fluida.	La comunicación entre los miembros del grupo fue buena y se estableció una buena discusión con base en los resultados	La comunicación entre los miembros del grupo fue muy buena, se favoreció la discusión y el trabajo en equipo.

Nota: el grafico muestra los diferentes ítems de los cuales se compone la rúbrica de evaluación del enfoque ABI.

Ahora bien, se evidencia que el grupo 1 obtiene una puntuación de 4 ya que la hipótesis 1 es sobre cómo extraer, mientras que la hipótesis 2 "*Se puede extraer metales con la utilización de estas plantas*" es una afirmación directa y comprobable que responde a la pregunta planteada y por consiguiente La hipótesis 1 es un supuesto necesario para que la hipótesis 2 sea cierta. En el segundo grupo se le asigna una puntuación de 4 puesto que la hipótesis 1 propone una forma de ver lo propuesto en la pregunta problema al momento de comparar el efecto entre distintas plantas y por ende es una hipótesis apropiada y bien formulada. En un tercer momento se analizó las hipótesis del grupo 3 las cuales hablan sobre el *impacto* y la *consecuencia* de las afectaciones en los ecosistemas en este caso la huerta escolar pero no responden a la pregunta problema planteada.

Ahora bien, los estudiantes encaminaron sus hipótesis en torno a la posible relación entre los metales pesados, las afectaciones en seres vivos, y el efecto de los metales pesados en plantas hiperacumuladoras, destacándose el pensamiento crítico y la autorreflexión. Teniendo en cuenta lo anterior, los estudiantes fueron generando las hipótesis y afirmaciones en torno a las plantas hiperacumuladoras. De acuerdo con Anijovich y Cappelletti (2017) el maestro no debe proveer las respuestas, sino que debe fomentar en los estudiantes la búsqueda y reflexión sobre la validez de lo que están pensando frente a las diferentes situaciones de la vida cotidiana, en este caso el estudio bioinorgánico de plantas hiperacumuladoras. De acuerdo con lo anterior, Furman (2021) dice que se deben evitar situaciones que distorsionen el objetivo principal de la indagación, por lo que la exploración y la generación de hipótesis deben emerger del proceso reflexivo.

➤ **Etapas Explorar**

En la sesión 4, se comenzó a trabajar la fase **Explorar**, para ello se realizó una breve práctica de laboratorio la cual tenía como objetivo reconocer las habilidades de indagación en

el grupo de estudiantes, a partir de un escenario donde se ponen a prueba conceptos de química bioinorgánica. Para ello, se planteó un laboratorio que permitiese verificar la presencia de metales en algunos cereales, por ello en este caso se pidió a los estudiantes que trajeran por grupos de trabajo un paquete de cereales, luego pulverizarlos se coloca el contenido del cereal en una bolsa autosellado, mientras se les hace la pregunta: ¿sabían que los alimentos traen metales?, a lo cual los estudiantes revelaron que en las tablas nutricionales se dice que tienen una cantidad de estos que pueden favorecer al organismo. Del mismo modo, luego de realizar la pulverización se les indicó que acercaran un imán a la bolsa del cereal y si se evidenciaba movimiento lograríamos comprobar que gracias a la atracción electromagnética estaban presentes los metales.

Esto lo podemos contrastar, a través de diferentes estudios en los cuales se ha evidenciado la presencia de hierro el cual se cataloga como un metal pesado en diferentes alimentos, en este caso específicamente en los cereales, por ello según García (2012) en su estudio realizado análisis productos hechos a base de trigo en Bogotá, la cual es una especie de planta catalogada como hiperacumuladora específica y poseen realmente niveles de hierro lo cual se indica en sus etiquetas de composición. Otro estudio que puede corroborar y argumenta la finalidad de la práctica de laboratorio es el realizado por Pacheco (2010) en donde se investigó la “biodisponibilidad del hierro en los cereales que se venden en los supermercados y tiendas de barrio, a partir de un método in vitro para lograr saber cuánto de hierro realmente aprovecha el ser humano y como este lo beneficia. De igual importancia en un estudio se realiza explorar el contenido de algunos granos de cereal en búsqueda de hierro, para lograr comprobar lo necesario que es la nutrición humana y que normalmente podemos hallar en harinas y por ende el de cada día como lo expresa Marín (2012).

Los estudiantes a través de esta práctica fueron promoviendo el diálogo y la emisión de diferentes preguntas, para lograr un ambiente ideal para el desarrollo de las habilidades de resolución de problemas y toma de decisiones, al momento de enfrentarse a problemáticas (Einsenkraft, 2005). Consecuentemente, los estudiantes van comprobando si la ruta metodológica en el laboratorio era adecuada para comprobar la presencia de metales pesados en los alimentos, surgiendo ideas para mejorar el laboratorio como por ejemplo pensar si es necesario un imán con una mayor capacidad para lograr atraer partículas muchos más pequeñas, lo cual añadió escepticismo por saber si en realidad iban a evidenciar un fenómeno de electromagnetismo. En tal sentido Einsenkraft (2005) señala que los estudiantes deben tener un papel activo y protagonista a la hora de explorar, experimentar, cooperar e intentar llegar a la comprobación de las hipótesis frente a los fenómenos allí presentes.

➤ **Etapas Explicar.**

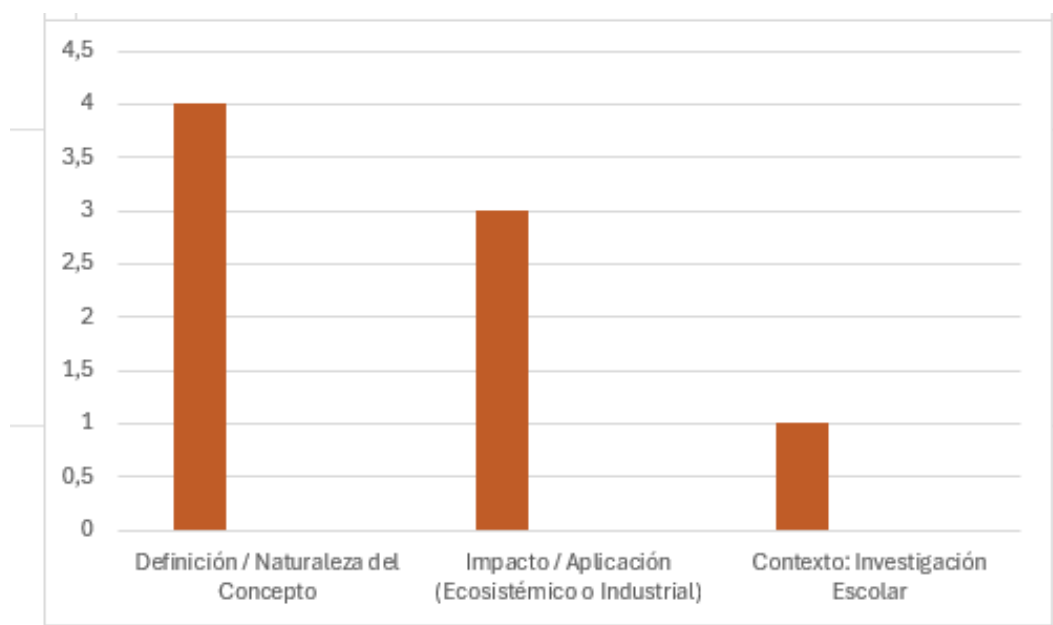
En relación con la cuarta fase denominada **Explicar**, el resultado observable de aprendizaje se centra en interpretar la problemática de estudio a partir de unos referentes teóricos de Química Bioinorgánica y plantas Hiperacumuladoras. Para ello el maestro abre un espacio de diálogo en el cual se logran interrelacionar los diferentes, al mismo tiempo que los estudiantes tienen un rol activo, frente a dudas, aportes y sugerencias. Al respecto, Eisenkraft (2005) afirma que *“el docente desempeñará un rol activo al alentar a los alumnos a expresar el concepto utilizando sus propias palabras”*. *Promoverá un ambiente de intercambio en el que los estudiantes se sientan libres de solicitar aclaraciones y justificar sus puntos de vista. Posteriormente, el educador introducirá de manera formal las definiciones y los términos científicos pertinentes, consolidando así las bases conceptuales. Además, se dedicará a evaluar el crecimiento en la comprensión de los estudiantes, asegurándose de que el proceso*

de explicación y discusión haya contribuido a su aprendizaje progresivo” (Eisenkraft, 2005).

La importancia y relevancia del diálogo de saberes queda evidenciada en un cuestionario donde los estudiantes dan a conocer sus ideas sobre la temática científica, en torno a las siguientes preguntas.

Figura 18

¿Qué Conceptos se tienen sobre Química bioinorgánica?



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de las categorías conceptuales identificadas en el análisis de las definiciones de los grupos sobre Naturaleza, Impacto ecosistémico e investigación escolar.

Para este caso se quiso saber que ideas tenían los estudiantes sobre química bioinorgánica a lo cual se tuvo un 26% de ideas en la que los estudiantes trataban de definir el concepto a partir de su naturaleza más que por conocer el concepto académicamente. Mientras que un 20% de respuestas muestran la relación que hacen los estudiantes de la química bioinorgánica con

algunas aplicaciones en situaciones ecosistémicas e industriales. Además, a eso aparece una categoría donde se refleja la necesidad de investigación escolar en un 6.6% de las ideas obtenidas de parte de los estudiantes. Ahora bien, en la siguiente tabla se observará lo expuesto por los grupos de estudiantes:

Tabla 4

Conceptos Sobre Química Bioinorgánica Recopilados por Grupo

Grupo	Conceptos Sobre Química Bioinorgánica
1	<i>“Estudia los compuestos inorgánicos de manera química, por ejemplo ¿De qué están hechos?, además, es una ciencia joven que abarca temas revolucionarios para la vida, industria y sociedad”</i>
2	<i>“El estudio de organismo sin vida para la identificación y su afectación en diversos organismos, que la vida de un estudiante de un colegio este puede ser objetivo de la investigación y observación de las diversas causas se pueden presentar en la zona.”</i>
3	<i>“1) Es la explicación y el funcionamiento de los elementos inorgánicos en los ecosistemas.”</i>

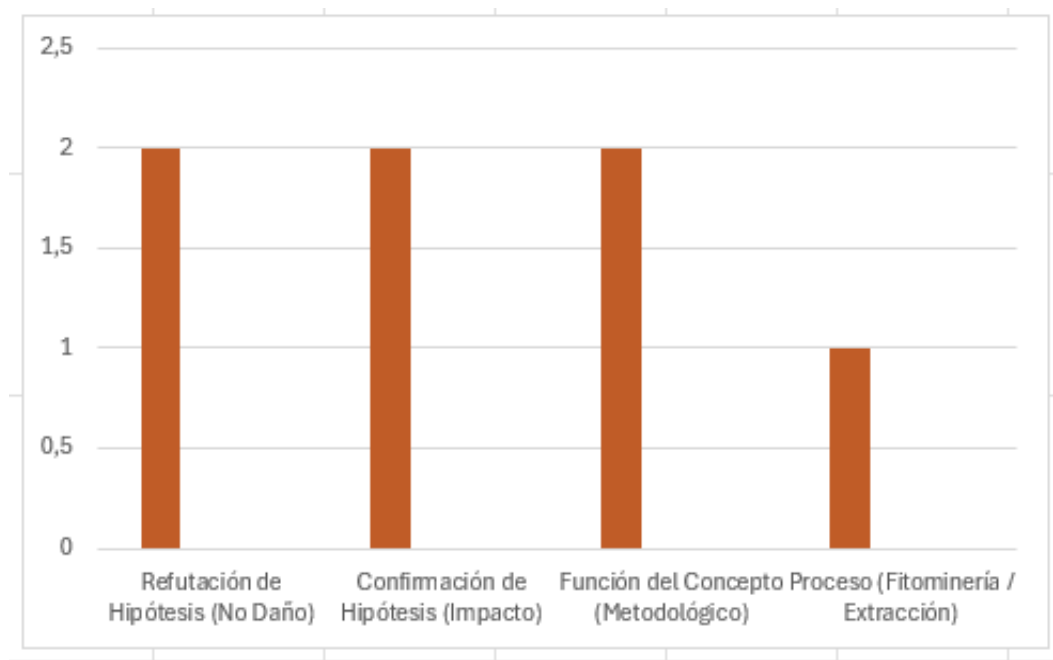
Nota. Conceptos de los grupos de estudiantes sobre Química Bioinorgánica.

Aquí se identifican las diferentes ideas que los estudiantes lograron generar, teniendo en cuenta las explicaciones que dan frente al tema visto. En ese orden de ideas, se aprecia la manera como los estudiantes relacionaron las ideas de inorgánica con diferentes procesos de la vida intentando explicar los propósitos de la Química Bioinorgánica.

Si bien los estudiantes expresan conocimientos, se necesita avanzar en la modelización de los contextos y como lo expresa Adúriz-Bravo (2005) existen los “*modelos científicos escolares*” en donde se relacionan las ideas construidas con los objetos del mundo y así mismo logrando que el estudiante logre dar respuesta por medio de las habilidades de indagación que se van desarrollando.

Figura 19

¿Cómo pueden llegar a servir estos conceptos para poder comprobar su hipótesis de trabajo?



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de las categorías conceptuales identificadas en el análisis de cómo los grupos utilizaron los conceptos para validar o refutar sus hipótesis.

Para la comprobación de las hipótesis planteadas por los grupos de estudiantes, se preguntó sobre lo que debían tener en cuenta, a lo cual un 13% señaló la importancia de realizar procesos de refutación de las hipótesis, en un mismo porcentaje las opiniones reflejaban la necesidad de confirmar la hipótesis, pero por medio de los conceptos trabajados. En contraste, se puede notar cómo se encontraron ideas que no daban razón a lo trabajado, por ello un 6% tocaba el tema de procesos de fitominería y extracción.

Al momento de construir nuevos conceptos es importante que sean útiles para generar soluciones en los diferentes contextos en los cuales se necesiten. Como lo dice Eisenkraft (2005) el maestro debe incentivar la capacidad de comprender y contextualizar los conceptos para ponerlos a prueba. En ese orden de ideas, en el ejercicio de autorreflexión los estudiantes sugieren evidencias sobre la importancia de reconocer los conceptos científicos para entender mejor los fenómenos en torno a la hiperacumulación de metales pesados, a partir de organismos como las plantas.

En esa transición de conocimientos previos a conocimientos ya más elaborados lo importante es que el proceso de autorreflexión y cuestionamiento continúe y así permitir a los estudiantes desarrollar sus propias ideas en torno a la situación que les ha llamado la atención: las plantas hiperacumuladoras y los metales pesados. En consonancia con Adúriz-Bravo (2005), la relevancia de la indagación radica en su capacidad para propiciar el cambio conceptual. Este proceso busca la evolución de los “modelos científicos escolares”, permitiendo la articulación de ideas para comprender los fenómenos desde una perspectiva más holística.

Cuando se habla de cambio conceptual se deben tener en cuenta diferentes situaciones las cuales pueden llegar a ser síntomas erróneos ya que no todo se puede catalogar como un nuevo aprendizaje y mucho menos si posiblemente hablamos solo de estudiantes adoptando un discurso

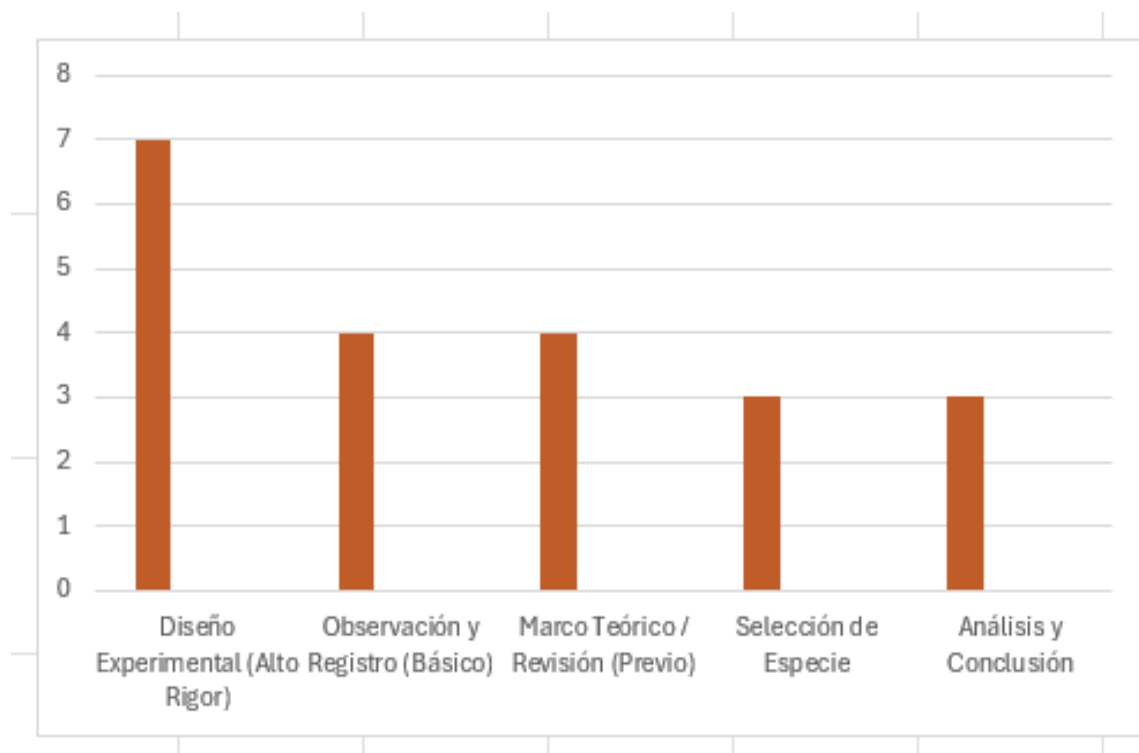
comunicado por el maestro. Lemke (1990) dice que todo cambio debería ser genuino y no seguir patrones adoptados del maestro.

➤ **Etapas Elaborar.**

En cuanto a la fase **Elaborar** se trabajaron 3 sesiones en las cuales los estudiantes lograron poner en práctica los diferentes conceptos e ideas en relación con la metodología trabajada. Por ello, durante la sesión 8, la cual tuvo por objeto planear diseños experimentales detallados de acuerdo con la formulación de hipótesis, se observaron avances en materia de interacción entre los conceptos y las prácticas que se llevan en la huerta.

Figura 20

¿Qué va a realizar para lograr comprobar la hipótesis planteada en las sesiones



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de las categorías conceptuales identificadas en el análisis de las metodologías propuestas por los grupos.

Entrando un poco en lo procedimental en la práctica del trabajo realizado en el semillero los estudiantes debían pensarse que métodos o procesos de experimentación debían realizar para llevar a cabo el estudio bioinorgánico, en ese orden ideas, un 46% de las opiniones los estudiantes tocaban el tema de diseño experimental y el ¿cómo se podría llegar a realizar?, luego de eso aparece en igualdad de un 4% la necesidad de realizar observaciones y tener en cuenta las referencias teóricas para lograr entender procesos. En consecuencia, de esto los estudiantes en un 26% de sus opiniones expresan la necesidad de escoger una especie de planta hiperacumuladoras y por consiguiente se debe realizar un análisis y llegar a conclusiones del proceso. Por consecuente los grupos de estudiantes plantearon los siguientes diseños experimentales:

Tabla 5.

Propuestas de Diseños Experimentales por Grupo

Grupo	Diseños Experimentales.
1	<i>“1. Elegir una planta a investigar 2. Cada sesión tomar fotos y a continuación comparar. 3. Anotar especulaciones de lo que se trate la hipótesis 4. Organizar y mostrar”</i>
2	<i>Para poder comprobar dicha hipótesis, primeramente, debemos conocer los métodos y procesos de extracción caseros para poder cumplir el objetivo, debemos tener conocimiento de la planta a trabajar, hacer un análisis de esta y conocer todo su proceso de acumulación para tener un saber previo.”</i>
3	<i>Definir las variables (concentración de metales pesados y respuesta de las plantas). Seleccionar el ecosistema afectado y las especies de plantas hiperacumuladoras. Prepare el suelo con concentraciones específicas de metales pesados. Medir el</i>

crecimiento de las plantas y tomar muestras para analizar la concentración de metales pesados en las plantas. Observar signos de toxicidad o estrés. Realizar el análisis estadístico de los datos. Concluir si las plantas hiperacumuladoras pueden absorber metales pesados sin sufrir daños significativos, confirmando o refutando la hipótesis.

Nota. Las descripciones presentadas son las respuestas textuales recopiladas de cada grupo de trabajo en torno a que van a realizar para comprobar sus hipótesis a partir de un acercamiento a diseños experimentales.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores y a partir de la rúbrica de evaluación ABI (Ver anexo L), en un primer momento el grupo 1 tuvo una puntuación de 3 ya que, si bien se mencionan hipótesis, el procedimiento que describe como tomar fotos y comparar no tiene un fundamento y no posee variables, controles o métodos de medición claros. Por lo tanto, el procedimiento le falta elaboración. En lo que se refiere al grupo 2 en donde se puede poner que analizar que no describe un diseño experimental en absoluto. Lo que describe es el marco teórico o los pasos previos a la investigación y por ende no hay un procedimiento experimental, por lo tanto, no se puede considerar un diseño de acuerdo con la hipótesis. Por el contrario, al grupo 3 se le asignó una puntuación de 4 ya que esta respuesta define claramente los componentes de un experimento en donde se encuentra la definición de variables, preparación del experimento, un procedimiento de medición claro como medir el crecimiento de las plantas, tomar muestras y observar de alguna manera la toxicidad, además a eso encontramos un ejercicio de análisis de datos lo cual llevara a unas conclusiones.

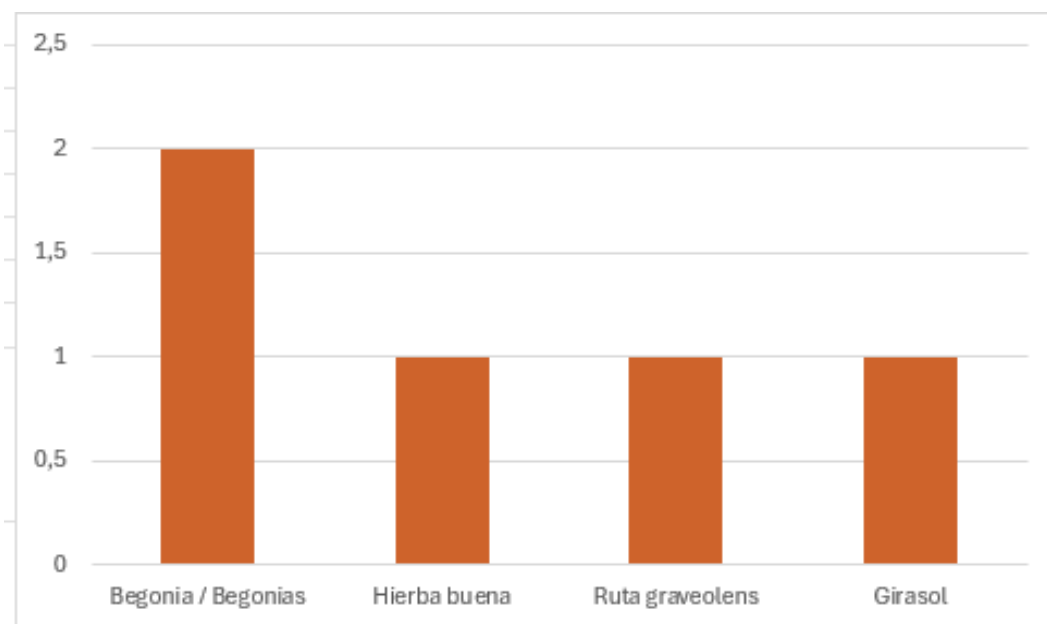
Si bien los estudiantes en sus diferentes respuestas demuestran un proceso de seguimiento a las plantas por medio de fotografías y mediciones, es posible que falten descripciones

cuantitativas, para llegar a un pensamiento más avanzado. De acuerdo con Einsenkraft (2005) *el elaborar* fomenta en los estudiantes el desarrollo de una lógica razonable y así mismo promueve la formulación de soluciones prácticas en pro de un mejor contexto. De esta manera, es necesario retomar esas ideas en las cuales los estudiantes expresaban el interés por las situaciones sociales que emergen alrededor de esta situación científica.

En el momento que el estudiante empieza a sentir la necesidad de desarrollar una idea sociocientífica, comienza a percibir nuevos niveles de pensamiento, en ese momento o cuantitativo empieza a cruzarse con lo cualitativo para hacerse una idea del por qué ocurren las situaciones. Por ejemplo, Sadler (2004) dice que cuando no hay una única respuesta, se requiere de lo que él llama “*Razonamiento informal*” el cual responde a la integración de la ciencia con aspectos de corte social tales como la ética, la política y en este caso la problemática de salud pública en torno al consumo de metales pesados como factor de contaminación y el papel de organismos como las plantas hiperacumuladoras. Adúriz-Bravo (2005) señala que la realidad depende de la lógica razonable y los datos van de la mano con el rigor científico. En este sentido, los estudiantes deben entender que los argumentos deben ser sustentados con base en evidencias, en ese orden de ideas sus diseños experimentales debían responder y tener estas cualidades que permitan expresar los resultados.

Figura 21

¿Qué especies de plantas de la huerta va a trabajar?



Nota El gráfico de barras muestra la frecuencia de las especies de plantas mencionadas por los grupos en su selección para el proyecto.

Teniendo en cuenta la necesidad de escoger una especie de trabajo los estudiantes reflejan en la figura 20 que un 13% de las ideas era trabajar con la especie Begonia (*Begonia rex*) mientras que un 6,6% quería realizarlo con Hierbabuena (*Mentha spicata*), Girasol (*Helianthus annuus*), lo cual permite evidenciar que los estudiantes tenían unos conocimientos sobre las especies de la huerta y que permitiese evidenciar de la mejor manera el proceso de hiperacumulación.

En toda investigación siempre se hace necesario tener en cuenta el objeto de estudio, en este caso se hizo necesario que cada grupo escogiese una especie de planta para el desarrollo del trabajo de laboratorio. Según Einsenkraft (2005) la consolidación de los conceptos por parte del estudiante permite el desarrollo de habilidades que promueven la toma de decisiones y el fomento de la creatividad. Así pues, en el momento que se les pide a

los estudiantes registrar su especie escogida, ellos toman la decisión de registrar de la manera más pertinente su actividad.

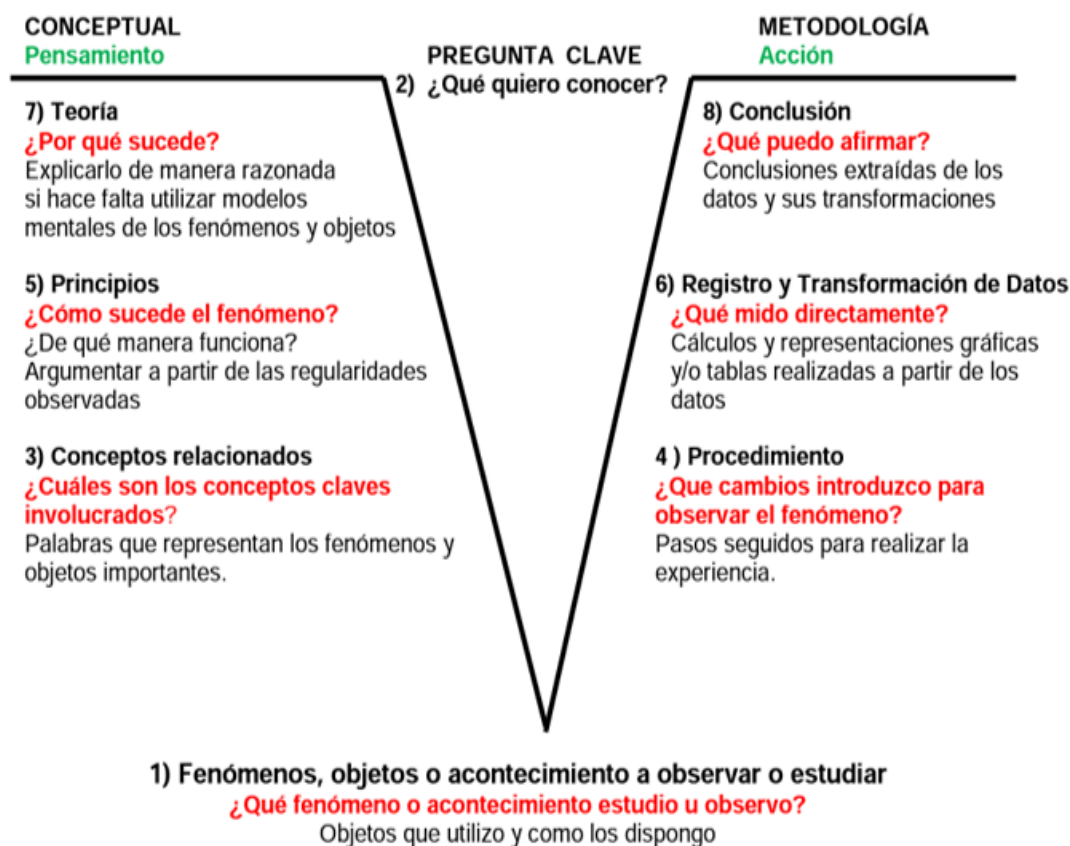
De este modo se hace necesario para la investigación hablar un poco sobre las plantas con las cuales se realizaron las prácticas de laboratorio que son Hierbabuena (*Mentha spicata*), Girasol (*Helianthus annuus*) y Begonia (*Begonia rex*), las cuales según Bhat et al. (2025) son especies de plantas hiperacumuladoras de metales pesados como cadmio, manganeso, hierro, entre otros. Asimismo, Haifa Group (2020) sostiene que el hierro es el nutriente más importante para la producción de la clorofila en estas especies de plantas hiperacumuladoras ya que sin hierro, las hojas no pueden producir este pigmento, lo que resulta en el síntoma conocido como "*clorosis férrica*" (hojas nuevas amarillas con venas verdes), por ende, también es fundamental para mantener la estructura de los cloroplastos y participa en muchos procesos enzimáticos y metabólicos vitales. A raíz de esto y diferentes procesos fisiológicos de las plantas es que la hiperacumulación es denominada como una adaptación a los cambios en el suelo que se han evidenciado a través de las era geológicas y respondiendo en este caso a esos metales pesados que muchas veces son agentes contaminantes para el ser humano.

El escoger una especie de planta hiperacumuladora para realizar su investigación se está fomentando un rol activo y generando una imagen de investigador en los estudiantes (National Research Council, 2000), todo esto a partir de sus nuevos conceptos los cuales le permiten tomar decisiones amparadas en la ciencia. En este caso los participantes escogían la planta por diferentes factores, entre ellos científicos sus gustos frente a colores, formas y aromas, lo cual en cierta manera sigue respondiendo a un trabajo autónomo en donde prevalece su deseo por conocer sobre un contexto determinado.

Con relación al trabajo que se desarrolla en la secuencia de **Elaborar**, durante la sesión 9 se dio a conocer a los estudiantes el instrumento V-Heurística el cual es una propuesta de presentación de informe y resultados de las prácticas de laboratorio, desarrolladas en el departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional.

Figura 22

Formato V-heurística.



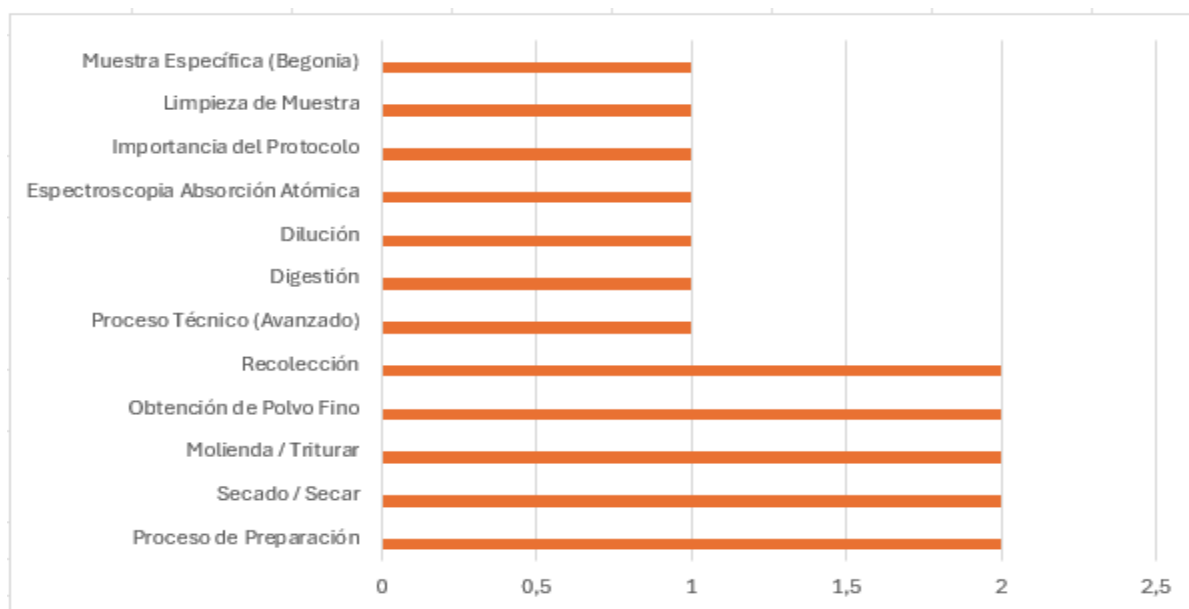
Nota. En este gráfico se dan a conocer los ítems que componen la V-heurística según Novak y Gowin (1988) donde los estudiantes plasmaron sus resultados obtenidos a través de las prácticas de laboratorio.

En lo que respecta a la sesión 10, esta etapa se convirtió en el momento clave para preparar la salida pedagógica, por ello se tenía como resultado observable de aprendizaje

planear adecuadamente los diferentes momentos de la salida pedagógica-experimental teniendo en cuenta materiales y procesos, además de generar un acercamiento de trabajo de laboratorio a una universidad, en donde se lograrían poner a prueba los diferentes conceptos trabajados. Las salidas pedagógicas permiten que el estudiante se enrole en entornos de la vida cotidiana, además de desarrollar habilidades como la creatividad que en el contexto de la hiperacumulación de metales pesados es fundamental para desplegar habilidades de indagación.

Figura 23

¿Cómo se preparan las muestras vegetales para dicho proceso?, ¿Qué materiales necesitamos?



Nota. El gráfico de barras ilustra la frecuencia de la información proporcionada por los estudiantes en torno a la preparación de las muestras para las prácticas de laboratorio.

Teniendo en cuenta la gráfica anterior se puede notar que del grupo de estudiantes del semillero el 13% dijo que se necesitaba recolectar, triturar y secar en el proceso de preparación las diferentes muestras de las especies de plantas hiperacumuladoras. Mientras que

un 6.6% dijo que en las begonias se debían tomar en cuenta específicamente partes de las begonias, limpieza de las muestras, dilución y un proceso técnico más avanzado como la espectroscopia de absorción atómica. Si bien los estudiantes tenían algunos conocimientos de lo que se debía realizar en lo relacionado con la toma de muestras, el análisis de elementos como metales pesados se debe llevar a cabo en microondas o placas calefactoras. Luego de eso se pesa una cantidad máxima de 0.5 g de muestra seca obtenida de las plantas y se le añaden los reactivos (ej. 3 ml de ácido nítrico concentrado y 2 ml de peróxido de hidrógeno). Por consiguiente, el horno debe alcanzar una temperatura de al menos 200°C por un tiempo suficiente para asegurar la descomposición completa de la muestra orgánica y así lograr por medio de un reactivo comprobar la presencia del metal pesado en específico.

Es importante que los estudiantes también tengan claros los objetivos y la relevancia de asistir un espacio diferente al que ofrece la institución, ya que como lo expresa López y Gutiérrez (2020), una salida pedagógica no puede convertirse en un espacio de distracción o que se pierda el sentido académico si no que debe promover el desarrollo de las habilidades y competencias de los estudiantes, por ello en esta sesión se aclararon los objetivos y logística que se desarrolló en la práctica de laboratorio teniendo en cuenta los protocolos de laboratorio en donde se encontraban los materiales y procedimientos para dos prácticas.

Por otra parte, según Sanmartí (2007) una salida permite que el estudiante logre una adecuada gestión de recursos y experiencias a partir de la autorregulación. En el momento que se imparten los protocolos de laboratorio teniendo en cuenta el rigor académico, se procura que los estudiantes logren establecer procesos de experimentación.

Así mismo, en este espacio se hizo un ejercicio académico en torno a la especie escogida, enfocándose en ‘¿qué partes de las plantas acumulan la mayor cantidad de metales

pesados? Y así mismo poder obtener las muestras que posteriormente se llevaron a la universidad.

Por consiguiente y luego de realizar la preparación previa a la salida pedagógica, se procede en la sesión 11, a aplicar los diferentes conocimientos trabajados y habilidades de indagación desarrolladas en torno a la Química Bioinorgánica en diferentes situaciones experimentales y de la vida cotidiana. Por esta razón, el grupo de estudiantes se dirige a la Universidad Pedagógica Nacional más exactamente a los laboratorios del Departamento de Química, allí se les explica a los estudiantes los diferentes protocolos que se deben tener en cuenta para acceder a las prácticas de laboratorio lo cual es pertinente en el momento de dar rigurosidad al trabajo científico que se está realizando, lo cual puede sustentarse, según Einsenkraft (2005) con la construcción de conceptos, entendiendo que para lograr un aprendizaje es necesario el manejo del espacios de experimentación.

En concordancia con lo anterior, los estudiantes realizaron dos prácticas de laboratorio propias del seminario de Teorías Químicas I lo cual se hace necesario en un enfoque de ABI ya que en palabras de Domènech-Casal (2019) la praxis de los estudiantes debe transformarse en actividades de investigación que permitan el diseño de modelos a partir de los diferentes procesos, en este caso de los procesos de aprendizaje 7E y así ir explicando el mundo. De nada sirve que el estudiante logre desarrollar habilidades si no sabe ponerlas en practica para solucionar situaciones de la vida cotidiana por ello que mejor que los procesos experimentales en donde logren poner a prueba sus capacidades y luego generar procesos reflexivos de mejora o aprobación de lo trabajado.

En un primer momento, los estudiantes se relacionaron con la siguiente pregunta problema: ¿cuál es la crema dental que protege mejor los dientes?, todo con el fin de que los

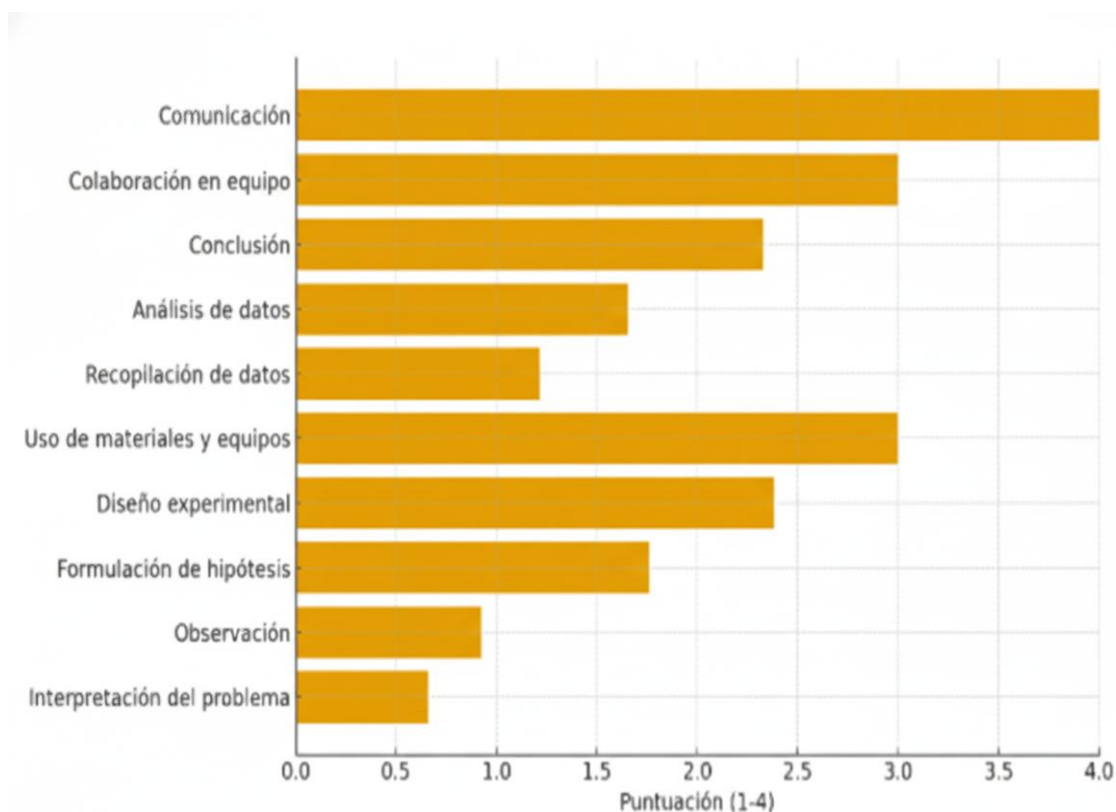
estudiantes vivencien conceptos de la química bioinorgánica y como los compuestos que se llamamos por así decirlo sin vida tienen un papel fundamental en los procesos fisiológicos de los organismos como lo son los procesos de hiperacumulación de las plantas. Con esta práctica los estudiantes también lograran ver como algunos compuestos inorgánicos que componen la crema dental pueden llegar beneficiar estructuras de los organismos, en este caso la simulación de estructuras dentales por medio de las conchas de mar. Algo importante aquí que se puede evidenciar es la manera como los estudiantes van a estar expuestos a una situación de su vida cotidiana en la cual se aplican conceptos de Química Bioinorgánica, pero a su vez, están generando ideas reflexivas sobre la importancia de los cosméticos. Al respecto, Einsenkraft (2005) señala que el maestro debe proporcionar situaciones en este caso el laboratorio que permitan una mejora en el aprendizaje, además de que los estudiantes puedan interiorizar lo trabajado de una manera holística.

En un segundo momento, los estudiantes por grupos de trabajo realizaron una práctica de laboratorio en la cual se evidenció la presencia de hierro en las especies de plantas que se trabajaron. En ese orden de ideas se realizó la explicación en el laboratorio para que los estudiantes comprendieran el diseño experimental, el cual permitió que lograran llevar a cabo esas comprobaciones en torno a lo planteado durante las anteriores secuencias de aprendizaje. Durante la práctica los estudiantes pusieron a prueba algunas habilidades de indagación, lo cual se podía evidenciar al momento que realizaban preguntas, generaban dudas, hacían afirmaciones sobre la presencia de los metales, contrastaban lo explicado en el semillero con lo que iban presenciando y cuando compartían las ideas con los integrantes del grupo. (Esta información se desarrollará de mejor manera en la categoría secuencia Evaluar en donde encontraremos los resultados, datos, porcentajes y afirmaciones de los estudiantes)

➤ **Etapas Evaluar.**

A continuación, tenemos un momento clave en el desarrollo del aprendizaje por indagación y es el momento en el cual se realiza la fase de evaluación, la cual se llevó a cabo durante la sesión 12, en donde se tenía por objetivo lograr evaluar las habilidades de indagación desarrolladas por los estudiantes, en relación con los conocimientos construidos y la manera de aplicarlos. Según Eisenkraft (2005) en esta fase el maestro realiza una evaluación compleja de lo trabajado en el semillero, utilizando actividades que logren formar y aportar al estudiante. Teniendo en cuenta lo anterior, la evaluación final se hizo por medio de dos instrumentos de recolección de información: los formatos de V-heurística que desarrollaron los estudiantes y un formulario tipo escala Likert.

Para el análisis de las V-Heurísticas realizadas por los grupos de estudiantes se utilizó una rúbrica de evaluación desde el aprendizaje basado en la indagación (ver anexo L) la cual se aplicó a dos de los grupos de trabajo. Para mayor claridad se tomó en cuenta por ejemplo el primer ítem “interpretación del problema” el cual se evaluó teniendo en cuenta los ítems ya mostrados anteriormente en este documento. A raíz de esto se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 24*V-Heurística grupo 1*

Nota. El gráfico de barras muestra la puntuación promedio obtenida para cada subhabilidad evaluada.

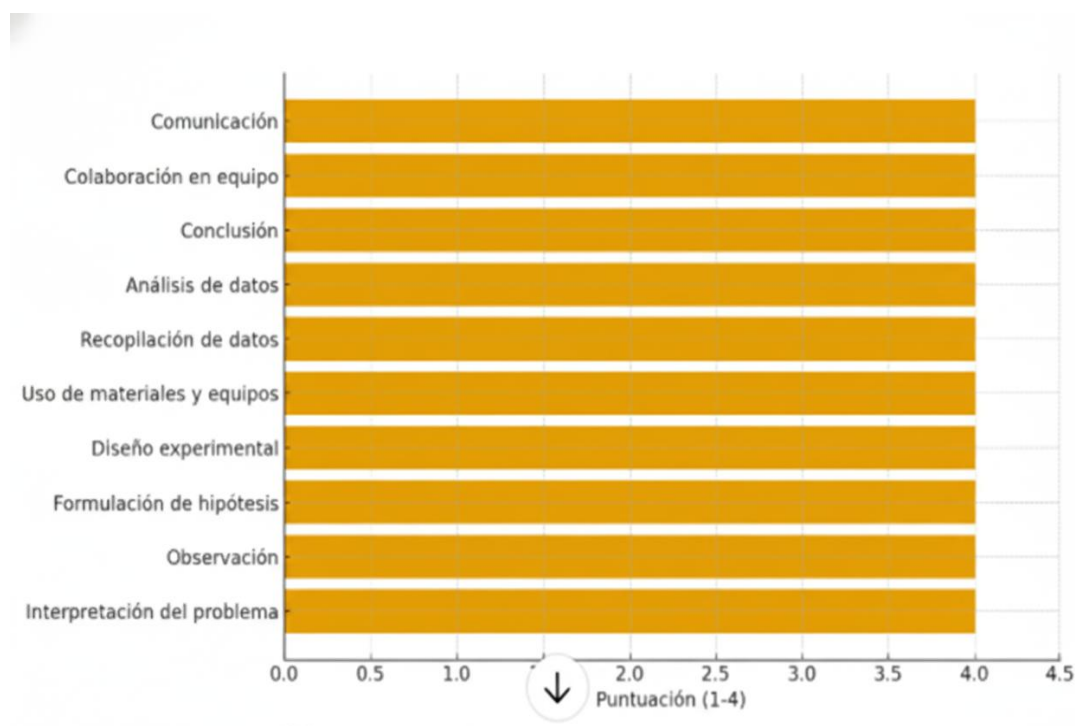
En esta fase de las 7E's se logra evidenciar que los estudiantes identifican el tema de la absorción de metales pesados y su relación con la contaminación ambiental. Retomando a Einsekraft (2005), estos temas permiten a los estudiantes demostrar una comprensión de las formas de argumentar y aplicar los conocimientos adquiridos, más allá de las opiniones o las representaciones sociales que emergen del conocimiento cotidiano. Por otra parte, se nota un avance en la conformación y problematización frente a una situación de la vida cotidiana para luego formular hipótesis de trabajo. En ese orden de ideas los estudiantes lograron reconocer

algunos procesos realizados en la práctica de laboratorio, pero deben ir desarrollando niveles de descripción más detallados que permitan un mejor dominio y aprendizaje, además de involucrarse de mejor manera con los materiales, formas de recolectar datos y argumentación de sus resultados.

Ahora bien, con respecto al segundo grupo tenemos lo siguiente:

Figura 25

V-Heurística grupo 2



Nota. El gráfico de barras muestra la puntuación obtenida para cada subhabilidad evaluada en el trabajo de metales pesados.

En la sesión 13 se realizó el proceso de autoevaluación en el cual se evidenciaron las percepciones y actitudes de los estudiantes frente a la metodología del semillero de Bioquímica. Por ello, cada uno de los 15 estudiantes del semillero diligenció una escala tipo Likert, la cual

evaluó sus percepciones, opiniones y actitudes teniendo en la siguiente escala: Totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, de acuerdo y totalmente de acuerdo arrojó los siguientes resultados y análisis. Teniendo en cuenta lo anterior los resultados y análisis son los siguientes:

Al momento de evaluar la secuencia de aprendizaje de enganchar se tuvo en cuenta la expresión *“El profesor me invita a recordar o expresar lo que ya sé sobre un tema antes de comenzar una nueva unidad”*, a lo cual los estudiantes respondieron que estaban totalmente de acuerdo en un 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 6.7%, de acuerdo 46.7% y totalmente de acuerdo 40%. Para la segunda expresión que es *“En clase puedo compartir mis ideas sin temor a equivocarme.”* Se obtuvo que en desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 6.7%, de acuerdo 40% y Totalmente de acuerdo 46.7%.

Para evaluar el proceso de la secuencia de aprendizaje elicitar, para ello se usó en un primer momento la siguiente expresión *“Las actividades iniciales me despiertan curiosidad por el tema.”*, a lo cual se obtuvo los siguientes resultados totalmente en desacuerdo 6.7%, de acuerdo 40% y Totalmente de acuerdo 53.3%. En un segundo momento se tuvo en cuenta la siguiente expresión *“Los ejemplos y preguntas del profesor me motivan a participar.”*, a lo cual los estudiantes respondieron que totalmente en desacuerdo 6.7%, Ni de acuerdo ni en desacuerdo 13.3%, De acuerdo 33.3% y totalmente de acuerdo 46.7%.

En consonancia con lo anterior en donde se realizó la evaluación de la secuencia de aprendizaje explorar, se tuvo en cuenta la siguiente idea *“Realizamos experimentos o actividades prácticas para descubrir conceptos”*, por consiguiente, los estudiantes contestaron que totalmente en desacuerdo 6.7%, de acuerdo 26.7% y totalmente de acuerdo 66.7%. Luego en la segunda premisa *“Tengo oportunidad de trabajar en grupo para explorar diferentes ideas.”*, lo

estudiantes expresaron que totalmente en desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 13.3% y 80% totalmente de acuerdo.

Evaluando el proceso de Explicar se propuso a los estudiantes las siguientes premisas. En un primer momento *“Después de experimentar, analizamos los resultados para comprender los conceptos.”*, a lo cual respondieron que totalmente en desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 6.7%, de acuerdo 20% y totalmente de acuerdo 66.7%. Por otra parte, se utilizó la afirmación *“el profesor me ayuda a relacionar mis observaciones con la teoría.”*, en donde se obtuvo que totalmente en desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 6.7%, de acuerdo 26.7% y totalmente de acuerdo 60%.

Ahora bien, en la secuencia de aprendizaje de elaborar, para lo cual se dio a conocer a los estudiantes la siguiente expresión *“puedo aplicar lo aprendido en nuevas situaciones o problemas.”*, por ello se encontró que en desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 26.7%, de acuerdo 40% y totalmente de acuerdo 26.7%. Luego de eso tenían la siguiente premisa *“las actividades me ayudan a relacionar la química con mi entorno cotidiano”* a lo cual contestaron que en desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 20%, de acuerdo 26.7% y totalmente de acuerdo 46.7%

Asimismo, obtuvieron las percepciones de los estudiantes en torno a la secuencia de aprendizaje de evaluar, la cual comenzaba con la siguiente idea *“El profesor me da oportunidades para autoevaluar lo que aprendí”*, en donde los integrantes del semillero señalaron que estaban en total desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 26.7%, de acuerdo 26.7% y totalmente de acuerdo 40%. Por consiguiente, se presentó la premisa de *“Comprendo los criterios con los que se evalúa mi desempeño en clase.”*, a lo cual se obtuvo que

estaban totalmente en desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 20%, de acuerdo 33.3% y totalmente de acuerdo 40%.

Por último, en la evaluación del proceso de aprendizaje de extender a los estudiantes se les presento la siguiente premisa “*Las actividades de clase me motivan a seguir aprendiendo fuera del aula*”, a lo cual contestaron que estaban en total desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 6.7%, de acuerdo 46.7% y totalmente de acuerdo 40%. en segunda instancia se preguntó a los estudiantes *sobre Puedo conectar los temas vistos con otros de diferentes asignaturas*”, en donde se obtuvo que en desacuerdo 6.7%, ni de acuerdo ni en desacuerdo 6.7%, de acuerdo 26.7% y totalmente de acuerdo 60%.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, los estudiantes tienen opiniones diversas frente a su rol como dinamizadores de conocimientos con base en el ABI, particularmente las ideas sobre la importancia del aprendizaje colaborativo e investigativo en los diferentes espacios que se trabajaron en el semillero.

Cabe resaltar que más del 80 % de los estudiantes logran verse inmersos en diferentes contextos y aplicando los diferentes conceptos y habilidades desarrolladas desde la indagación. En este caso podemos hacer referencia a Einsenkraft (2005), cuando afirma que en la reflexión de lo trabajado es importante interactuar en contextos donde se fomenten las habilidades de indagación, además de promover la formulación de argumentos críticos.

➤ **Etapas Extender**

La importancia de proyectar nuevas ideas y argumentos que prevalezca en el tiempo implica el uso y desarrollo de habilidades de indagación, por lo cual es necesario organizar las unidades de información de los estudiantes en categorías de análisis:

Tabla 6.

Escribe tus comentarios o sugerencias sobre las clases de química y que temas podríamos seguir abordando en el semillero de bioinorgánica

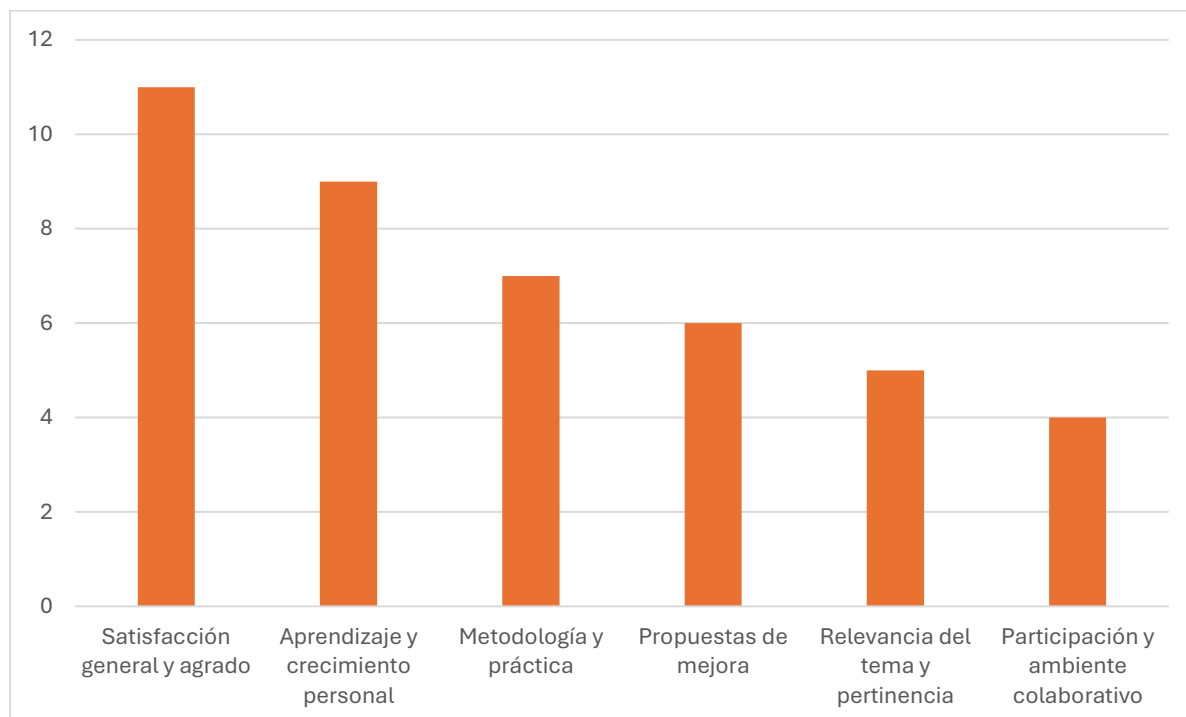
Categoría / Código	Descripción	Frecuencia
Satisfacción general y agrado	Opiniones positivas sobre el semillero, disfrute y motivación.	11
Aprendizaje y crecimiento personal	Valoración del conocimiento adquirido, relación con intereses personales o futuros.	9
Metodología y práctica	Referencias a actividades, prácticas, salidas o deseo de más trabajo práctico.	7
Propuestas de mejora	Sugerencias sobre horarios, temas, claridad de información o aspectos logísticos.	6
Relevancia del tema y pertinencia	Enfoque en temas de interés como metales pesados, plantas o arqueología.	5
Participación y ambiente colaborativo	Valoración del espacio como seguro, participativo y de confianza.	4

Nota. La tabla resume las categorías y la frecuencia de menciones identificadas en el análisis de las ideas a futuro y ¿para qué le puede servir lo aprendido en el semillero?, estas categorías son

adaptadas de Eisenkraft (2005) al momento de describir el proceso de aprendizaje Extender del modelo 7E.

Figura 26

Frecuencia de Categorías sobre las ideas a futuro y ¿para qué le puede servir lo aprendido en el semillero?



Nota. El gráfico de barras muestra la frecuencia de menciones de las categorías identificadas en el análisis de las ideas a futuro y ¿para qué le puede servir lo aprendido en el semillero?

La etapa final del trabajo con el semillero demostró la satisfacción de los estudiantes por el trabajo realizado. Según Eisenkraft (2005), cuando los estudiantes realizan el cambio y transferencia de conocimientos, emergen nuevos escenarios para la toma de decisiones.

Los estudiantes dan relevancia a las prácticas de laboratorio realizadas y a los espacios en los cuales se ha convivido. Como lo expresa Eisenkraft (2005) cuando los maestros deben

preparar un ambiente que permita al estudiante aplicar lo aprendido durante el desarrollo de habilidades de indagación, se fomenta una especie de confianza en sus habilidades para lograr solucionar situaciones y tomar decisiones adecuadas.

Así mismo, los estudiantes expresan la necesidad de revisar los temas en torno a futuras investigaciones que se lleven a cabo en el semillero, lo cual nos demuestra un desarrollo frente al pensamiento, en donde no solamente se da relevancia a los contenidos, sino que también a las posibles situaciones en las cuales se pueden llegar aplicar las habilidades de indagación adquiridas. Por último, los estudiantes dicen que es bueno tener un espacio donde puedan participar y sentirse en confianza para lograr explorar y poner en práctica sus habilidades, lo cual se hace necesario ya que en la institución los grupos pueden llegar a pasar de los 45 estudiantes.

9. CONCLUSIONES:

- En síntesis, el trabajo desarrollado en el semillero de química bioinorgánica a partir del modelo de aprendizaje basado en indagación de las “7E” de Einsenkraft (2005), llevó tanto a los estudiantes como al maestro a nuevos contextos educativos, los cuales permitieron evidenciar la importancia de algunos conceptos previos de los estudiantes y esa capacidad de resolución de situaciones desde de una serie de habilidades de indagación, que los integrantes del semillero han venido desarrollando a través de sus años escolares en la institución. Por consiguiente, a medida que se desarrollaba el trabajo en las diferentes secuencias de aprendizaje, se evidenció que los estudiantes iban transformando sus ideas, argumentos y formas de comprender alrededor del acercamiento bioinorgánico a las plantas hiperacumuladoras.

También se debe decir que hubo situaciones en las cuales los espacios de trabajo se vieron obstaculizados por cuestiones de tiempo por actividades institucionales que involucraban a la mayoría de los estudiantes del semillero.

- La investigación se estructuró en diversas etapas que facilitaron la identificación de puntos de articulación respecto a la gestión de las dinámicas de aula por parte del docente en formación. Por ello en un primer momento, el reconocimiento a partir de instrumentos de recolección de información (cuestionario de inicio) algunas ideas que fueron la base para el reconocimiento de las habilidades de indagación de los estudiantes, fue importante para hacerse una idea de cómo podría llegar a ser el diseño de la secuencia didáctica que permitiese el desarrollo y trabajo de las secuencias de aprendizaje del ABI “7E”. Teniendo en cuenta lo anterior, el trabajo realizado por los estudiantes se enfocó en obtener evidencias de un cambio de conocimientos y habilidades en los estudiantes, por ello los procesos de evaluación estuvieron

inmersos en las secuencias de aprendizaje, pero sobre todo en el momento de “Evaluar”, en donde no solamente se tuvo en cuenta un resultado en forma de documento: V-Heurística, sino que también fue relevante la autoevaluación de los estudiantes frente a sus procesos, logrando con esto un trabajo que diera evidencia del posible desarrollo y aprendizaje de habilidades en torno al ABI.

- Después de todo lo desarrollado, vivenciado y construido desde el aprendizaje Basando en Indagación a partir de las 7E, se hace necesario retomar 3 puntos claves. En un primer momento este enfoque pedagógico lleva al docente investigador a un proceso constante de reflexión en torno a las dinámicas con las que se está familiarizado, por ello en varios pasajes del trabajo que se realizó, se tenían ideas claras frente a las formas de enseñar, pero es ahí cuando el ABI 7E lleva al docente a repensarse las prácticas en torno a ¿Qué, Cómo y porque lo está haciendo? , entonces comienza ese proceso de reflexión donde tomar sentido las diferentes secuencias de aprendizaje.

- En un segundo momento, es importante entrar a mirar que las 7E's cada uno porta una serie de dinámicas las cuales se reflejan al momento de ir diseñando e implementando la secuencia didáctica. En ese desglose de ideas se pudo notar que los momentos del aprendizaje pueden llegar a ser flexibles y se puede recurrir a ellos en los momentos que así se requiera, puesto que muchas veces se hace necesario replantearse la preguntas problemas, las hipótesis, etc.

- En un tercer momento, la implementación de un aprendizaje basado en el ABI 7E ha demostrado en el trabajo realizado que puede llegar a despertar el interés de los estudiantes en el desarrollo de un pensamiento científico, especialmente en el contexto de la química bioinorgánica lo cual hace innovador la temática trabajada en el semillero. Además, se logró

llevar al estudiante a una situación de la vida real en donde se relacionaron los contenidos de metales pesados, contaminación y las plantas hiperacumuladoras. Este enfoque pedagógico no solo fomenta la participación de los estudiantes, sino que también les permite realizar esa transición de sus conocimientos previos a nuevas experiencias y conceptos, contribuyendo así a su formación integral y al fortalecimiento de las habilidades en indagación necesarias para dar solución a situaciones de la vida cotidiana.

- En lo que respecta al campo de la didáctica de las ciencias mediante el diseño, validación e implementación de una Secuencia Didáctica fundamentada en el modelo de las 7E (Eisenkraft, 2005), se logra demostrar la viabilidad de enseñar conceptos complejos de entorno a la Química Bioinorgánica en la educación media, logrando así generar un nuevo conocimiento didáctico por medio del estudio de las plantas hiperacumuladoras el cual funciona como un recurso articulador para replicar experiencias exitosas de aprendizaje ABI, permitiendo que los estudiantes realicen la transición de concepciones iniciales básicas hacia la construcción de modelos científicos escolares más elaborados a partir del desarrollo de habilidades. Asimismo, el uso de instrumentos como la V-Heurística dentro de la secuencia permitió validar el desarrollo progresivo de habilidades de indagación (secuencias de aprendizaje), estableciendo un precedente metodológico para futuras investigaciones que deseen abordar la interdisciplinariedad.

- Desde una perspectiva de innovación educativa y apropiación esta investigación logra situar la enseñanza de la química en un contexto social para la localidad de Ciudad Bolívar, abordando la problemática real de la contaminación por metales pesados derivada de la actividad de ladrilleras, minería y desarrollo urbano. Por ello, La conformación del "Semillero de Química Bioinorgánica" constituyó una estrategia innovadora que fortalece la

educación que se ofrece en la institución Buenavista IED Calasanz, transformando el rol pasivo del estudiante en uno de investigador activo capaz de utilizar el conocimiento científico para interpretar su cotidianidad. Además, a ello, este enfoque promueve la apropiación social del conocimiento al vincular la teoría química con soluciones prácticas fomentando en los estudiantes un acercamiento al pensamiento crítico frente a los desafíos ambientales de su entorno.

REFERENCIAS

Adúriz-Bravo, A. (2013). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? En C. P. de M. (Coord.), *Didáctica de las Ciencias Naturales: el caso de la Biología* (pp. 19-35). Editorial Educo.

Agudelo Gil, I.V. (2020) *Desarrollo de habilidades científicas a través de la formulación de proyectos de investigación escolar en energía química* [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional].

<http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/278/TO-19287.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ahedo Ruiz, J. (2018). ¿Qué aporta John Dewey acerca del rol del profesor en la educación moral? [Archivo PDF].

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwimpaTT4-mJAXUkmlQIHAT_EuMQFnoECBUQAw&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F6486244.pdf&usg=AOvVaw0_how1FjU-B45RDH9cqRUI&opi=89978449

Anijovich, R., & Cappelletti, G. (2017). *La evaluación como oportunidad*. Paidós.

Bhat BA, Rather MA, Bilal T, Nazir R, Qadir RU and Mir RA (2025). Plant hyperaccumulators: a state-of-the-art review on mechanism of heavy metal transport and sequestration. *Frontiers in Plant Science*. 16:1631378. DOI: 10.3389/fpls.2025.1631378

Baquero Rubiano, F. (2017). *Cómo funcionan las plantas, una estrategia de aula para desarrollar habilidades para la indagación* [Documento académico, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstreams/1685009a-64a1-4901-b02e-160ab2cc0c77/download>

Baran, E. (2000). *Hiperacumulación de metales: Aspectos químicos, biológicos y ambientales. Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [Archivo PDF]. <https://www.ancefn.org.ar/user/CONTINUACION-ANALES/TOMO%2072/Baran%20-%20Hiperacumulacion%20metales.pdf>

Blair, D. (2009). The child in the garden: An evaluative review of the benefits of school gardening. *The Journal of Environmental Education*, 40(2), 15-38.

<https://doi.org/10.3200/JOEE.40.2.15-38>

Claro, aquí tienes la referencia bibliográfica del artículo en formato APA (7ª edición):

Bhat, B. A., Rather, M. A., Bilal, T., Nazir, R., Qadir, R. U., & Mir, R. A. (2025). Plant hyperaccumulators: a state-of-the-art review on mechanism of heavy metal transport and sequestration. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1631378.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1631378>

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school* (Expanded ed.). National Academy Press.

Boyd, R. S. (2007). The defence hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, challenges and new directions. *Plant and Soil*, 293(1-2), 153-176.

<https://doi.org/10.1007/s11104-007-9223-0>Buesaquillo Gualguan, D.A. (2022)

Compresiones y estrategias pedagógicas en el desarrollo de la habilidad de indagación - Estudio de Caso en el Área de Ciencias Naturales en la Institución Educativa Compartir del municipio de Soacha- [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional].

[http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/17604/Comprensiones y estrategias pedagógicas en el desarrollo de la habilidad de indagacion.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/17604/Comprensiones%20y%20estrategias%20pedag%C3%B3gicas%20en%20el%20desarrollo%20de%20la%20habilidad%20de%20indagacion.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

Bustos Contreras, Y.A. (2021) *uso de plantas hiperacumuladoras en minería conceptos y aplicaciones* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].
https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79356/1017153992_2021.pdf;jsessionid=2E2AA11E8512698F3474CC652D19CBB9?sequence=3

Colegio Buenavista IED. (2025). *Plan de área de ciencias naturales 2025* [Documento inédito].

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. *Caso de interés-OBDC- Minería y Ladrilleras Sector Mochuelos, Bogotá.*

<https://oaica.car.gov.co/vercaso.php?id=35>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. *Caso de interés-OBDC- Minería y Ladrilleras Sector Mochuelos, Bogotá.*

<https://oaica.car.gov.co/vercaso.php?id=35>

De Zubiría Samper, J. (2017). *Cómo diseñar un currículo por competencias*. Editorial Magisterio.

Domènech-Casal, J. (2019). *Aprendizaje Basado en Proyectos, trabajos prácticos y controversias: 28 propuestas y reflexiones para enseñar Ciencias*. Ediciones Octaedro.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approach* (5.^a ed.). Sage Publications.

Dewey, J. (1916). *Democracy and education: An introduction to the philosophy of education*. Macmillan.

Díaz Barriga, F. (2006). *Enseñanza situada: Vínculo entre la escuela y la vida*. McGraw-Hill.

Dissanayake, D. M. L. N. B., De Costa, G. S. Y., & Bandara, A. M. K. R. (2022). A review on the potential of weeds for the phytoremediation of heavy metal-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(44), 66179–66192.

<https://doi.org/10.1007/s11356-022-22448-6>

Eisenkraft, A. (2003). Expanding the 5E model: A proposed 7E model emphasizes “transfer of learning” and the importance of eliciting prior understanding. *The Science Teacher*, 70(6), 56-59.

Fellet, A. y Repetto, M. G. (2022). Fisiología humana aplicada a la enseñanza de la química Bioinorgánica. Revista de la asociación de educadores en la Química de la Republica de Argentina. *Educación en la Química*, 28(2), 134-144.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/214991/CONICET_Digital_Nro.e1731dde-4981-466d-9d28-63a2dad21922_L.pdf?sequence=8&isAllowed=y

Furman, M. (2021). *Enseñar distinto: Guía para innovar en la escuela*. Siglo XXI Editores.

Freyle Corro, F.F. (2023) *Mini proyectos de aula como estrategia en el aprendizaje de la química través de la extracción y aplicación de antocianinas de la mora de castilla (Rubus glaucus benth* [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional].
[http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/18831/FINAL_APLICACION%c3%93N DE MINIPROYECTO DE AULA ANTOCIANINAS FABIAN FREYLE.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/18831/FINAL_APLICACION%c3%93N%20DE%20MINIPROYECTO%20DE%20AULA%20ANTOCIANINAS%20FABIAN%20FREYLE.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI Editores.

Fuertes, M. y Pérez, J. (2000). *Química Bioinorgánica. Una ciencia interdisciplinar en desarrollo* [Archivo PDF]. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-huimanguillo/quimica-inorganica/12-quimica-bioinorganica-una-ciencia-interdisciplinar-en-desarrollo-articulo-autor-miguel-angel-fuertes-villadangos-y-jose-manuel-perez-martin/46586462>

Galeano Gallego, A. (2014). *Currículo para la excelencia académica y la formación integral Orientaciones para el área de Ciencias Naturales*. Secretaria de Educación del Distrito.

García, M. C., & Rincón, C. P. (2012). Verificación de la fortificación con hierro en productos de trigo en Bogotá. *Vitae*, 19(Supl. 1), S459.
<https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914144.pdf>

Giraldo Gómez, G. (1995). *Manual de análisis de agua* [Archivo PDF].
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55218/manualdeanalisisdeaguas.pdf>

Gonzales Monteagudo, J. (2001). El paradigma interpretativo en la investigación social y educativa: nuevas respuestas para viejos interrogantes. *Revista Cuestiones Pedagógicas, Universidad de Sevilla*, (15), 227-246.
https://www.researchgate.net/publication/261472233_El_paradigma_interpretativo_en_la_investigacion_social_y_educativa_Nuevas_respuestas_para_viejos_interrogantes

Guzman-Lenis, A.R., Perez-Mesa, M.R., & Porras-Contreras, Y.A. (2025). The impact of learning approaches and performance levels on pro-environmental behavior in inquiry contexts. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST)*, 13(5), 1064-1082. <https://doi.org/10.46328/ijemst.5697>

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

Jaramillo Ortiz, G. y Trujillo Herrera, D. (2021). *Uso de especies vegetales Bioacumuladoras como alternativa sustentable en procesos de fitorremediación*. [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de Pereira].

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/c69d7385-569c-4625-aa76-e4c18e8c1a20/content>

Latorre Ariño, M. (2015). *Pedagogía de la Indagación guiada* [Archivo PDF]. <https://marinolatorre.umch.edu.pe/wp-content/uploads/2015/09/33.-Aprendizaje-por-Indagaci%C3%B3n-Ejemplos.pdf>

Lemke, J. L. (1990). *Talking about science: Language, learning, and values*. Ablex Publishing.

Llugany, M., Tolra, R., Poschnrieder, C. y Barcelo, J. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre.? *Revista Técnica y Científica de Ecología y Medio Ambiente*. 16(2), 4-9.

<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/124/121>

Luchtenberg, E. (2003). *El trabajo de análisis en la investigación cualitativa: entre el relevamiento de la información y la construcción del dato* [Archivo PDF].

https://aset.org.ar/congresos-antiores/10/ponencias/p17_Luchtenberg.pdf

Marín Sánchez, F. (2012). El hierro en los cereales y productos derivados. *Nutrición Hospitalaria*, 27(4), 1044-1055.

https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v27n4/03_revision_02.pdf

Martínez Martínez, J.G. (2024) *Establecimiento de las condiciones para el análisis de expresión diferencial de la interacción Typha latifolia-Pseudomonas rhodesiae* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí].
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/8494/TesisM.FEPZH.2024.Establecimiento.Mart%C3%ADnez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Méndez Mercado, D., Pacheco Lora, L. y Díaz Vega, N. (2023). *Competencia indagación: una mirada desde las concepciones de docentes en ciencias naturales* [Archivo PDF].https://revistas.uptc.edu.co/index.php/educacion_y_ciencia/article/view/16565

Monroy Tovar, M.A. (2022) *Fortalecimiento de la indagación aplicando actividades de aula: enseñanza de la fitorremediación en la remoción de Ni (II) con acordeón de agua (Salvinia mínima Baker)* [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional]. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/18348>

Ochiai, E. (2008). *Bioinorganic Chemistry: A Survey*. Academic Press.

Olson Ramos, M. (2002) *Visión General de la Química Bioinorgánica* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000311427/3/0311427.pdf>

Páramo, P. (Comp.). (2018). *La investigación en ciencias sociales: técnicas de recolección de la información* (2.^a ed.). Universidad Piloto de Colombia.

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press.

National Research Council (NRC). (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academy Press.
<https://doi.org/10.17226/9596>

Pacheco, L. M. B., Pérez, F., Rodríguez, F., & Suárez, A. L. (2010). Dializabilidad de hierro y zinc en cereales para desayunos comerciales fortificados con hierro elemental. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 23(1), 5-10.

<https://www.redalyc.org/pdf/469/46915014001.pdf>

Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180(2), 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>

Reedijk, J. (2013) *Bioinorganic Chemistry* [Archivo PDF].

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095472053749?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8e413b60ff0202f1

Renninger, K. A., & Hidi, S. E. (2016). *The power of interest for motivation and learning*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315771045>

Revel Chion, A., & Adúriz-Bravo, A. (2017). Argumentación y explicación en la formación del profesorado de ciencias. En F. J. Ruiz Ortega (Comp.), *Innovación en la enseñanza de las ciencias: Contextos y prácticas* (pp. 51-71). Universidad Autónoma de Colombia.

Roat-Malone, R. (2002) *Bioinorganic Chemistry: A Short Course*. Wiley-InterScience New Jersey

Rojas, A.D. (2017) *Desarrollo de habilidades de indagación en el Colegio técnico Ambiental san mateo en Yopal-Casanare* [Tesis de Maestría, Universidad de la Salle].

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1020&context=maest_docencia_yopal

Rothstein, D., & Santana, L. (2011). *Make just one change: Teach students to ask their own questions*. Harvard Education Press.

Sampieri, R. H., Collado, C. F., y Lucio, M. P. B. (2014). *Metodología de la investigación (6th ed.)*. McGraw-Hill.

Sánchez García, J.A. (2016) *Diseño e implementación de una secuencia didáctica sobre la fitorremediación de cromo (vi) orientada al desarrollo de competencias científicas investigativas* [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional].

<http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/278/TO-19287.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sanmartí, N. (2007). *10 ideas clave: Evaluar para aprender*. Editorial Graó.

Sauvé, L. (2010). Educación científica y educación ambiental: Un cruce fecundo. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 28(1), 5-18.

Secretaría de Educación del Distrito. (s.f.). *Cartilla ciencias naturales*.

Repositorio Institucional SED.

https://repositoriosed.educacionbogota.edu.co/bitstream/001/972/1/Cartilla_ciencias_naturales_web.pdf

Scardamalia, M., & Bereiter, C. (2006). Knowledge Building: Theory, pedagogy, and technology. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 97-118). Cambridge University Press.

Sinha, A., Singh, P., & Gupta, A. K. (2018). Phytoextraction potential of common weeds for lead and cadmium from artificially contaminated soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), 666. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7043-4>

Sytar, O., Ghosh, S., Malinska, H., Zivcak, M., y Brestic, M. (2021). Physiological and molecular mechanisms of metal accumulation in hyperaccumulator plants. *Physiologia Plantarum*, 173(1), 148-166. <https://doi.org/10.1111/ppl.13285>

Colón Ciencias, Tecnología y Negocios, 9(2), 15–31.

https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/3104

Vives, J. (8 de noviembre de 2023). *Las claves del aprendizaje basado en la indagación*. Junior Report. Recuperado el 17 de octubre de 2024 de <https://junior-report.media/las-claves-del-aprendizaje-basado-en-la-indagacion/>

ANEXOS

ANEXO A: CONSENTIMIENTO INFORMADO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EDUCACION AMBIENTAL SEMILLERO DE QUIMICA BIOINORGANICA CONSENTIMIENTO INFORMADO

Fecha: 24 de febrero de 2025

Estimado/a padre, madre o acudiente,

Mi nombre es Roger Camilo Daza Rodríguez, Docente del departamento de Ciencias Naturales y Educación Ambiental del colegio Buenavista IED Calasanz e investigador del proyecto " *Estudio Bioinorgánico de plantas Hiperacumuladoras para el desarrollo de habilidades de indagación en estudiantes de Educación Media* ". Este estudio busca promover las habilidades de indagación en un grupo de estudiantes del colegio Calasanz Buenavista IED, por medio del estudio Bioinorgánico de plantas hiperacumuladoras.

El propósito de esta investigación es promover las habilidades de indagación en un grupo de estudiantes del colegio Calasanz Buenavista IED, por medio del estudio Bioinorgánico de plantas hiperacumuladoras. En ese orden de ideas se propone para un grupo de estudiantes de educación media que pertenecen a una institución educativa de la ciudad de Bogotá en la localidad de Ciudad Bolívar, un espacio académico denominado semillero de Química Bioinorgánica en donde se logren potenciar las habilidades que respondan un modelo pedagógico ABI más exactamente en el desarrollo de los procesos de aprendizaje de las "7E". Teniendo en cuenta lo anterior se está realizando un estudio Bioinorgánico el cual tendrá como espacios de aprendizaje el laboratorio escolar, la huerta escolar, laboratorios y espacios del DQUI en la Universidad Pedagógica Nacional. En estos momentos se está trabajando con las especies de Hierba Mora (*Solanum nigrum*) y Girasol (*Helianthus annuus*), las cuales son catalogadas como plantas hiperacumuladoras de metales pesados como cadmio y plomo, los cuales se presentan en los suelos de la localidad y generan algunas situaciones de seguridad alimentaria.

Durante el desarrollo de las actividades, se tomarán fotografías, audios y vídeos con fines exclusivamente académicos y documentales. Dicho material se usará para registrar el proceso y evidenciar el impacto de la investigación, garantizando en todo momento la confidencialidad y el uso responsable de las imágenes y grabaciones.

Su hijo/a será invitado/a a responder una encuesta estructurada y a participar en actividades formativas diseñadas para fomentar el conocimiento científico. La participación es completamente voluntaria y no afectará su desempeño académico ni su relación con la institución educativa.

Toda la información recopilada será tratada de manera confidencial y anónima. Los datos serán utilizados únicamente con fines académicos y no se publicará ninguna información personal que permita identificar a los participantes.

Su hijo/a tiene derecho a retirarse del estudio en cualquier momento sin ninguna consecuencia negativa. Si tiene preguntas o inquietudes sobre la investigación, puede comunicarse con el investigador.

Declaro que he leído y comprendido la información proporcionada sobre el estudio. Doy mi consentimiento para que mi hijo/a _____ del curso _____ participe en la investigación.

Nombre del padre/madre o acudiente: _____

Firma: _____

Nombre del estudiante: _____

ANEXO B: CUESTIONARIO DE INICIO.**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EDUCACION
AMBIENTAL
SEMILLERO DE QUIMICA BIOINORGANICA
CUESTIONARIO DE INICIO.**

Fecha: 24 de febrero de 2025

Estimado/a estudiante.

El propósito de este cuestionario es identificar las ideas previas de un grupo de estudiantes del colegio Calasanz Buenavista IED, en torno al tema de química Bioinorgánica en plantas hiperacumuladoras. Para ello se proponen 5 preguntas abiertas que permitan al estudiante exponer sus ideas sobre el tema propuesto.

NOMBRE:

CURSO:

1. ¿Cuáles fuentes principales de emisión de metales pesados en entornos urbanos e industriales conoces?
2. ¿De qué forma la presencia de metales pesados en el medio ambiente afecta la salud humana a corto y largo plazo? Escribe las que conozcas.
3. ¿Sabes que es una planta hiperacumuladora?, si su respuesta es sí, ¿Qué características definitorias debe tener una planta para ser clasificada como hiperacumuladora?
4. ¿Conoces los metales pesados?, si la respuesta es sí, ¿En qué condiciones y concentraciones pueden los metales pesados ejercer efectos beneficiosos en procesos celulares sin causar toxicidad?
5. ¿Qué sabes sobre las siguientes especies vegetales Hierba Mora (*Solanum nigrum*) y Girasol (*Helianthus annuus*)?

Muchas gracias por tu colaboración.

ANEXO C: SECUENCIA DIDÁCTICA: SEMILLERO QUIMICA BIOINORGANICA.

SECUENCIA DIDÁCTICA: SEMILLERO QUIMICA BIOINORGANICA.		
Meta de aprendizaje: Modelo pedagógico Aprendizaje Basado por Indagación.		
Componente: Estudio Bioinorgánico de plantas hiperacumuladoras a partir de las secuencias de enseñanza y aprendizaje desde la Indagación (ABI 7E)		
Procesos de Aprendizaje ABI		
<ul style="list-style-type: none"> • Enganchar: Planteamiento del problema de interés. • Elicitar: Formulación de Hipótesis. • Explorar: Plenaria e investigación académica del tema. • Explicar: Construcción del conocimiento grupal. • Elaborar: Diseño experimental y Análisis. • Evaluar: Resolución de la pregunta problema. • Extender: Evaluación del proceso y Nuevos problemas. (Porras ,2024) 		
Procesos de enseñanza: Las "7E" de la Indagación.		
<ul style="list-style-type: none"> • Enganchar. • Resultado observable del aprendizaje: Relaciona la importancia de un espacio académico científico en su proceso de enseñanza y aprendizaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enganchar • Resultado observable del aprendizaje: Reconoce algunos conceptos básicos para el desarrollo de un proceso de siembra con plantas hiperacumuladoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enganchar • Resultado observable del aprendizaje: Aplica los conceptos elaborados en el espacio de plenaria para la siembra de plantas en un aula viva.
Tiempos, materiales y recursos		
Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Televisor, Presentación del semillero y Consentimiento Informado.	Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Instrumentos para trabajar en la huerta y semillas de girasol. Presentaciones realizadas por los estudiantes sobre plantas.	Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Instrumentos para trabajar en la huerta y semillas de girasol.
Actividades		
Actividad 1: 6 de febrero. <ul style="list-style-type: none"> • Para esta actividad la idea es realizar una convocatoria con los grupos de grados 9no y 10mo a todos aquellos estudiantes que estén interesados en la temática a trabajar. • Realizar una reunión informativa con los estudiantes interesados, en donde se les dé a conocer el ¿por qué? de la conformación del semillero de Química <u>Bioinorgánica</u>. Objetivos, un contexto. De tal manera que los estudiantes logren conocer un poco más lo que conlleva el trabajo que se va a realizar. 	Actividad 2:10 de febrero. <ul style="list-style-type: none"> • En esta actividad se habla con los estudiantes en torno a como se llevará a cabo la siembra de las plantas para trabajar en ese caso cada grupo da a conocer de manera conceptual y por medio de una presentación • Luego de eso iremos a la huerta para analizar los espacios de siembra y organizarlos de tal manera que vayamos construyendo el diseño experimental. • Además, a eso se le entregará a cada estudiante una semilla de girasol la cual deberán poner a germinar para sembrarla a los ocho días. 	Actividad 3: 17 de febrero <ul style="list-style-type: none"> • En esta actividad realizaremos una primera siembra. • Antes de sembrarlas el grupo del semillero debe realizar una preparación del terreno de tal manera que con los diferentes instrumentos de trabajo se logre limpiar de malezas el espacio de siembra, además de darle renovación al suelo por medio del movimiento de la tierra. • Luego de eso se procede a plantar los individuos que harán parte de las tres poblaciones tanto de girasoles, begonias, hierbabuena y Begonias. (10 individuos por cada especie) teniendo en cuenta la investigación de los estudiantes. • Por último, se realizará un riego adecuado según recomendaciones de cuidado y mantenimiento.
Procesos de enseñanza: Las "7E" de la Indagación.		
<ul style="list-style-type: none"> • Enganchar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enganchar. • Elicitar. • Elaborar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enganchar. • Elicitar.

<ul style="list-style-type: none"> • Resultado observable del aprendizaje: Asocia conceptos e ideas previas del contexto cotidiano con situaciones experimentales de comprobación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado observable del aprendizaje: Realiza un acercamiento al aprendizaje por indagación a partir de una situación que puede generar afectaciones a los cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado observable del aprendizaje: Plantea Problemas de interés y preguntas problemas a partir de situaciones de la vida cotidiana. • Resultado observable del aprendizaje: Formula hipótesis que van acorde con la pregunta problema planteada.
Tiempos, materiales y recursos		
Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Cuestionario de Inicio, Cereales, imanes.	Tiempo: 40 minutos. Materiales Recursos: Forms Aprendizaje por Indagación: Manejo de hierbas y Malezas, Videos.	Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Forms Planteamiento de preguntas problemas e Hipótesis. (Aprendizaje por <u>Indagación</u>), Reels, imagen <u>¿quién</u> se comió mi huerta? y Espacios huerta escolar
Actividades		
Actividad 4: 24 de febrero. Para esta actividad tendremos dos momentos: <ul style="list-style-type: none"> • Se realizará un cuestionario de 5 preguntas en el cual se le permita a los estudiantes expresar unas ideas previas sobre el tema que se desea desarrollar en esta investigación. • Luego se realizará una práctica de laboratorio en la cual los estudiantes logren evidenciar la presencia de 	Actividad 5: 3 de marzo <ul style="list-style-type: none"> • Para esta actividad se realizará la una introducción a la metodología de aprendizaje basado por indagación para ello se utilizará un forms que permita recoger la información de cada uno de los grupos de trabajo. • Teniendo en cuenta lo anterior a partir del siguiente video: (54) <i>Control de malezas y conservación de suelos - YouTube</i>, y responder las preguntas siguiendo las indicaciones del maestro. Los estudiantes deben responder una serie de preguntas en donde deben formular realizar 	Actividad 6: 17 de marzo. <ul style="list-style-type: none"> • Teniendo en cuenta lo trabajado en la anterior actividad con los estudiantes del semillero se propone una actividad que permita al estudiante relacionarse con la temática de plantas hiperacumuladoras para ello se prepara un forms en el cual encontrarán dos "reels" y 3 fragmentos de texto que hablan del tema. • A partir de ello los estudiantes por grupos de trabajo deben extraer 4 ideas principales o situaciones que les hayan llamado la atención.
hierro en alimentos, en este caso en los cereales. De esta manera realizaríamos la introducción al concepto de química bioinorgánica.	preguntas problemas, hipótesis, deducir conceptos claves y un primer acercamiento a un diseño experimental, desde lo que el maestro le indica, pero también su experiencia en anteriores proyectos.	<ul style="list-style-type: none"> • Luego de eso con la ayuda del maestro, de una descripción sobre preguntas problemas se procede a elaborar esas situaciones problema que permitirán guiar al estudiante en su trabajo experimental. • Por último, en esta sesión se realizará un avance de lo que significa la formulación de hipótesis para ello los estudiantes deberán ir a la huerta afirmar que posibles insectos están afectando las plantas de la huerta escolar, para luego por medio de una infografía con datos sobre formas de forrajeo poder comprobar sus ideas.
Procesos de enseñanza: Las "7E" de la Indagación.		
<ul style="list-style-type: none"> • Elicitar. • Explorar. • Explicar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar. • Explicar. • Evaluar.
<ul style="list-style-type: none"> • Resultado observable del aprendizaje: Interpreta la problemática a partir de uno referentes teóricos de Química Bioinorgánica y plantas Hiperacumuladoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado observable del aprendizaje: Planea diseños experimentales detallados de acuerdo con la formulación de hipótesis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado observable del aprendizaje: Elabora una propuesta de presentación de informe y resultados de sus prácticas de laboratorio.
Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Forms Planteamiento de hipótesis y	Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Forms ¿Qué son	Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Instrumento V-Heurística.

<p>Discusión Teórica (Explorar), Forms ¿Qué son las plantas hiperacumuladoras? y Diseños experimentales. Presentación con los conceptos a trabajar.</p>	<p>las plantas hiperacumuladoras? y Diseños experimentales.</p>	
<p>Actividad 7: 31 de marzo</p> <ul style="list-style-type: none"> Retomando la sesión anterior se pedirá los estudiantes a partir de la ayuda del maestro que planteen dos hipótesis en torno a las preguntas problemas formuladas con respecto a las plantas hiperacumuladoras. Comenzando a abordar los diferentes conceptos académicos que se necesitan para desarrollar las diferentes actividades experimentales de los estudiantes, el maestro abre el espacio de plenaria en donde a partir de una presentación logra dar a conocer los diferentes conceptos de la química bioinorgánica y a su vez los estudiantes van resolviendo dudas y preguntado sobre lo consultado previamente. 	<p>Actividad 8: 7 de abril y 2 de mayo.</p> <ul style="list-style-type: none"> Este es un momento clave para el desarrollo del trabajo experimental ya que es el momento de evaluar el estado de los individuos de tal manera que nos permita obtener unas buenas muestras para llevar a cabo la práctica de laboratorio. Para ello a los estudiantes se les recuerda las diferentes hipótesis que se realizaron y así mismo se les pregunta por medio del forms el cual tiene una descripción sobre que es un diseño experimental, la siguiente cuestión: ¿Qué van a realizar para lograr comprobar la hipótesis planteada en las sesiones anteriores? Por último, se les pregunta a los estudiantes teniendo en cuenta las diferentes plantas, que identifique con que especies de la huerta va a trabajar por medio de fotografías para luego digitar el nombre común y científico de las mismas. 	<p>Actividad 9: 5 de mayo</p> <ul style="list-style-type: none"> En esta sesión del semillero se les presenta los estudiantes una forma de presentar todo su trabajo realizado a través del semillero el cual será una V-heurística. Teniendo en cuenta lo anterior en este instrumento el estudiante puede dar a conocer tanto el proceso conceptual como metodológico que le permita llegar desde una pregunta problema hasta unas colusiones adecuadas del trabajo realizado en el semillero. La idea es que en esta parte los estudiantes retomen lo que hemos venido trabajando en los forms, además de la explicación adecuada del maestro en la elaboración de su V-Heurística de tal manera que cuando llegue el momento de realizar los procesos experimentales se complemente la otra parte del trabajo.
<ul style="list-style-type: none"> Luego de eso se les pide a los estudiantes que en el forms de trabajo digiten 2 ideas o conceptos propios sobre ¿Qué es la química bioinorgánica? y ¿cuál sería la importancia para la vida de un estudiante del Colegio? Por último, se dará a conocer el concepto e ideas de plantas hiperacumuladoras como ¿que son? y ¿Cómo se da el proceso de hiperacumulación?, para que luego los estudiantes respondan: ¿Cómo pueden llegar a servir estos conceptos para poder comprobar su hipótesis de trabajo? 	<ul style="list-style-type: none"> Cabe resaltar que lo anterior se les recuerda los estudiantes el contexto del suelo y los posibles metales que pueden llegar a hiperacumulan, las plantas de la huerta entre los cuales se encuentran plomo (Pb) y cadmio (Cd) 	
<p>Procesos de enseñanza: Las "7E" de la Indagación.</p>		
<ul style="list-style-type: none"> Elaborar. Explicar. 	<ul style="list-style-type: none"> Elaborar 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluar.
<p>Resultado observable del aprendizaje: Planea adecuadamente los diferentes momentos de una salida pedagógica-experimental teniendo en</p>	<p>Resultado observable del aprendizaje: Aplica los diferentes conocimientos trabajados en torno a la Química Bioinorgánica en diferentes situaciones experimentales y de la vida cotidiana.</p>	<p>Resultado observable del aprendizaje:</p>

cuenta materiales y procesos.		
Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Documentos itinerario salida de Pedagógica y guías de laboratorio.	Tiempo: 40 minutos Materiales y Recursos: Documentos itinerario salida pedagógica y guías de laboratorio. (materiales previamente preparados.)	Tiempo: Materiales: Recursos:
Actividad 10: 12 de mayo. <ul style="list-style-type: none"> • Para este espacio se dará a conocer toda la logística a los estudiantes teniendo en cuenta horarios, momentos de encuentro, materiales y dinámicas de comportamiento en el Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional. • Hay que recordar que tendremos 3 practica de laboratorio en torno al tema de Química Bioinorgánica. 	Actividad 11: 4 de junio. <ul style="list-style-type: none"> • En esta sesión realizaremos nuestra salida pedagógica a la Universidad Pedagógica Nacional, en donde el grupo de estudiantes se encontrarán inmersos en 2 actividades de laboratorio (Ver Guías de laboratorio) en donde logren interactuar con los diferentes espacios del Campus del DQUI, pero de igual manera que los estudiantes logren poner a prueba los conocimientos obtenidos durante el tiempo de estudio en el semillero de Química Bioinorgánica. • Vale la pena resaltar que este espacio estará acompañado por el director de tesis y algunos integrantes del DQUI, además que se tomaron en cuenta los debidos permisos para la realización de la misma desde los acudientes de los estudiantes, La institución educativa y el DILE. 	Actividad 12: 9 de Junio Terminar V-Heurística

ANEXO D: CUESTIONARIO DE INICIO 1: CONOCIMIENTOS PREVIOS.

Pregunta	Respuestas
1. ¿Cuáles fuentes principales de emisión de metales pesados en entornos urbanos e industriales conoces?	<p>E1: “Los mataderos y las ladrilleras”</p> <p>E2: “Ciudad Bolívar y Botadero de Doña Juana”</p> <p>E3: “CEMEX y Ladrilleras”</p> <p>E4: “Lugares de construcción aquí en ciudad bolívar en tierra seca que no tienen muchos nutrientes”</p> <p>E5: “Ladrilleras, grandes construcciones, fabricas, contaminación generada por la combustión de los carros”</p> <p>E6: “Ladrilleras”</p> <p>E7: “Explotación ladrilleras y que caen al agua y empresa CEMEX”</p> <p>E8: “Ladrilleras, cementeras, quema de residuos y desechos industriales”</p> <p>E9: “Ladrilleras, la minería, transporte y fuentes petroleras”</p> <p>E10: “plomo, acetato, cadmio, yodo, magnesio sodio”</p> <p>E11: “La industria de CEMEX, que hay en la AV Boyacá, ladrilleras existentes y la industria de Bavaria.”</p> <p>E12: “En nuestra localidad algunas de las principales fuentes de metales son las ladrilleras, las concreteras, ya que en la elaboración y extracción de la materia prima y obtención para procesar estos metales se esparcen en las fuentes hídricas, el aire contaminado y el suelo a través del ciclo del agua.”</p> <p>E13: “Las ladrilleras y las industrias que producen a realizar productos que casi siempre generan contaminación”</p> <p>E14: “Ladrilleras y ferreterías.”</p> <p>E15: “Ladrilleras, fuentes petroleras y minería.”</p>
2. ¿De qué forma la presencia de metales pesados en el medio ambiente afecta la salud humana a corto y	<p>E1: “Contaminan el aire respirable”</p> <p>E2: “Estos nos pueden generar problemas respiratorios y cáncer”</p> <p>E3: “En el punto en el que las personas nos exponemos de pronto con el smoke o en las empresas que se exponen a estos.”</p> <p>E4: “Lo que conozco que puede afectar nuestra salud, es que estos metales a largo plazo pueden generar enfermedades graves.”</p>

<p>largo plazo? Escribe las que conozcas.</p>	<p>E5: <i>“Problemas en la salud, partículas toxicas y cancerigenas, contaminación de las vías respiratorias”</i></p> <p>E6: <i>“Cuando se plantan alimentos en tierras contaminadas”</i></p> <p>E7: <i>“En los alimentos que consumimos”</i></p> <p>E8: <i>“Daño a los órganos, Cáncer”</i></p> <p>E9: <i>“Estos metales contaminan los suelos y con ellos los alimentos y el agua causando daños a la salud, además de la contaminación del aire que afecta los pulmones.”</i></p> <p>E12: <i>“Los metales pesados afectan la salud a través del sistema respiratorio como el mercurio, por la degradación del ADN, produciendo afectaciones en todo el cuerpo, como al ingerirlo puede generar el rechazo inmunológico del cuerpo generando malestar y enfermedad”</i></p> <p>E13: <i>“Estos metales afectan junto a sus industrias a las personas en su sistema inmune y pueden generar enfermedades respiratorias”</i></p> <p>E14: <i>“Quiz por los residuos de estos materiales son malos para la salud ya si vienen en polvo pueden ser aspirados o pueden estar una gran temperatura o se encuentran en lugares así.”</i></p> <p>E15: <i>“Enfermedades trasmitidas por el ambiente y algunos alimentos que poseen estos metales.</i></p>
<p>3. ¿Sabes que es una planta hiperacumuladora?, si su respuesta es sí, ¿Qué características definitorias debe tener una planta para ser clasificada como hiperacumuladora?</p>	<p>E1: <i>“Si, que acumulan demasiados metales pesados y lo usan”</i></p> <p>E3: <i>“Una planta hiperacumuladoras supongo que son las plantas que acumulan los metales para su supervivencia.”</i></p> <p>E5: <i>“No”</i></p> <p>E6: <i>“Es una planta que almacena muchos metales pesados”</i></p> <p>E7: <i>“Si los girasoles, la hierba mora: Se caracterizan por absorber los metales pesados.”</i></p> <p>E8: <i>“Si, debe absorber grandes cantidades de metales en los suelos”</i></p> <p>E9: <i>“Las plantas acumuladoras se caracterizan por su gran capacidad de absorber los metales pesados”</i></p> <p>E10: <i>“Girasol”</i></p>

	<p>E11: “No se”</p> <p>E12: “<i>Si, las plantas Hiperacumuladoras, son aquellas, las cuales cuentan con la capacidad de acumular y tratar los metales pesados a través de sus capacidades biológicas.</i>”</p> <p>E14: “<i>Si, se conocen como las que tienen la capacidad de absorber los metales o proteínas de la tierra.</i>”</p> <p>E15: “<i>Estas plantas se caracterizan por absorber metales pesados.</i>”</p>
<p>4. ¿Conoces los metales pesados?, si la respuesta es sí, ¿En qué condiciones y concentraciones pueden los metales pesados ejercer efectos beneficiosos en procesos celulares sin causar toxicidad?</p>	<p>E1: “<i>No se</i>”</p> <p>E3: “<i>Ni idea</i>”</p> <p>E5: “No”</p> <p>E6: “<i>No se</i>”</p> <p>E7: “<i>No me acuerdo</i>”</p> <p>E8: “<i>No se</i>”</p> <p>E9: “<i>Deduzco que deben ser condiciones controladas como en un laboratorio y usando concentraciones muy bajas</i>”</p> <p>E10: “<i>Tierra y en los alimentos</i>”</p> <p>E11: “<i>En lo alimentos plantas- Tierra</i>”</p> <p>E12: “<i>Estos pueden ser variados y en cantidad, pero estas cantidades son microscópicas para que no sea perjudicial.</i>”</p> <p>E14: “<i>No se</i>”</p> <p>E15: “<i>En pocas cantidades no es toxico</i>”</p>
<p>5. ¿Conoces los metales pesados?, si la respuesta es sí, ¿En qué condiciones y concentraciones pueden los metales pesados ejercer efectos beneficiosos</p>	<p>E1: “<i>Que son plantas hiperacumuladoras y que son bonitas.</i>”</p> <p>E3: “<i>La hierba buena no sé, pero el girasol que es una planta que gira a favor del sol.</i></p> <p>E5: “<i>Hierba buena, planta de flor y fruto con similitud a una mora, puede concentrar partículas toxicas y perjudiciales para la salud y el girasol necesita mucho sol.</i></p> <p>E6: “<i>Son hiperacumuladoras y los girasoles giran con la cara al sol</i>”</p> <p>E7: “<i>Que son hiperacumuladoras y ayudan a limpiar la tierra de los metales pesados</i>”</p>

<p>en procesos celulares sin causar toxicidad?</p>	<p>E8: <i>“Se deben plantar cada 5cm, girasol, resistencia a la sequía y son hiperacumuladoras”</i></p> <p>E9: <i>“Son plantas hiperacumuladoras, los girasoles resisten la sequía, y de la hierba buena no se.”</i></p> <p>E11: <i>“Hierba buena es una planta medicinal, pero a su vez muy toxico.”</i></p> <p>E12: <i>“La hierba buena no sé, pero el girasol es una flor la cual tiene la cualidad de ser muy grande y con muchas semillas”</i></p> <p>E13: <i>“La hierba buena es una planta que tiene frutos y se expande rápidamente en su ecosistema”</i></p> <p>E14: <i>“Los girasoles miran al sol y giran hacia él, su plantación es de 5cm a 5cm, son hiperacumuladoras y resisten a la sequía.”</i></p> <p>E15: <i>“Que son plantas con la capacidad de absorber una cantidad inmensa de metales pesados”.</i></p>
--	---

ANEXO E: CUESTIONARIO 2: APRENDIZAJE POR INDAGACIÓN: MANEJO DE HIERBAS Y MALEZAS

Pregunta	Respuestas
<p>1. Teniendo en cuenta la situación vista en el video planteo una pregunta problema que involucre el contexto de la huerta del colegio.</p>	<p>G1: <i>“¿Cómo puede la maleza intervenir en el crecimiento del girasol y hierbabuena?”</i></p> <p>G2: <i>“¿Es importante tener conocimiento de las diferencias, beneficios y afectaciones que conllevan las malezas?”</i></p> <p>G3: <i>“¿Cómo podemos saber o identificar si las malezas que crecen en nuestra huerta son inofensivas o por el contrario son nocivas?”</i></p> <p>G4: <i>“¿Cómo las malezas pueden llegar a afectar o ayudar al desarrollo de los cultivos?”</i></p> <p>G5: <i>“¿Porque la sobrepoblación de malezas interviene en el ciclo de vida de las plantas hiperacumuladoras y que de manera se pueden identificar?”</i></p>
<p>2. Luego de socializar las preguntas problemas, planteo una hipótesis entorno a la situación. (Recuerde que una hipótesis es una afirmación a manera de respuesta sobre la pregunta problema)</p>	<p>G1: <i>“¿Cómo puede la maleza intervenir en el crecimiento del girasol y hierbabuena?”</i></p> <p>G2: <i>“Si es importante porque ese conocimiento es una guía para poder plantar e identificar el papel de la maleza en la huerta y de esta manera plantar y cultivar de manera conciente.”</i></p> <p>G3: <i>“Se afirma que debido al largo tiempo del que se llevara a cabo el cultivo de girasoles y hierbabuena crecerán y surgirán diferentes tipos de malezas tanto buenas como malas (seguramente más malas) y para ello es importante saber ese tipo de información”</i></p> <p>G4: <i>“Las malezas afectan a los cultivos generando un retraso en su crecimiento, consumiendo cierta parte de sus nutrientes”</i></p> <p>G5: <i>“Las malezas intervienen directamente con las plantas durante su ciclo vital y en la manera en la que se desarrolla.”</i></p>
<p>3. ¿Qué conceptos e ideas crees que se necesitan para lograr solucionar la pregunta problema o comprobar la hipótesis planteada?</p>	<p>G1: <i>“¿Como identificar las malezas? ¿En qué afecta las malezas al desarrollo de las plantas? ¿En qué ambiente se puede dar?”</i></p> <p>G2: <i>“Definición de maleza. Funciones de la maleza. Tipos de maleza. Afectaciones en el cultivo. De qué forma es posible manejar la maleza.”.</i></p> <p>G3: <i>“Malezas tanto malas como buenas, cultivos de girasol y hierba mora, conocimiento de la tierra (si es fértil para diferentes malezas o para los cultivos principales)</i></p> <p>G4: <i>“Tipos de malezas Afectaciones/ beneficios En que afectan nuestros cultivos”</i></p> <p>G5: <i>“-Concepto de malezas -Control de malezas</i></p>

		<p><i>-Reconocimiento de malezas</i></p> <p><i>-Uso de las malezas”</i></p>
4.	<p>Plantee una solución, estrategia o modelo que permita comprobar la hipótesis planteada.</p>	<p>G1: <i>“Observar los cambios que se generan a lo largo del tiempo a través del experimento, y así comprobar la aparición e intervención de la maleza, identificando los cambios estéticos y nutricionales de las plantas.”</i></p> <p>G2: <i>“Realizar una investigación profunda sobre todo el tema de maleza y cuidado del suelo, con esta información realizar un informe de laboratorio completo”</i></p> <p>G3: <i>“Mantener una constante observación del crecimiento de las malezas como de los cultivos, además Deuna recolecta de datos”</i></p> <p>G4: <i>“Una estrategia posible será acoplar distintos tipos de malezas con girasoles y analizar en un lapso los cambios y afectaciones que se generen.”</i></p> <p>G5: <i>“Separar las plantas en diferentes poblaciones aisladas a las cuales se le añadirá una maleza diferente a cada una, monitoreando el crecimiento y la formación de la planta mediante el tiempo observando las diferencias entre las diferentes poblaciones”</i></p>
5.	<p>Diseñe y describa un instrumento o formato que le permita realizar un seguimiento de su estrategia</p>	<p>G1: <i>“Nos guiaremos y haremos uso de diferentes fuentes de investigación para poder identificar y corroborar estos cambios, y así detenerlos y comprobar la hipótesis.”</i></p> <p>G2: <i>“Para este informe se puede realizar un seguimiento de un tema por sesión donde la información esté bien planteada adjunta al proceso práctico del laboratorio.”</i></p> <p>G3: <i>“Bitácora que lleve registro tanto de la planta como el de las malezas”</i></p> <p>G4: <i>“Una bitácora siguiendo el proceso de crecimiento y desarrollo de los cultivos”</i></p> <p>G5: <i>“La otra clase”</i></p>

ANEXO F: CUESTIONARIO 3: PLANTEAMIENTO DE PREGUNTAS PROBLEMAS E HIPÓTESIS. (APRENDIZAJE POR INDAGACIÓN)

Pregunta	Respuestas
<p>1. Teniendo en cuenta la información anterior por favor digite 4 ideas o situaciones que le hayan llamado la atención.</p>	<p>G1: “1. Nos llama la atención que para la protección de diferentes plantas se necesitan seguir algunas condiciones.</p> <p>2. Nos llama la atención que algunas plantas favorezcan a la descontaminación de los suelos.</p> <p>3. Nos llama la atención saber cómo se extraen los minerales acumulados por la planta.</p> <p>4. Nos llama la atención que gracias a dichas plantas surgen métodos para extraer los diferentes minerales sin la necesidad de contaminar los suelos”</p> <p>G2: “1. El cómo las actividades mineras y ladrilleras de nuestra zona contaminan y afectan la tierra y la salud</p> <p>2. Como estos minerales pueden afectar los alimentos</p> <p>3. Como se puede manejar los metales pesados usando las plantas como medio para contenerlos</p> <p>4. Como los metales pesados afectan directamente al ecosistema en general incluyendo los factores bióticos y abióticos”</p> <p>G3: “1- las plantas hiperacumuladoras absorben los residuos de metales que pueden llegar a afectar la salud e integridad de organismos vivos.</p> <p>2- las plantas hiperacumuladoras toman los metales que puedan afectar los cultivos, pero sin tomar muchos de sus nutrientes</p> <p>3- las plantas hiperacumuladoras ayudan a crear y fortalecer zonas verdes que estaban en un estado crítico”</p>
<p>2. A partir de las situaciones que te llamaron la atención en la pregunta 1, plantee una pregunta problema</p>	<p>G1: “¿Como extraer los minerales o minerales pesados de las plantas que se encuentran en la huerta?”</p> <p>G2: “¿Como se puede evidenciar el impacto de los metales pesados en su ecosistema?”</p> <p>G3: “¿Que tipos de metales pesados están presentes en el huerto y ¿cómo es posible identificarlos?”</p>
<p>3. Teniendo en cuenta lo anterior realizaremos un ejercicio sencillo para entender la idea de hipótesis para ello visualice la imagen anexa,</p>	<p>G1: “Escarabajo, Arañas, Gusanos, Lombrices, Abejas y Moscas”</p> <p>G2: “Es posible analizar y evaluar el impacto de los metales pesados a través de la evaluación del ecosistema y todos sus componentes”</p> <p>G3: “1- Los insectos no es necesario que coman solo de la huerta porque también tienen otros tipos de mecanismos de alimentación.</p> <p>2- Se pueden <<ahuyentar>> estos insectos cambiando el tipo de agua que se les hecha</p> <p>3- Al identificar los tipos de insectos que se están comiendo la huerta se puede saber si se deben ahuyentar o quedar si están ayudando en algo”</p>

<p>luego de eso teniendo en cuenta las plantas en la huerta formule 3 hipótesis en torno a ¿qué insectos se están comiendo la huerta del colegio?</p>	
<p>4. Plantee dos hipótesis para la pregunta problema del grupo.</p>	<p>G1: "1. Se evidencia que efectivamente estas plantas acumulan metales pesados. 2. Se puede extraer metales con la utilización de estas plantas."</p> <p>G2: "1) Los metales pesados afectan el ecosistema de las plantas acumuladoras debido a que las plantas no logran absorber los nutrientes necesarios. 2) Los metales pesados, generan cierta intoxicación en el cuerpo, causando daño a diversos órganos, modificando o dificultando la memoria, pensamiento y comportamiento, por lo tanto, todo ello dependerá de la cantidad y tipo de metal que reciba."</p> <p>G3: "1. Los metales pesados afectan de mayor o menor manera a los diferentes tipos de plantas. 2. Que tipos de plantas son afectadas por los metales pesados."</p>

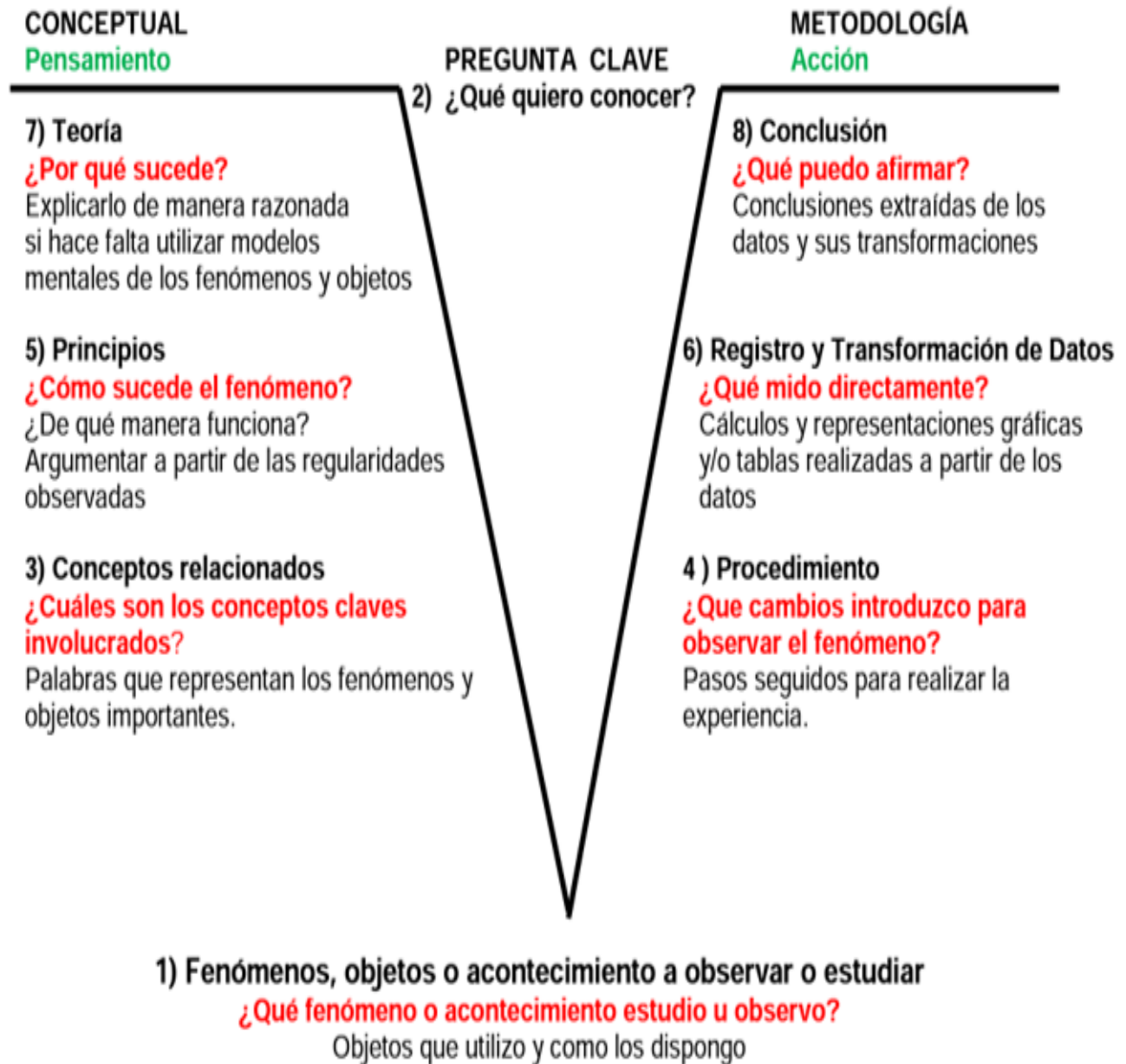
ANEXO G: CUESTIONARIO 4: ¿QUÉ SON LAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS? Y DISEÑOS EXPERIMENTALES.

Preguntas	Respuestas.
<p>1. Teniendo en cuenta lo visto en el semillero sobre Química Bioinorgánica escriba 2 ideas o conceptos propios sobre ¿Qué es? y su importancia para la vida de un estudiante del Colegio.</p>	<p><i>G1: 1. "Estudia los compuestos inorgánicos de manera química, por ejemplo ¿De qué están hechos?, además, es una ciencia joven que abarca temas revolucionarios para la vida, industria y sociedad"</i></p> <p><i>G2: "El estudio de organismo sin vida para la identificación y su afectación en diversos organismos, que la vida de un estudiante de un colegio este puede ser objetivo de la investigación y observación de las diversas causas se pueden presentar en la zona."</i></p> <p><i>G3: "1) Es la explicación y el funcionamiento de los elementos inorgánicos en los ecosistemas. 2)los elementos i"</i></p>
<p>2. ¿Cómo puede llegar a servir estos conceptos para poder comprobar su hipótesis de trabajo?</p>	<p><i>G1: " Estos conceptos ayudan a la hipótesis planteada en cuanto a, brindar un pequeño bosquejo del tema a investigar y a despojar nuestra hipótesis en cuanto al daño que supuestamente se les causa a las plantas."</i></p> <p><i>G2: " Estos conceptos nos pueden ayudar en nuestra hipótesis debiendo a qué las plantas no desarrollan ninguna afectación al acumular estos metales, estos metales se mantienen en estas plantas sin la preocupación de que estos no lo hagan facilitando su extracción."</i></p> <p><i>G3: "Nos pueden llegar a servir como comprobantes para evidenciar el impacto de los metales pesados en los ecosistemas donde estos tienen una mayor concentración de manera no natural y el cómo las plantas Hiperacumuladoras lidian con esta problemática"</i></p>

ANEXO H: CUESTIONARIO 5: ¿QUÉ SON LAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS? Y DISEÑOS EXPERIMENTALES.

Preguntas	Respuestas
<p>1. ¿Qué va a realizar para lograr comprobar la hipótesis planteada en las sesiones anteriores?</p>	<p>G1: "1. Elegir una planta a investigar 2. Cada sesión tomar fotos y a continuación comparar. 3. Anotar especulaciones de lo que se trate la hipótesis 4. Organizar y mostrar."</p> <p>G2: " Para poder comprobar dicha hipótesis, primeramente, debemos conocer los métodos y procesos de extracción caseros para poder cumplir el objetivo, debemos tener conocimiento de la planta a trabajar; hacer un análisis de esta y conocer todo su proceso de acumulación para tener un saber previo."</p> <p>G3: " Definir las variables (concentración de metales pesados y respuesta de las plantas). Seleccionar el ecosistema afectado y las especies de plantas hiperacumuladoras. Prepare el suelo con concentraciones específicas de metales pesados. Medir el crecimiento de las plantas y tomar muestras para analizar la concentración de metales pesados en las plantas. Observar signos de toxicidad o estrés. Realizar el análisis estadístico de los datos. Concluir si las plantas hiperacumuladoras pueden absorber metales pesados sin sufrir daños significativos, confirmando o refutando la hipótesis."</p>
<p>2. Luego de haber definido lo que se va a realizar, por favor identifique con que especies de plantas de la huerta va a trabajar por medio de fotografías para luego digitar el nombre común y científico de las mismas.</p>	<p>G1: "Hierba buena o si no la begonia"</p> <p>G2: "La planta que se escogió para trabajar en base a esta fue la ruta graveolens, más conocida como el Girasol."</p> <p>G3: "Nosotros como grupo vamos a analizar las Begonias presentes en la huerta escolar"</p>

ANEXO I: FORMATO V-HEURISTICA



ANEXO J: GRUPO 1: RESULTADOS V-HEURISTICA

ítem	Respuesta
Pregunta clave	¿Cómo es el proceso de absorción de metales pesados? Y ¿Cómo estos pueden llegar a afectar la vida misma?
Principios	Los metales pesados son muy importantes actualmente, sin embargo, del mismo modo son peligrosos y tóxicos en grandes cantidades por la hiperacumulación. Estos surgen por actividades como la agricultura, minería e industrias como la petroquímica.
Conceptos Relacionados	Contaminación, Combustión, hiperacumulación, recursos naturales, combustión, toxicidad y necesidad.
Fenómenos, objetos o acontecimientos a observar o estudiar	Se estudiaron plantas hiperacumuladoras como los girasoles (<i>Helianthus annuus</i>) y la hierba buena (<i>Mentha spicata</i>), con el objetivo de reconocer los metales pesados que acumulan, como extraerlos y como identificarlos.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Medir la cantidad del vegetal. 2. Incinerar a una alta temperatura el vegetal. 3. Sacar del horno y machacar las cenizas. 4. Se aplicó el ácido. 5. Ingresar a otro horno con el ácido, después de filtrar. 6. después de sacar del horno aplicar el ácido sulfúrico y notar el cambio de coloración.
Conclusiones	Los girasoles contienen más hierro almacenado en sus semillas a comparación de la hierba buena.

ANEXO K: GRUPO 2: RESULTADOS V-HEURISTICA.

ítem	Respuesta
Pregunta clave	¿Cómo pueden las plantas absorber componentes como metales pesados que se encuentran en la tierra?
Principios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los metales pesados, no se degradan fácilmente y permanecen largo periodos en el ambiente. 2. A través de la bioacumulación, las plantas absorben metales del suelo contaminado mediante sus raíces, almacenándolos en sus tejidos. 3. El relleno sanitario de Doña Juana libera contaminantes al suelo, lo que explica la presencia de niveles más altos en la zona afectada frente a la de control. 4. La Fito extracción funciona porque ciertas plantas tienen la capacidad natural de acumular contaminantes metálicos como mecanismo de defensa o adaptación.
Conceptos Relacionados	<p>Metales Pesados: Son elementos metálicos (como plomo, cadmio o mercurio) que pueden ser muy tóxicos para los seres vivos, incluso en pequeñas cantidades.</p> <p>Bioacumulación: Es el proceso por el cual una sustancia (en este caso, un metal pesado) se acumula en los tejidos de un organismo vivo, como una planta.</p> <p>Contaminación del Suelo: La presencia de sustancias nocivas en el suelo. En este caso, la fuente de contaminación es el relleno sanitario de Doña Juana.</p> <p>Fitoextracción: Es una técnica que utiliza plantas para absorber contaminantes del suelo</p>
Fenómenos, objetos o acontecimientos a observar o estudiar	<p>Recolección de muestras: Se deben recolectar muestras de plantas y suelo tanto en el área cercana al relleno sanitario (donde se sospecha la contaminación) como en un área control (lejos del relleno).</p> <p>Preparación de la muestra:</p> <p>Las plantas se deben lavar, secar y triturar hasta obtener un polvo fino.</p> <p>Luego, las cenizas se deben calcinar (calentar a una temperatura muy alta) para eliminar todo el material orgánico.</p> <p>Extracción del metal: La ceniza se mezcla con un ácido, como el ácido clorhídrico (HCl), para disolver los metales disueltos de cualquier resto sólido.</p> <p>Filtración: La solución se debe filtrar para separar el líquido con los metales disueltos de cualquier resto sólido.</p> <p>Análisis: La solución final se lleva a un laboratorio para ser analizada con un equipo especializado (como un espectrómetro de absorción atómica) que permite medir la cantidad exacta de metales pesados presentes.</p> <p>Comparación de datos: Finalmente, los resultados de las muestras contaminadas se comparan con los de las muestras de control para confirmar si las plantas de Ciudad Bolívar están absorbiendo los metales pesados del suelo.</p>
Procedimiento	La concentración de metales pesados (plomo, cadmio, mercurio) en las plantas recolectadas.

	<p>La comparación de los niveles en plantas de la zona cercana al relleno sanitario de Doña Juana y en la zona control.</p> <p>Representaciones gráficas y tablas que muestren las diferencias en la bioacumulación entre ambos lugares.</p>
Conclusiones	<p>Las plantas cercanas al relleno sanitario presentan concentraciones significativamente mayores de metales pesados en comparación con las plantas de la zona control.</p> <p>Esto confirma la contaminación del suelo por lixiviados del relleno sanitario y la capacidad de las plantas de bioacumular los metales.</p> <p>Se puede afirmar que la fitoextracción es una herramienta útil para monitorear y potencialmente reducir la contaminación por metales pesados en Ciudad Bolívar.</p>

ANEXO L: RUBRICA DE EVALUACION PROCESO V-HEURISTICA.

RÚBRICA DE EVALUACIÓN APRENDIZAJE BASADO EN LA INDAGACIÓN

Subhabilidad	Puntuación			
	1	2	3	4
Interpretación del problema	La formulación del problema no se relaciona directamente con el tema a investigar	La formulación del problema está de acuerdo con el tema, pero no es suficientemente claro.	La formulación del problema es clara, se relaciona con el tema, pero requiere mayor originalidad.	La formulación del problema es clara, se relaciona directamente con el tema y fue realizada por los estudiantes
Observación	No se realizaron observaciones	Se hacen observaciones incompletas del trabajo realizado	Se realizaron observaciones importantes, pero aún son parciales del trabajo	Todos los aspectos importantes del trabajo fueron observados satisfactoriamente
Formulación de hipótesis	No se presentan hipótesis	Se hacen hipótesis, pero no están en línea con la pregunta de investigación	Hizo una hipótesis de acuerdo con la pregunta de investigación, pero falta delimitación	Hizo una hipótesis que es apropiada para la pregunta de investigación
Diseño Experimental	Experimento diseñado con la ayuda del profesor	Experimento diseñado, pero no está de acuerdo con la formulación de la hipótesis	Experimento diseñado de acuerdo con la formulación de la hipótesis, pero la descripción del procedimiento es incompleta.	El experimento diseñado de acuerdo con la formulación de la hipótesis es adecuado, y la descripción del procedimiento es completa.
Uso de materiales y equipos	Seleccionó todos los materiales y equipos de manera poco apropiada, lo que requirió la ayuda de profesores y asistentes de laboratorio.	Seleccionó algunos materiales y equipos de manera adecuada, pero las usó con la ayuda de profesores y asistentes de laboratorio	Seleccionaron la mayoría de materiales y equipos de manera correcta y el grupo supo cómo usarlos de manera apropiada	Seleccionó y utilizó todos los materiales y equipos de manera adecuada con base en la pregunta de investigación.
Recopilación de datos	No hubo recopilación de datos	Datos recogidos, pero no son relevantes para la	Se recogieron algunos datos relevantes para la	Se recopilaron todos los datos relevantes para la
		formulación de la hipótesis	formulación de la hipótesis	formulación de la hipótesis
Análisis de datos	No se analizaron los datos	Analizó los datos parcialmente, explicando la teoría solo en parte	Analizó parcialmente los datos para probar la teoría	Analizó todos los datos para probar la teoría
Conclusión	No llegó a ninguna conclusión	La conclusión desarrollada no está conectada con la pregunta, ni la hipótesis	Algunas de las conclusiones desarrolladas están conectadas con la pregunta problema y la hipótesis	Todas las conclusiones desarrolladas están conectadas con la pregunta de investigación y la hipótesis
Colaboración en equipo	No todos los miembros del grupo participaron en la investigación	Algunos miembros del grupo participaron, pero con bajo compromiso	Algunos miembros del grupo participaron activamente y con compromiso	Todos los miembros del grupo participaron con compromiso de manera activa.
Comunicación	La comunicación entre los miembros del grupo era muy difícil y no había clima para el trabajo en equipo.	Los miembros del grupo se comunicaron de manera poco fluida.	La comunicación entre los miembros del grupo fue buena y se estableció una buena discusión con base en los resultados	La comunicación entre los miembros del grupo fue muy buena, se favoreció la discusión y el trabajo en equipo.

ANEXO M: ESCALA LIKERT- EVALUACION.

Escala Likert sobre el proceso realizado en el Semillero de Bioquímica Inorgánica.

Propósito: Identificar percepciones y actitudes de los estudiantes frente a la metodología de aprendizaje del semillero de Bioquímica.

1. Nombre del estudiante

Escriba su respuesta

2. Grado

Noveno

Decimo

3. ♦ **Instrucciones generales** Lee cada afirmación y marca el nivel de acuerdo que más se acerque a tu experiencia en las clases de química.

Usa la siguiente escala:

- **1** Totalmente en desacuerdo
- **2** En desacuerdo
- **3** Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- **4** De acuerdo
- **5** Totalmente de acuerdo

Si entendiste por favor coloca "OK" *

Escriba su respuesta

4. Dimensión 1: Enganchar *

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
El profesor me invita a recordar o expresar lo que ya sé sobre un tema antes de comenzar una nueva unidad.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En clase puedo compartir mis ideas sin temor a equivocarme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Dimensión 2: Elicitar *

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Las actividades iniciales me despiertan curiosidad por el tema.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Los ejemplos y preguntas del profesor me motivan a participar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Dimensión 3: Explorar *

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Realizamos experimentos o actividades prácticas para descubrir conceptos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tengo oportunidad de trabajar en grupo para explorar diferentes ideas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Dimensión 4: Explicar *

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Después de experimentar, analizamos los resultados para comprender los conceptos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El profesor me ayuda a relacionar mis observaciones con la teoría.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

⋮

8. Dimensión 5: Elaborar *

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Puedo aplicar lo aprendido en nuevas situaciones o problemas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Las actividades me ayudan a relacionar la química con mi entorno cotidiano.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Dimensión 6: Evaluar *

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
El profesor me da oportunidades para autoevaluar lo que aprendí.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comprendo los criterios con los que se evalúa mi desempeño en clase.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ANEXO N: PROPUESTA SALIDA DE CIERRE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EDUCACION AMBIENTAL

SEMILLERO DE QUIMICA BIOINORGANICA

PROPUESTA SALIDA DE CIERRE

Fecha: 17 de marzo de 2025

Coordinador Ivan Casas,

Para lograr generar un aprendizaje por basado en indagación en los diferentes estudiantes pertenecientes al semillero de Química Bioinorgánica se propone una salida pedagógica a la Universidad Pedagógica Nacional, más exactamente al laboratorio de química del departamento de química. Esta salida tendrá como objetivo aplicar los diferentes conceptos trabajados y construidos a través de todo el proceso de aprendizaje basado por indagación en una práctica de laboratorio real de espectroscopia por absorción atómica.

En el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes es importante que se realicen diferentes actividades experienciales que potencien las habilidades de aplicación de conceptos en contextos reales. Por ello durante la visita los estudiantes tendrán la oportunidad de poner a prueba lo trabajado en el semillero en un laboratorio de química real, en donde el estudiante tendrá un papel activo ya que será el, quien proporcione la información y muestras para lograr la prueba adecuada además de interactuar con los espacios de la universidad.

Por último, se quiere desarrollar en los estudiantes un pensamiento crítico, reflexivo y científico en torno a sus prácticas y formas de aprender ya que en estos espacios es donde 15 estudiantes logren adaptarse y explorar nuevos contextos que logren aportarle a su formación académica y futuras aspiraciones profesionales. En ese orden de ideas se propone para la salida pedagógica el miércoles 21 de mayo, además a eso el itinerario de trabajo seria:

- 6:30 a 7:00: Reunión de estudiantes semillero de Química Bioinorgánica.
- 7:00 a 8:30: Desplazamiento Colegio Buenavista – Universidad Pedagógica Nacional.
- 8:30 a 9:30: Reconocimiento, información y organización del trabajo de laboratorio.
- 9:30 a 11:30: Trabajo de laboratorio: Laboratorio de espectroscopia por absorción atómica.
- 11:30 a 12:00: Descanso en las instalaciones de la universidad.
- 12:00 a 1:30: Actividad final.
- 1: 30: 3:00: Desplazamiento: Universidad Pedagógica Nacional- Colegio Buenavista.

Lo importante de la actividad siempre será el aprendizaje y formación de los estudiantes por ello agradezco su colaboración y espero su pronta respuesta.

Cordialmente,

Docente Camilo Daza

ANEXO O: VALIDACION INSTRUMENTOS

Rúbrica de Validación: Instrumentos de ABI modelo 7E

Nombre del Evaluador experto: Edna Tatiana Salguero Rojas

Docente de Maestría En didáctica Universidad de la Salle

Escala de Valoración

- **5.0 - 4.6 (Excelente):** Cumplimiento profundo y riguroso.
- **4.5 - 4.0 (Satisfactorio):** Cumplimiento claro con detalles menores a mejorar.
- **3.9 - 3.0 (En Proceso):** Cumplimiento parcial, requiere corrección conceptual.
- **2.9 - 1.0 (Insuficiente):** No cumple los mínimos o información incorrecta.

1. Planteamiento del Problema e Hipótesis

Aplica para: *Planteamiento de preguntas problemas e Hipótesis y Discusión Teórica.*

Criterio	Excelente (5.0 - 4.6)	Satisfactorio (4.5 - 4.0)	En Proceso (3.9 - 3.0)	Insuficiente (2.9 - 1.0)
Pregunta Problema	La pregunta es abierta, investigable y establece claramente una relación causa-efecto entre variables.	La pregunta es investigable, pero la relación entre variables es débil o ambigua.	La pregunta es cerrada (sí/no) o poco relevante para el contexto científico.	No formula pregunta o carece de sentido lógico.
Hipótesis	Predicción lógica, falsable, con estructura "Si... entonces..." y basada en teoría.	Hipótesis lógica, pero con fallas en la estructura o conexión débil con la pregunta.	Suposición sin fundamento claro o no responde a la pregunta planteada.	No hay hipótesis o no es comprobable.
Variables	Identifica correctamente variable independiente, dependiente y controladas.	Confunde ocasionalmente la variable dependiente con la independiente.	Menciona factores, pero no los clasifica como variables experimentales.	No identifica variables correctamente.

Total: 11/ 15

Observaciones: Es fundamental considerar las diversas variables que pueden surgir durante el desarrollo y la formulación de las preguntas de investigación, ya que omitirlas podría generar confusión en el estudiante.

Asimismo, es indispensable asegurar que el alumno comprenda la importancia y la finalidad de las hipótesis como afirmaciones. Desde una perspectiva conceptual, los instrumentos deben permitir que el estudiante reconozca las diferencias entre las variables, competencia que constituye la base para la generación de diseños experimentales.

2. Marco Teórico y Conceptual

Aplica para: *¿Qué son las plantas hiperacumuladoras?* y *Discusión Teórica (Explorar)*.

Criterio	Excelente (5.0 - 4.6)	Satisfactorio (4.5 - 4.0)	En Proceso (3.9 - 3.0)	Insuficiente (2.9 - 1.0)
Concepto: Hiperacumulación	Define con precisión y explica el mecanismo biológico de absorción de metales.	Define correctamente el concepto, pero la explicación biológica es superficial.	Idea vaga del concepto o confusión con otros procesos botánicos.	Definición incorrecta o copia textual sin comprensión.
Justificación Teórica	Usa fuentes confiables para justificar la relevancia del experimento y conectar con la hipótesis.	Usa teoría correcta pero no la conecta totalmente con la propuesta experimental.	Información teórica escasa o de fuentes poco fiables.	Marco teórico vacío o sin justificación.
Terminología Científica	Uso preciso de vocabulario (fitorremediación, metales pesados, translocación).	Uso de vocabulario científico con imprecisiones menores.	Lenguaje coloquial, carece de tecnicismos necesarios.	Uso de lenguaje inadecuado.

Total: 11/15

Observaciones: El estudiante no debe limitarse a la adquisición de un único concepto; requiere indagar en múltiples fuentes que le permitan precisar y contrastar definiciones. Es en este punto donde, a partir de los contenidos, es posible articular procesos didácticos orientados al desarrollo de habilidades que respondan a las competencias específicas de cada área.

3. Diseño y Metodología Experimental

Aplica para: *Elaboración y exploración: Diseños Experimentales y Diseños experimentales.*

Criterio	Excelente (5.0 - 4.6)	Satisfactorio (4.5 - 4.0)	En Proceso (3.9 - 3.0)	Insuficiente (2.9 - 1.0)
Materiales	Lista detallada con cantidades exactas y justificación de uso.	Listas materiales necesarios, pero omite detalles de cantidades.	Lista incompleta; faltan elementos esenciales.	No listas materiales o son incoherentes.
Procedimiento	Secuencia lógica, ordenada y reproducible. Incluye tiempos de observación.	Secuencia lógica, pero faltan detalles para replicar el experimento exactamente.	Pasos desordenados o difíciles de seguir.	Procedimiento inviable o inexistente.
Control Experimental	Establece claramente grupo control y grupos experimentales.	Menciona comparación, pero no define bien las condiciones del control.	No contempla un control para validar resultados.	No comprende la necesidad de comparar condiciones.

Total: 11/15

Observaciones: "Si bien la edad de los estudiantes favorece su autonomía, la planificación del material y los instrumentos sigue siendo esencial para el éxito de las prácticas. Es necesario que ellos tengan claridad sobre los pasos a seguir, articulando esto con las metas del enfoque ABI. Finalmente, se debe promover siempre la validación y el contraste de los resultados a lo largo de los diferentes momentos de la práctica."

4. Aspectos Formales

Aplica para: *Todos los formularios.*

Criterio	Excelente (5.0 - 4.6)	Satisfactorio (4.5 - 4.0)	En Proceso (3.9 - 3.0)	Insuficiente (2.9 - 1.0)
Diligenciamiento	Todos los campos completos con la profundidad solicitada.	Campos llenos, respuestas breves.	Faltan campos o están incompletos.	Formulario mayormente vacío.
Ortografía y Redacción	Coherente, cohesiva y sin errores.	Comprensible con errores mínimos (1-3).	Errores frecuentes que dificultan lectura.	Redacción incomprensible.

Total: 8/10

Sugerencias y observaciones

Aunque la madurez de los estudiantes propicia su autonomía, la planificación rigurosa de materiales e instrumentos permanece como un factor determinante para el éxito de las prácticas. Resulta imperativo que el alumnado comprenda con precisión los procedimientos, alineándolos con los objetivos del enfoque ABI. En última instancia, es crucial fomentar la validación y contrastación de los hallazgos en cada fase de la actividad experimental.