

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Estatal



Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Departamento de Postgrado

Trabajo de postgrado para Optar por el Título de Magister en Química

TÍTULO:

Concentración de Paraquat en Mazorca Zea Mays y Efectos en la Salud Humana
en La Vega, Rep. Dom. Año 2023

Sustentantes:

Andy Mariela Ureña Adrián
Cándida Mercedes Concepción Acevedo

Asesora:

Dra. Laura Méndez

Cotuí, Prov. Juan Sánchez Ramírez
Año Académico 2023

TÍTULO

CONCENTRACIÓN DE PARAQUAT ALEMÁN EN MAZORCA ZEA MAYS
Y EFECTOS EN LA SALUD HUMANA EN LA VEGA, REP. DOM. AÑO 2023

Hoja de Evaluación

CONCENTRACIÓN DE PARAQUAT EN MAZORCA ZEA MAYS Y EFECTOS EN
LA SALUD HUMANA EN LA VEGA, REP. DOM. AÑO 2023

Trabajo final de maestría sometida a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental
(UTECO), como requisito parcial para obtener el título de Magister en Química.

Sustentantes:

Andy Mariela Ureña Adrián
Cándida Mercedes Concepción Acevedo

Dr. Laura Méndez
Asesora

Dr. Oscar Corona
Miembro del Comité Evaluador

Dr. Amable Santos
Miembro del Comité Evaluador

Mtr. Nelson Sánchez
Miembro del Comité Evaluador

Licda. Yudelka Altagracia Reyes
Directora de Postgrado

Dionisio Ripoll, M.A
Decano de Facultad de Postgrado y Educación Continuada

Calificación: _____

Cotuí, Prov. Juan Sánchez Ramírez
Año Académico 2023

Declaración de Autoría

Los conceptos emitidos en la presente propuesta de investigación titulada “Concentración De Paraquat En Mazorca Zea Mays Y Efectos En La Salud Humana En La Vega, Rep. Dom. Año 2023” son responsabilidad de las sustentantes de la misma. Las citas y consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor; por tanto, se libera a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción total o parcial se requiere de su autorización.

ÍNDICE

Hoja de Evaluación	IV
Declaración de Autoría	V
DEDICATORIA	X
AGRADECIMIENTOS	XIII
RESUMEN	XVII
CAPÍTULO I	18
INTRODUCCIÓN	18
1.1. Antecedentes	18
1.2. Planteamiento del Problema.....	25
1.3. Justificación.....	28
1.4. Objetivos	30
1.4.1 Objetivo general	30
1.4.2 Objetivos específicos.....	30
1.5. Variables e indicadores (objetivos específicos, variables e indicadores).....	31
1.6. Definición de términos	32
1.7. Marco contextual.....	35
1.8. Alcance y límite de la investigación	38
1.8.1 Alcance	39
1.8.2 Límites	39
CAPÍTULO II	41
REVISIÓN DE LITERATURA	41
2.1. Introducción	41
2.2. Los plaguicidas.....	41
2.3. Vías de exposición y tipos de intoxicación por plaguicidas.....	47
2.4. Los herbicidas	49
2.5. Herbicida para el control de las malezas	51
2.5.1. Presencia residual o concentración de herbicidas en los suelos y frutos	52
2.6. Las arvenses o malezas	54
2.7. Herbicida Paraquat	55

2.7.1. Efectos del uso del Paraquat en la salud humana	58
2.8. El maíz (Zea mays)	60
2.9. Características de la planta	61
2.9.1 Raíces y tallo	61
2.9.2 Hojas e inflorescencia.....	62
2.9.3 Mazorca de maíz (Zea mays).....	62
2.10. Requisitos y condiciones del cultivo.....	63
2.10.1 Extracción	63
2.10.2. Período de cosecha del cultivo de maíz	64
CAPÍTULO III.....	65
METODOLOGÍA	65
3.1. Introducción	65
3.2. Diseño y tipo de investigación (enfoque, tipo y método)	65
3.3. Población, muestra y muestreo (criterio de inclusión y exclusión).....	66
3.3 . Técnicas de recolección de datos (Instrumentación).....	68
3.3.1. Técnicas de recolección de datos	68
3.4. Validez y confiabilidad	76
3.5. Procedimiento.....	77
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DICUSION DE RESULTADOS	80
4.1 Introducción.	80
4.2. Resultados, análisis e interpretación de los datos	80
4.2.1. Primer análisis. Linealidad de la curva de Paraquat por AOAC	80
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	93
5.1. Conclusiones	93
5.2. Recomendaciones.....	97
ANEXOS	111

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS

Cuadro 1.5.1 Operacionalización de las Variables	31
Cuadro 2.2.1 Plaguicidas por tipo de organismo controlado	42
Cuadro 2.2.2 Principales tipos de plaguicidas	42
Cuadro 2.2.3 Clasificación de plaguicidas según su grupo químico	43
Cuadro 2.2.4 Clasificación de plaguicidas según toxicidad	44
Cuadro 2.2.5 Clasificación de plaguicidas según persistencia	44
Cuadro 2.2.6 Clasificación de plaguicidas según su formulación	45
Cuadro 2.2.7 Clasificación de plaguicidas según aplicación	45
Cuadro 2.3.1.1 Rutas principales de ingreso de los agroquímicos en el cuerpo humano .	47
Cuadro 2.4.1 Ventajas y desventajas de uso de herbicidas	50
Cuadro 2.10.1.1. Requisitos y extracción en grano de nutrientes para producir una tonelada de maíz	64
Tabla 1. Prueba inicial de la linealidad de la curva de Paraquat.....	81
Tabla 2. Segundo análisis de linealidad de la curva de Paraquat.....	82
Tabla 2.1. Datos para la curva de calibración de Paraquat por el método AOAC, partiendo de una solución de 24mM Paraquat en 250mL.....	83
Tabla 3. Caracterización Física del maíz procedente de las diferentes fincas	85
Tabla 4. Resultado de las muestras de maíz con o sin Paraquat en tres fincas	86
Tabla 5. Resultados de las muestras de maíz de la finca 1 y 2 con presencia de Paraquat y sus niveles de concentración.	89
Tabla 6. Estudio de Recuperación de Paraquat en las muestras de maíz en la Finca 1 y 2 con mayor concentración	91

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	111
ANEXO 1. CRONOGRAMA DE TESIS DE MAESTRÍA EN QUÍMICA	111
ANEXO 2. CÁLCULOS DE LAS CONCENTRACIONES MOLARES.....	112
ANEXO 3. PRUEBAS PRELIMINARES PARA CONSEGUIR EL MEJOR R^2	112
Tabla1. Datos linealidad de la curva Paraquat (Primera prueba).....	112
Tabla2. Datos de linealidad de la curva Paraquat (Segunda prueba)	113
ANEXO 4. PANEL FOTOGRÁFICO.....	114
Imagen 1. Paraquat Alemán (1,1'-dimetil-4,4'-bipiridinio dicloruro).....	114
Imagen 2. Alícuotas de solución (250 mL) Paraquat.....	115
Imagen 3. Cambio de color (De marrón a azul) del Paraquat mientras está en reposo.	116

DEDICATORIA

A mis padres Rafael Ureña y Ana Cristina Adrián:

Su apoyo ha desempeñado un papel crucial en esta extensa travesía, siempre presente incluso en los momentos más desafiantes. Estoy profundamente agradecida por tener padres tan excepcionales; todo lo que soy se lo debo a ustedes. Les agradezco por inculcarme la idea de que el éxito se alcanza mediante el esfuerzo, el compromiso, la responsabilidad y la integridad.

A mi hija Abigail:

Tú eres mi tesoro más valioso, este logro te lo dedico a ti, mi mayor inspiración para aspirar a alcanzar grandes éxitos. Te agradezco por demostrarme que, a pesar de ser madre, también puedo perseguir mis sueños y metas.

A mis hermanos Stalin y Edwin Ureña:

Aprecio su apoyo incondicional, por ser una presencia constante en cada etapa de mi vida. Estoy consciente de que se sienten muy orgullosos de mis logros. Espero que sigamos compartiendo momentos de celebración por este éxito y los que aún están por venir, siempre juntos.

A mis colegas y amigos Luís Alberto Felipe, María Magdalena José y Cándida Mercedes Concepción:

Es un verdadero privilegio tener personas tan maravillosas como ustedes en mi vida. Siento que la vida me regaló una gran familia al cruzar nuestros caminos, y nunca imaginé que esta amistad perduraría para siempre. Les agradezco por estar a mi lado en todo momento.

A mis compañeros de trabajo:

Es un honor trabajar junto a ustedes. Su constante ánimo me ha inspirado a perseverar en la búsqueda del conocimiento.

A mis tíos, tías, primos:

Son un componente fundamental en este logro; son las personas más excepcionales que uno podría desear. Cada uno de ustedes me ha demostrado que alcanzar nuestros sueños es factible si nos lo proponemos y confiamos en la voluntad de Dios. Su apoyo es una fuente inmensa de motivación para mí.

Andy Mariela Ureña Adrián

DEDICATORIA

A mis padres, Juana Acevedo y Eduardo Concepción:

Les debo mi gratitud eterna. Su amor incondicional y valores sólidos me han moldeado como individuo y académica. Su dedicación y sacrificio para brindarme una educación de calidad son un regalo que atesoro profundamente. Esta tesis es un tributo a su inquebrantable apoyo y creencia en mí.

A mi esposo Ányelo Acevedo:

Cuyo amor, paciencia y apoyo inquebrantable han sido el faro que ilumina mi camino a lo largo de esta travesía académica. Tu constante aliento y comprensión han sido mi mayor fortaleza, y esta tesis es un testimonio de nuestro compromiso compartido en la búsqueda del conocimiento y el crecimiento personal.

A mi adorada hija, Laia Acevedo:

Quiero que sepas que cada logro en mi camino académico es un homenaje a ti. Tu alegría, curiosidad y amor son mi inspiración constante. Espero que esta tesis te enseñe la importancia de perseguir tus sueños y nunca dejar de aprender.

A mis colegas y amigos de estudio Andy Mariela Ureña, María Magdalena José y Luís Alberto Felipe:

Su amistad y respaldo han sido un faro en las aguas turbulentas de la vida académica y laboral. Su colaboración y aliento han enriquecido mi experiencia de aprendizaje y han contribuido al éxito de este proyecto.

Y en un momento de profunda tristeza, dedico esta tesis a la memoria de mi querida compañera, **Yeraldina Cuello**. Su ausencia física es una pérdida irremplazable, pero su espíritu vivirá para siempre en nuestros corazones. Su pasión por la investigación y su amabilidad inquebrantable continúan inspirándome cada día.

Cándida Mercedes Concepción Acevedo

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por siempre acompañarme y permitirme llegar hasta este momento en la vida. Su guía y apoyo espiritual han sido fundamentales para mantenerme enfocada y motivada durante los desafíos académicos que he enfrentado.

A La Universidad Tecnológica Del Cibao Oriental (UTECO):

Alta casa de estudios, por acogernos como profesionales y permitirnos aumentar nuestros conocimientos prácticos y teóricos.

A la coordinadora Ramona Ferreira:

Extraordinario ser humano que, con amor, entrega y disponibilidad total, asumió como suya esta tarea al acompañarnos y dirigirnos. Nuestros corazones se honran y se unen para manifestar nuestro más profundo agradecimiento por ser una persona especial.

A la asesora Dr. Laura Méndez:

Su compromiso, experiencia y dedicación fueron cruciales para el éxito de este proyecto de investigación. Este trabajo es un testimonio de su dedicación y mentoría, y estoy profundamente agradecida por haber tenido la oportunidad de trabajar bajo su supervisión.

Al Ing. Agrónomo Felipe Bianell Cepeda:

Por permitirnos acceder a sus fincas y por facilitarnos los recursos, lo que ha sido fundamental para la recopilación de datos y la realización de este estudio. La generosidad y su colaboración han sido invaluable.

Al Instituto Superior de Agricultura (ISA):

Por abrirnos las puertas de sus instalaciones y equipos de última generación, fue esencial para la recopilación de datos y el desarrollo de experimentos. La colaboración y

el apoyo del personal técnico y científico del laboratorio fueron cruciales para superar los desafíos técnicos y metodológicos que surgieron a lo largo de esta investigación.

A mi compañera Cándida M. Concepción Acevedo:

Estoy profundamente agradecida por haber tenido la oportunidad de trabajar junto a ti en esta investigación. Gracias por la dedicación, compromiso, pasión, entrega, el trabajo arduo y las largas horas de trabajo en el laboratorio de Química.

Andy Mariela Ureña Adrián

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Fuente de toda sabiduría y fortaleza, quiero expresarle mi profundo agradecimiento en este momento tan especial de mi vida, por guiar mis pasos y concederme la fuerza para completar este viaje académico.

A La Universidad Tecnológica Del Cibao Oriental (UTECO):

Por proporcionarme las herramientas y el entorno necesario para mi formación académica. Estoy agradecida por la oportunidad de aprender y crecer en esta institución.

A mis padres, Juana Acevedo y Eduardo Concepción:

Quienes desde el principio creyeron en mí y me han apoyado incondicionalmente en cada paso de mi educación. Su dedicación y amor han sido mi mayor inspiración.

A mi esposo, Anyelo Acevedo:

Por su amor, paciencia y constante apoyo. Tú has sido mi roca en los momentos de desafío y mi compañero en cada triunfo. Este logro es tan tuyo como mío.

A mi asesora, Dra. Laura Méndez:

Por su orientación experta y consejos valiosos a lo largo de este proyecto. Su sabiduría y guía han sido fundamentales en mi desarrollo académico.

A mi querido amigo Agrónomo Felipe Bianell Cepeda:

Por su amistad inquebrantable y su voluntad de escuchar mis ideas y preocupaciones. Tu apoyo moral y aportes de conocimientos han sido un regalo invaluable.

A mi amiga, comadre y compañera de tesis Andy Mariela Ureña:

Gracias por tu amistad y apoyo constante a lo largo de este viaje académico. Tu colaboración ha sido esencial para el éxito de esta investigación. Gracias por ser una parte valiosa de este logro. Tu dedicación y colaboración fueron fundamentales.

A mis amigos adorados Yadira Almánzar y Pablo Gómez:

Por estar a mi lado durante este viaje. Sus palabras de aliento, apoyo incondicional y risas compartidas hicieron que este proceso fuera más llevadero.

Cándida Mercedes Concepción Acevedo

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Estatal



Título: Concentración de Paraquat Alemán en Mazorca Zea Mays y Efectos en la Salud Humana en La Vega, Rep. Dom.

Sustentando por: Cándida Mercedes Concepción Acevedo y Andy Mariela Ureña Adrián

Asesora: Dra. Laura Méndez

RESUMEN

El Paraquat es un herbicida del grupo de los biperidilos, se ha convertido en un tema de interés en la agricultura debido a su uso en cultivos como el maíz. **Objetivo:** Cuantificar los niveles de Paraquat en mazorcas de maíz Zea Mays y evaluar sus efectos en la salud humana en La Vega, República Dominicana. **Metodología.** Para la concentración de Paraquat se empleó el método de la AOAC969.09 por espectrometría UV-Visible modificando el ditonito de sodio por ácido ascórbico y el Paraquat como estándar. Se prepararon quince muestras de maíz con o sin Paraquat. Todos los análisis de las muestras y el estándar se realizaron por triplicado. Los datos se analizaron estadísticamente. **Resultados:** se encontró que el mejor rango de linealidad estaba al usar 4ml de ácido ascórbico, 3ml EDTA y 3ml de NaOH 2M ($R^2=0.9860$). Se demostraron que las muestras de maíz de las fincas 1 y 2 con Paraquat presentaron entre 0.54 mg/L y 0.50mg/L, respectivamente y %CV <5%. Mientras las muestras de maíz sin Paraquat (Finca 3), se encontraban la concentración del analito (0.24mg/L) por debajo de las concentraciones mostradas en las fincas con presencias de Paraquat. El % de recuperación obtenido en las muestras de maíz de la finca 1 y 2 fueron de 100,0 y 103.4% comprobando la veracidad del estudio y el método es adecuado para Paraquat. **Conclusión:** Se encontraron que las concentraciones de Paraquat estaban por debajo de los valores aceptados por la FAO (1mg/L), eso es indicativo de que el maíz es apto para el consumo y los agricultores usan las dosis apropiadas para los cultivos de maíz. También se evidenció que las muestras de maíz sin Paraquat presentaban el analito.

Palabras clave: Paraquat, herbicida, maíz, salud humana, espectrometría UV-Vis, concentraciones.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Montalvo (1983), realizó pruebas de campo para evaluar la efectividad de plaguicidas y analizar los residuos en diversos cultivos. Se tomaron muestras al azar de cultivos como caña de azúcar, yautía, ñame, yuca, gandules y acerolas para determinar los niveles de residuos de varios plaguicidas, incluyendo Acephate, Paraquat, Ametryn, Benomyl y Permethrin. La determinación de los herbicidas se llevó a cabo, utilizando métodos espectrofotométricos y cromatografía de gases para la extracción, limpieza y detección. Se encontró que la mayoría de los cultivos tenían niveles de residuos de plaguicidas por debajo de las tolerancias establecidas. No se detectaron residuos de Paraquat en las frutas de acerola, ni en el follaje, vaina o grano verde del gandul, ni en los tubérculos del ñame. Los niveles de residuos de Ametryn y sus metabolitos en ñame, yautía y yuca fueron bajos, <0.08 ppm. Los metabolitos de Benomyl en ñame estuvieron <25 ppb. Los niveles de Acephate y su metabolito en caña de azúcar fueron muy bajos en todos los tejidos. Permethrin presentó concentraciones más altas en vaina y follaje, menor en grano verde. En general, recuperación de ingredientes activos y metabolitos >80%.

En un estudio realizado por Picó y Moltó (1990), se investigaron los residuos de los herbicidas Diquat, Paraquat y glifosato en aceites comestibles. Utilizaron cromatografía líquida de alta resolución con detección UV para el análisis. Emplearon columnas de octadecilsílice y una fase móvil compuesta por metanol y fosfato monopotásico (KH_2PO_4) en una proporción de 4:96 (v/v), ajustada a pH 2,1 con ácido fosfórico. La extracción se realizó utilizando un tampón de fosfatos a pH 7, obteniendo una recuperación entre el 90% y el 93%. Sin embargo, en el análisis de doce muestras de aceite de oliva virgen tratadas con estos herbicidas, no se encontraron residuos de Paraquat ni de glifosato. Solo se detectaron trazas de Diquat en dos de las muestras. Estos resultados

indican la efectividad de los tratamientos y la baja presencia de residuos de herbicidas en los aceites comestibles estudiados.

En ese mismo orden, Luna, et al. (2008), se propusieron abordar la necesidad de un método confiable para cuantificar el herbicida Paraquat en muestras de orina. Su objetivo fue superar las limitaciones de las pruebas semicuantitativas utilizadas en el diagnóstico clínico de intoxicación por Paraquat. Para lograrlo, utilizaron la metodología basada en la técnica de análisis por inyección en flujo con detección espectrofotométrica.

Los resultados obtenidos en su estudio demostraron la efectividad del método propuesto. Lograron medir concentraciones de Paraquat en un rango de 1-50 $\mu\text{g mL}^{-1}$ con alta precisión. La frecuencia de análisis fue eficiente, con 12 muestras por hora, y la desviación estándar relativa fue baja, del 2,8% para muestras de 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de Paraquat.

Concluyeron que, los hallazgos podrían contribuir significativamente a la práctica clínica al brindar una herramienta efectiva para el diagnóstico y manejo de intoxicaciones por Paraquat.

Por otra parte, Vargas (2010), determinó la concentración de Gramoxone® (Paraquat) en peces ornamentales Rodostomos. Se utilizaron como métodos, un diseño experimental y análisis histopatológicos. Para cumplir tal procedimiento, los peces se expusieron a diferentes concentraciones de Paraquat y se registraron cambios en el comportamiento y efectos en los órganos. Se observó que, la CL50 para Gramoxone después de 96 horas de exposición fue de 32,83 ppm. Durante ese tiempo, los peces exhibieron cambios en su comportamiento como resultado del estrés, incluyendo nado irregular, movimientos mínimos, boqueo, pérdida de la dirección en el nado y un aumento en la frecuencia respiratoria. La mortalidad correspondió al 20,8% en una concentración de 0 ppm, al 12,48% en 1 ppm, al 37,44% en 15 ppm y al 4,16% en 30 ppm. Las concentraciones de 45 ppm, 70 ppm y 150 ppm causaron una mortalidad del 100%. Los resultados mostraron cambios comportamentales y lesiones en branquias e hígado. La mortalidad aumentó con la concentración de Paraquat, concluyó, que el Paraquat es tóxico, generando lesiones en órganos y aumentando la mortalidad en peces ornamentales.

En la investigación realizada por Lara (2015), se validaron métodos electroquímicos para la cuantificación de los plaguicidas glifosato, Paraquat, Metomil, Carbofurano y Mancozeb en muestras de papa, y evaluar la presencia de residuos en muestras recolectadas en el municipio de Ventaquemada. La investigación se realizó utilizando un analizador voltamperométrico, donde se empleó una solución buffer Britton-Robinson como electrolito de soporte, un electrodo de carbón vítreo como electrodo de trabajo, Ag/AgCl como electrodo de referencia y platino como electrodo auxiliar. Los métodos demostraron resultados precisos y confiables con una precisión y exactitud variando entre 83.016% y 96.90% para los plaguicidas evaluados. Los límites de detección y cuantificación para los compuestos fueron: 0,074 ppm y 0,19 ppm para glifosato, 0,05 ppm y 0,55 ppm para Paraquat, 0,12 ppm y 0,32 ppm para Metomil, 0,5 ppm y 1,98 ppm para Carbofurano y 0,015 ppm y 0,076 ppm para Mancozeb. Se encontró que ninguna de las muestras excedió el Límite Máximo Residual (LMR) de glifosato (15 mg/kg) y Mancozeb (0,2 mg/kg), 97 muestras superaron el LMR de Paraquat (0,05 mg/kg), 100 muestras excedieron el LMR de Carbofurano (0,2 mg/kg) y no se detectó Metomil en ninguna de las muestras analizadas. Estos resultados resaltan la importancia de evaluar y controlar los niveles de residuos de plaguicidas en los alimentos y su impacto en la salud pública.

Lara, García y Chaparro, (2015), en su trabajo se desarrolló y validó una metodología de voltimetría de onda cuadrada para la cuantificación de Paraquat en muestras de papa. Se empleó la técnica de voltimetría de onda cuadrada como método de cuantificación del Paraquat en papa, utilizando solución buffer Britton-Robinson como electrolito de soporte, un electrodo de trabajo de carbón vítreo, Ag/AgCl como electrodo de referencia y platino como electrodo auxiliar. El herbicida en papa se extrajo por reparto sólido-líquido.

Los resultados obtenidos fueron contrastados mediante espectroscopía UV-Vis, lo que permitió deducir que el método voltamétrico generaba resultados precisos y confiables. La metodología de voltimetría de onda cuadrada se validó exitosamente para la cuantificación de Paraquat en muestras de papa, obteniendo resultados satisfactorios.

Esta investigación representó una alternativa accesible y precisa para el monitoreo de este plaguicida en el cultivo de papa. Anteriormente, la cuantificación de plaguicidas en cultivos y su monitoreo había sido un proceso costoso y de difícil acceso para los cultivadores y las entidades de salud y vigilancia. Sin embargo, esta metodología basada en la voltametría de onda cuadrada brindó una solución más accesible y confiable para el análisis del Paraquat en el cultivo de papa.

El estudio realizado por Yuna et al., (2016), tuvo como objetivo determinar la presencia de Paraquat en muestras de cigarrillos mediante métodos cualitativos y cuantitativos. La metodología consistió en utilizar 5 cigarrillos de 4 marcas populares y realizar dos etapas de experimentación.

En la primera etapa, los cigarrillos fueron macerados y diluidos en agua, seguidos de procesos de filtración y centrifugación para obtener el sobrenadante. Se desarrolló una metodología simplificada que utilizó una técnica colorimétrica para detectar los residuos de Paraquat en el tabaco. En presencia de ditionito de sodio al 1% en medio básico, el Paraquat se reduce a un radical de color azul, cuya intensidad aumenta con la concentración del producto. En la segunda etapa, las muestras se sometieron a lectura en un espectrofotómetro a 600 nm.

Los resultados se obtuvieron mediante absorbancia y se compararon las muestras con un estándar de Paraquat, confirmando la ausencia del agrotóxico en todos los cigarrillos analizados. Se está llevando a cabo un análisis cuantitativo para obtener resultados más precisos, los cuales serán presentados en una conferencia.

Las muestras de cigarrillos presentaron las siguientes absorbancias: Marca 1: 0,061; Marca 2: 0,085; Marca 3: 0,095; Marca 4: 0,098. Estas absorbancias serán comparadas con el estándar. En conclusión, la evaluación cualitativa de la concentración residual del Paraquat en las muestras indicó la ausencia de coloración azulada en todas las marcas de cigarrillos, lo cual sugiere inicialmente que las muestras están libres de contaminación por Paraquat.

En ese orden de ideas, García, et al., (2017), determinaron la presencia de residuos del herbicida Paraquat en lechuga y pollo producidos en la comunidad de La

Brea, Lepaterique, y comercializados en Tegucigalpa, Honduras. Para el estudio de la determinación de residuos de Paraquat, utilizaron la cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD) para el análisis de los residuos y el método fue con baño ultrasónico y la extracción en fase sólida (SPE) con sorbete de intercambio iónico débil. Los resultados mostraron que el límite de detección del Paraquat fue de 0.025 mg/kg, por debajo del límite máximo de residuo establecido por el Codex Alimentarius. Tras analizar 10 muestras de cada vegetal, no se encontraron residuos de Paraquat. Estos hallazgos indican la ausencia de residuos de Paraquat en los productos agrícolas analizados, lo cual es importante para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud de los consumidores.

Alquilano et al. (2017), investigaron los efectos de los desecantes, glifosato y Paraquat, en la calidad de las semillas de cilantro, a través de la germinación y los niveles de residuos de plaguicidas. Los ensayos de germinación siguieron las pautas de la Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA), mientras que los residuos de plaguicidas se analizaron mediante el método QuPPE modificado por LC-MS/MS. El diseño experimental se realizó en parcelas de campo. Los resultados mostraron que la aplicación temprana de Paraquat resultó en un secado rápido de las semillas, mientras que las semillas tratadas con glifosato siguieron un patrón similar al grupo de control. Las semillas tratadas con glifosato mostraron residuos de Gly (glifosato sin metabolizar) que oscilaron entre 700 y 1200 µg/kg para las aplicaciones tempranas y tardías, respectivamente, y residuos de AMPA (ácido aminometilfosfónico) que oscilaron entre 500 y 1200 µg/kg. No se detectaron residuos de Paraquat en las semillas. El estudio destacó que los tratamientos con glifosato dieron lugar a niveles de residuos que excedieron los límites máximos impuestos por Argentina y varios países importadores. Es fundamental desarrollar tecnologías de cosecha para el cilantro que garanticen la seguridad alimentaria y la calidad de las semillas.

El estudio realizado por García et al. (2018), se enfocó en determinar la presencia de residuos de Paraquat en lechuga y repollo cultivados en la comunidad de La Brea y comercializados en Tegucigalpa, a través de la validación del método cromatografía líquida de alta resolución. Este método permitió detectar y cuantificar el Paraquat en menos de 6

minutos. La extracción de los residuos se realizó mediante un proceso de baño ultrasónico con agua como solvente extractor, seguido de una extracción en fase sólida. Se evaluaron varios parámetros para optimizar la eficiencia del proceso de extracción.

El método fue validado mediante la fortificación de las muestras con diferentes concentraciones de Paraquat y se determinaron la linealidad, exactitud y los límites de detección y cuantificación. Los resultados indicaron que el método tenía un límite de detección por debajo del límite máximo de residuos establecido para vegetales de hoja.

En el análisis de las muestras recolectadas, no se encontraron residuos de Paraquat en ninguna de las muestras analizadas. Esto sugiere que los productos comercializados cumplen con los estándares de seguridad alimentaria con relación a la presencia de ese herbicida.

Los hallazgos resaltaron la importancia de contar con métodos de análisis confiables para la detección de residuos de pesticidas en los productos agrícolas, garantizando la calidad y seguridad alimentaria. Además, el estudio proporcionó información relevante sobre la presencia de Paraquat en lechuga y repollo provenientes de la comunidad de La Brea y vendidos en Tegucigalpa.

En el estudio de Alza (2018), se validaron métodos voltamétricos para cuantificar glifosato, Paraquat y Mancozeb en aguas y suelos. Para la investigación, se utilizaron un analizador voltamperométrico con electrolito de soporte, electrodo de trabajo de carbón vítreo y electrodos de referencia y auxiliar. Se analizaron 30 muestras de aguas de veredas en el Municipio de Ventaquemada, encontrando que algunos parámetros no cumplían con los límites establecidos para aguas potables. Las concentraciones de glifosato, Mancozeb y Paraquat en las aguas oscilaron entre 0,202-2,510 mg/L, 0,058-2,453 mg/L y 0,151-1,498 mg/L, respectivamente. En suelos, las concentraciones de glifosato, Mancozeb y Paraquat variaron entre 0,231-2,191 mg/L, 0,232-4,261 mg/L y 0,417-1,514 mg/L, respectivamente. Los límites de detección y cuantificación obtenidos fueron: 40 ppb y 50 ppb para glifosato, 130 ppb y 190 ppb para Paraquat, y 3×10^{-4} ppm y 0,5 ppm para Mancozeb. Concluyeron que, la mayoría de las muestras superaban los límites máximos permitidos para plaguicidas y en consecuencia los resultados fueron

preocupantes, ya que representaron un riesgo para la salud de los agricultores y sus familias.

En otro orden, el estudio realizado por Lagunas, (2019), se planteó como objetivo analizar las concentraciones ambientales de herbicidas en la comunidad de El Amacuahuitl, ubicada en el municipio de Arcelia, Guerrero. Para el estudio se utilizó la encuesta y se aplicó un cuestionario a agricultores para identificar los herbicidas más utilizados, y posteriormente se tomaron muestras de agua de pozos y cuerpos de agua superficial en diferentes temporadas del año. Se identificó que los herbicidas más frecuentemente aplicados en la comunidad eran Paraquat, Crosser, Atrazina, Picloram y Diuron. En las muestras de agua, se encontraron concentraciones de atrazina y Diuron, principalmente durante la temporada de lluvia y en menor proporción durante la temporada fría. Las concentraciones promedio fueron de $150.8 \text{ ng/L} \pm 182.18$ para atrazina y $86.56 \text{ ng/L} \pm 100.56$ para Diuron. Por lo que, concluyeron que, estas concentraciones se encontraron por debajo de los límites máximos permitidos por la normatividad y la mayoría de los países reguladores, excepto por la estricta legislación europea. Sin embargo, la presencia de herbicidas en el agua destaca la necesidad de implementar medidas para el uso y manejo adecuado de estas sustancias, así como prácticas agrícolas que reduzcan los riesgos para el medio ambiente y la salud humana.

En ese marco, Patiño y Rivera (2019), estudiaron la morbilidad y mortalidad asociada al uso del pesticida Paraquat. Para la investigación realizaron análisis de registros médicos de 282 pacientes hospitalizados por intoxicación por Paraquat, se determinó que el 37% había ingerido entre 20 y 30 mg/kg, el 34% había ingerido más de 20-30 mg/kg, pero menos de 40-50 mg/kg, y el 29% había ingerido más de 40-50 mg/kg. Estos hallazgos destacan la proporción significativa de casos de intoxicación por Paraquat y la relación dosis-respuesta observada. Se subraya la importancia de la vigilancia, el control y la implementación de medidas preventivas para mitigar los riesgos asociados con el uso de este pesticida.

El estudio realizado por Rojas, et al., (2020), evaluaron los niveles de plaguicidas en suelos agrícolas de la microcuenca Zarzales, Mérida. Tomaron como muestra los cultivos de papas, zanahorias y cebollín; para efectos de la investigación,

utilizaron el método Soxhlet EPA Method 3540C para la extracción de plaguicidas y cromatografía líquida de alta resolución con detector de diodos (HPLC-DAD) para su cuantificación, encontraron alta frecuencia de detección de plaguicidas en los suelos cultivados con zanahorias y papas, los niveles más altos de pesticidas y una mayor frecuencia de detección en todos los cultivos para el Paraquat (21.95 mg/kg en suelos cultivados con zanahorias), el Carbendazim (15.60 mg/kg) y el Mancozeb (4.54 mg/kg) en suelos cultivados con cebollín. Los niveles más altos de plaguicidas se observaron en las etapas iniciales y medias de los cultivos. Estos hallazgos revelan la contaminación de los suelos y la superación de las dosis diarias aceptables de plaguicidas. Esto plantea preocupaciones significativas sobre la seguridad alimentaria y la salud humana. Se destaca la importancia de implementar medidas para reducir el uso de plaguicidas y promover prácticas agrícolas sostenibles. Es esencial monitorear regularmente los niveles de plaguicidas en los suelos agrícolas y fomentar el uso responsable de estos productos para proteger el medio ambiente y la salud de las personas.

1.2. Planteamiento del Problema

Durante siglos, el cultivo de maíz ha establecido un vínculo fundamental entre la humanidad y la tierra, proporcionando sustento a millones de personas en todo el mundo. Este grano, al ser una fuente primordial de alimento y una base económica sólida, se ha convertido en una práctica esencial para garantizar la supervivencia de comunidades enteras, (Montes, 2016).

En la República Dominicana, cultivar maíz es una práctica muy antigua, donde gran cantidad de familias dependen de esta actividad para su subsistencia. Además de ser el alimento principal de aves, cerdos, otros tipos de ganados y en menor proporción para el consumo humano. De hecho, el maíz es una importante fuente de empleo y generación de ingresos para miles de trabajadores y agricultores en el país (Pineda, 2020).

Cabe destacar que, el Ministerio de Agricultura, en el 2021, afirmó que el país tiene una producción de 3,7% a nivel nacional y un consumo de 0.84 libras por día de maíz. Así

mismo se importan anualmente más de US\$ 378,061 millones considerándose como una materia prima de vital importancia.

No obstante, esta actividad está siendo afectada por la presencia de malezas, provoca la reducción del rendimiento potencial de la planta, es decir, compiten con la cosecha por luz, agua, nutrientes y espacio útil, que son necesarios para la productividad agrícola, siendo estas hospederas de insectos, plagas y enfermedades. Por lo que, controlar las malezas a tiempo es esencial para el desarrollo de la producción de maíz, determinar su grado de incidencias es un aspecto fundamental para llevar a cabo los métodos de control apropiado, uno de ellos son los productos químicos a base de herbicidas, de lo contrario puede producir la pérdida hasta de un 80% de la producción (Satore y Kammerath 1990; Doll 1996; Mallory-Smith y Retzinger, 2020).

En la actualidad, el uso de herbicidas en especial el Paraquat Alemán utilizado frecuentemente en La Vega, República Dominicana, ha sido provechoso en el cultivo de maíz, eliminando las malezas en diferentes aplicaciones del producto y preservando el desarrollo de la cosecha, sin embargo, aunque el uso de este herbicida resulta eficaz para controlar las malezas (*hojas ancha*: diente de león, verdolaga..., *hojas finas*: pasto león y guinea..., *perennes*: zarzamora...) (Benejam, 2006), la aplicación de Paraquat produce daños a salud humana debido a su composición química, causando intoxicación por inhalación o por consumo de alimentos o agua contaminada con este herbicida (Los síntomas de la intoxicación por Paraquat involucran trastornos gastrointestinales como dolor abdominal, náuseas y vómitos, así como dificultad respiratoria y tos) (Marín, et al. 2016). Además, se han observado lesiones en las membranas mucosas de la boca y la faringe, así como síntomas como fiebre y pérdida de conciencia (Delirrad et al., 2015). Asimismo, se han reportado convulsiones y diarrea (Kabade, et al. 2015), y se ha evidenciado daños en los pulmones, los riñones y el hígado debido a la inhalación de los gases de Paraquat (Kumar, et al., 2016).

En efecto, la manipulación directa del producto por parte de los trabajadores de la ciudad de La Vega, ha conllevado a estar expuestos durante la actividad, debido a las prácticas inadecuadas en la aplicación del Paraquat, así como el uso de dosis más altas de las recomendadas (1.5 a 2 litros de producto comercial por hectárea, diluidos en agua y

aplicados mediante pulverización), lo que ha implicado que, el maíz esté propenso a contener residuos del herbicida por encima de la normativa establecida de 1mg/L (FAO CODEX ALIMENTARIUS, 2006). A parte de este aspecto señalado, la aplicación en épocas inapropiadas (época de lluvias intensas, los residuos de herbicida pueden pasar a las aguas y los suelos; condiciones de viento fuerte, temperaturas extremas, cerca de ríos lagos...), puede aumentar aún más los riesgos asociados con este químico.

Es importante tener un uso responsable de los productos químicos en la agricultura con el fin de disminuir los riesgos asociados a su aplicación. Es fundamental que se preste atención a la dosificación y el momento de la aplicación para evitar la exposición innecesaria a estos químicos y disminuir los posibles efectos ambientales negativos que puedan generarse (FAO, 2021).

Por otra parte, los consumidores corren el riesgo de ingerir residuos de estos químicos, ya que este alimento se comercializa y está de manera asequible para las personas que lo ingieren. Además, este herbicida resulta ser dañino para el medio ambiente, produciendo contaminación del agua, aire, suelo y demás recursos naturales (PAN International, 2021).

En la presente investigación se pretende cuantificar el nivel de Paraquat alemán presente en la mazorca Zea Mays en La Vega, República Dominicana y cómo éste puede influir en la salud humana por el consumo prolongado del grano.

De igual manera, se plantean las siguientes interrogantes específicas para la sistematización de la investigación:

1. ¿Cómo se puede identificar la presencia de Paraquat en las mazorcas de maíz utilizando la técnica de espectrometría UV-Visible?
2. ¿Cuál es la concentración de Paraquat presente en las mazorcas de maíz en diferentes parcelas, tanto en aquellas con la aplicación de Paraquat como en aquellas sin su aplicación?
3. ¿Cómo se comparan los niveles de concentración de Paraquat en las mazorcas de maíz con los límites permitidos por las normativas nacionales?

4. ¿Cuál es el impacto en la salud humana ocasionado por el uso del herbicida Paraquat en el cultivo de maíz y cómo se puede evaluar este impacto?

1.3. Justificación

Desde los inicios de la agricultura, los agricultores han estado preocupados por la protección y el mantenimiento de sus cultivos para asegurar su sustento. En la actualidad, la industria química ha progresado en gran medida en la lucha contra las plagas que afectan los productos agrícolas, pero el uso de pesticidas agresivos sigue siendo una preocupación debido a sus efectos en la salud humana y el medio ambiente.

Con la expansión de la agricultura para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos, el uso de pesticidas se ha vuelto más común. Aunque los pesticidas han sido una herramienta valiosa para proteger los cultivos y aumentar la productividad, su uso excesivo y los impactos en la salud humana y el medio ambiente han llevado a una creciente preocupación y una regulación más estricta en muchos países (Liu et al., 2020).

En particular, el herbicida Paraquat es ampliamente utilizado en la agricultura para el control de malezas, pero su uso representa un alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente. La exposición de este herbicida puede ser a través de la inhalación del producto durante la aplicación, o a través de la ingestión de alimentos o agua, contaminados con el herbicida.

Los agroquímicos son productos químicos utilizados para proteger los cultivos agrícolas de las plagas y enfermedades que podrían disminuir su producción y calidad. Sin embargo, algunos de estos productos químicos son altamente tóxicos, encontrándose el Paraquat, el cual es comúnmente utilizado en todo el mundo y puede representar un peligro para la salud humana incluyendo efectos sobre el sistema nervioso, la función renal, el desarrollo fetal, la función pulmonar y el riesgo de enfermedades como Parkinson y cáncer (Harris, 2007; UNEP/FAO, 2012), sin dejar a un lado el envenenamiento es frecuente entre los trabajadores agrícolas y los consumidores.

Asimismo, el Paraquat, se ha relacionado con efectos sobre la fauna y flora acuáticas, la calidad del suelo y la biodiversidad. En esa perspectiva, Martin y Arenas (2018), realizaron un estudio sobre residuos químicos y riesgos para las abejas, debido a que los herbicidas tienen un impacto en el medio ambiente y la salud del ecosistema. Es de suma importancia determinar el nivel de contaminación por pesticidas de los productos agrícolas que se consumen ya que estos se contaminan por fumigación directa, contaminan el suelo y el agua de riego y generalmente son productos que se consumen sin lavarse y cocinarse adecuadamente.

La realización de estudios sobre la concentración de Paraquat en la mazorca de maíz es fundamental para comprender su impacto potencial en la salud humana, dado que este cultivo es ampliamente consumido en diversas partes del mundo y se utiliza con frecuencia en la agricultura. En este sentido, la evaluación de la concentración del pesticida en la mazorca de maíz puede ser muy útil para determinar la posible exposición de las personas al herbicida a través de la dieta y para evaluar la eficacia de las prácticas agrícolas y políticas de regulación del uso de herbicidas en el cultivo de maíz. Por tanto, la realización de estudios rigurosos sobre la presencia de Paraquat en el maíz puede ser esencial para proteger la salud humana y el medio ambiente, y para garantizar la seguridad alimentaria a nivel mundial (Wang et al., 2017).

Es necesario concienciar a los agricultores sobre los riesgos asociados al uso de Paraquat y fomentar prácticas agrícolas más seguras y sostenibles para reducir el impacto ambiental y proteger la salud humana. La regulación y control de los herbicidas también es importante para garantizar que se utilicen de manera responsable y segura.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Cuantificar los niveles Paraquat en mazorca Zea Mays y efectos en la salud humana en La Vega, Rep. Dom.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar la presencia de Paraquat en las mazorcas de maíz a través de la espectrofotometría UV-Visible.
- Determinar la concentración de Paraquat en la mazorca de maíz en diferentes parcelas con y sin Paraquat.
- Comparar los niveles de concentración de Paraquat en las mazorcas de maíz con los niveles permitidos por las normativas nacionales.
- Evaluar el impacto que ocasiona el uso del Paraquat en la salud humana.

1.5. Variables e indicadores (objetivos específicos, variables e indicadores)

A continuación, se proporciona un cuadro que establece la relación entre los objetivos, variables e indicadores mediante el proceso de operacionalización de las variables.

Cuadro 1.5.1 Operacionalización de las Variables

Objetivos	Variables	Definición	Indicadores	Instrumentos
Identificar la presencia de Paraquat en las mazorcas de maíz a través de la espectrofotometría UV-Visible.	Presencia de Paraquat	Se refiere a la existencia este compuesto químico en un determinado entorno, como el medio ambiente, el suelo, el agua, los alimentos o los organismos vivos.	Validar la linealidad de la curva de calibración de presencia de Paraquat mediante el coeficiente de correlación por medio de espectrofotometría UV-Visible.	Pruebas de laboratorio
Determinar la concentración de Paraquat en la mazorca de maíz en diferentes parcelas, con y sin Paraquat.	Concentración de Paraquat	Se considera así, a la cantidad presente de Paraquat, un herbicida de amplio espectro, en una muestra o sustancia determinada.	Medir la concentración de Paraquat en los granos de maíz, por medio de espectrometría UV-Visible. Contrastar las características físicas de las mazorcas de maíz tratadas con Paraquat y las mazorcas sin exposición a Paraquat.	Pruebas de laboratorio
Comparar los niveles de concentración de Paraquat en las mazorcas de maíz con los niveles permitidos por las normativas nacionales.	Niveles de de concentración de Paraquat	Se refieren a las diferentes cantidades o intensidades en las que se encuentra presente esta sustancia en una muestra o medio específico.	- Revisar el cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales sobre los niveles permitidos de Paraquat en las mazorcas de maíz.	Pruebas de laboratorio
Evaluar el impacto que ocasiona el uso del Paraquat en la salud humana.	Impacto del Paraquat en la salud	Son los efectos o consecuencias que esta sustancia puede tener sobre el bienestar y la integridad física de las personas expuestas a ella.	Evaluar el riesgo para la salud humana asociado con la exposición al Paraquat en la mazorca de maíz.	Pruebas de laboratorio

1.6. Definición de términos

Acaricida: Los acaricidas son plaguicidas utilizados para matar o controlar ácaros. (SADER y SENASICA, 2019)

Biperidilos: El Paraquat es un herbicida perteneciente al grupo de los biperidilos, que es ampliamente utilizado en la agricultura para el control de malezas en cultivos importantes como arroz, maíz, algodón y soja. (Lau et al., 2019)

Dermal: La exposición dérmica ocurre cuando una sustancia química entra en contacto con la piel y los ojos, lo que puede producir una rápida absorción del agroquímico. (Pacheco & Barbona, 2017)

Envenenamiento agudo por agroquímicos: se presenta cuando una persona tiene una exposición aguda, es decir, una alta dosis en un período corto de tiempo." (Pacheco & Barbona, 2017)

Exposición: Los trabajadores agrícolas que están expuestos a plaguicidas pueden experimentar efectos negativos en su salud. (Jallow et al., 2017)

Fitosanitarias: Son sustancias químicas utilizadas para prevenir, controlar o erradicar plagas y enfermedades de plantas, animales y productos vegetales (FAO, 2016).

Fitotoxicidad: Se refiere a los efectos tóxicos que algunas sustancias pueden tener en las plantas. La fitotoxicidad es un término amplio que se refiere a los efectos adversos que los productos químicos pueden tener en las plantas, incluyendo la inhibición del crecimiento y la reproducción, la muerte celular y la necrosis. (Moreno y Peñaranda, 2019)

Fotosistema: Es el término que se utiliza para describir una serie de complejos de proteínas y pigmentos que trabajan juntos en la fotosíntesis para convertir la energía lumínica en energía química. Según Melis, estos complejos de proteínas se dividen en dos tipos principales, conocidos como fotosistema I (PSI) y fotosistema II (PSII), los cuales colaboran en secuencia para transferir electrones desde el agua a la NADP+. (Wang, et. al 2016)

Fungicida: Los fungicidas son plaguicidas utilizados para matar o controlar hongos. (SADER y SENASICA, 2019).

Herbicida: Los herbicidas son plaguicidas utilizados para matar o controlar malezas. (SADER y SENASICA, 2019).

Inhalación: La inhalación de ciertos pesticidas en cantidades suficientes puede provocar graves daños en los tejidos de la nariz, la garganta y los pulmones, lo que se conoce como ingreso por vía respiratoria. (Pacheco & Barbona, 2017)

Insecticida: Los insecticidas son plaguicidas utilizados para matar o controlar insectos. ((SADER y SENASICA, 2019).

Iones metálicos del Paraquat: Estos pueden formar complejos, lo que puede afectar su disponibilidad en el suelo y su capacidad para ser absorbido por las plantas. (Shi et al., 2015)

Malezas: Las malezas son plantas que crecen en lugares no deseados, como jardines o campos de cultivo, y pueden representar una amenaza para los cultivos, ya que compiten con ellos por los nutrientes y el agua, lo que puede disminuir la calidad y la cantidad de la cosecha (FAO, 2021).

Molusquicida: Los molusquicidas son plaguicidas utilizados para matar o controlar moluscos. (SADER y SENASICA, 2019).

Nematicida: Los nematicidas son plaguicidas utilizados para matar o controlar nematodos. (SADER y SENASICA, 2019).

Ovicida: Los ovicidas son plaguicidas utilizados para matar o controlar huevos de insectos. (SADER y SENASICA, 2019).

Paraquat: De fórmula molecular $C_{12}H_{14}N_2Cl_2$ y peso molecular de 257.16 g/mol. (Viales, 2014). Es un herbicida químico que se emplea para controlar una amplia gama de plantas no deseadas, tanto anuales como perennes, eliminándolas de manera rápida. Su acción rápida permite la posibilidad de cultivar más de un cultivo en una sola temporada.

Plaguicidas: Los plaguicidas son productos químicos diseñados para matar o controlar plagas en la agricultura, con el objetivo de mantener altos niveles de producción agrícola, reduciendo las pérdidas causadas por microorganismos, hongos, insectos, malezas y otros depredadores de los cultivos. (Silveira-Gramont et al., 2018)

Química agrícola: La química agrícola se refiere al estudio de la química de los procesos biológicos y químicos que ocurren en el suelo y en las plantas, así como a la aplicación de esta información para mejorar la producción agrícola.

Recursos hídricos: Son recursos naturales esenciales para la vida en la Tierra, como los ríos, lagos, acuíferos y océanos. Según la FAO, los recursos hídricos son fundamentales para la producción de alimentos y energía, el desarrollo económico y la salud de los ecosistemas y las comunidades. (Lago, 2020).

Rodenticida: Los rodenticidas son plaguicidas utilizados para matar o controlar roedores." (SADER y SENASICA, 2019).

Solubilidad: El Paraquat es altamente soluble en agua, lo que le permite penetrar rápidamente en las hojas de las plantas. (Lau et al., 2019)

Técnicas de Cultivo: Son conocimientos desarrollados por muchas personas en diferentes culturas a lo largo de la historia. Estos conocimientos se pueden encontrar en diversas fuentes, como libros, artículos científicos y publicaciones en línea. El libro "Principios de Agronomía para una Agricultura Sustentable" de Miguel Altieri y Clara Nicholls es una referencia común en la literatura agrícola para abordar diversas técnicas de cultivo sostenible (Altieri y Nicholls, 2009).

Triazinas: Son un grupo de herbicidas que contienen la estructura química común de la triazina, que incluye la atrazina, la simazina y la propazina (US EPA, 2017).

Vía oral: Es una forma de exposición a plaguicidas en la que la sustancia química es absorbida por la sangre y se disemina a todos los órganos del cuerpo de manera inmediata. (Pacheco & Barbona, 2017).

1.7. Marco contextual

La población de estudio escogida fueron los productores que utilizan la siembra de maíz. En este sentido, los espacios geográficos del estudio lo constituyen las zonas de Bayacanes, y Las Yayas de la provincia La Vega, República Dominicana. Las zonas fueron elegidas, debido a que, en el país hay pocos lugares dedicados al cultivo de Zea Mays.

Dentro de estos espacios geográficos tenemos:

- ***Parcela de estudio N° 1.*** Se encuentra en la localidad de Monte Grande ubicada en la comunidad de Bayacanes, con coordenadas geográficas precisas que revelan su ubicación en la latitud 19.2305104943181 y la longitud -70.56633520871401. Este terreno abarca un área total de 16260.924 m², ofreciendo un amplio espacio para explorar y desarrollar proyectos. Su perímetro, que se extiende a lo largo de 503.132 metros, delinea los límites de esta propiedad. Además, la parcela se traduce en un total de 25.9 tareas. Posee (Ver figuras 1.4.1 y 1.4.2).

Esta finca cuenta con un clima tropical, es decir, con una estación lluviosa y temperaturas cálidas, que proporciona un entorno favorable para el cultivo de maíz.

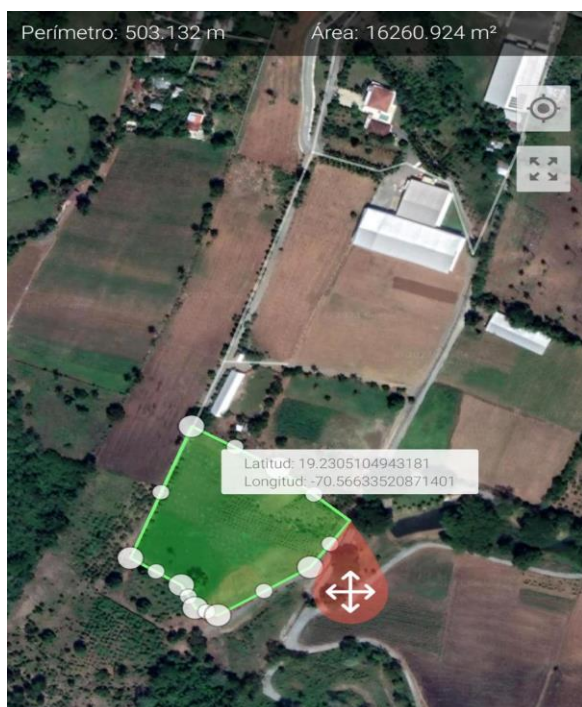


Fig. 1.4.1: Imagen satetital de la parcela N° 1.

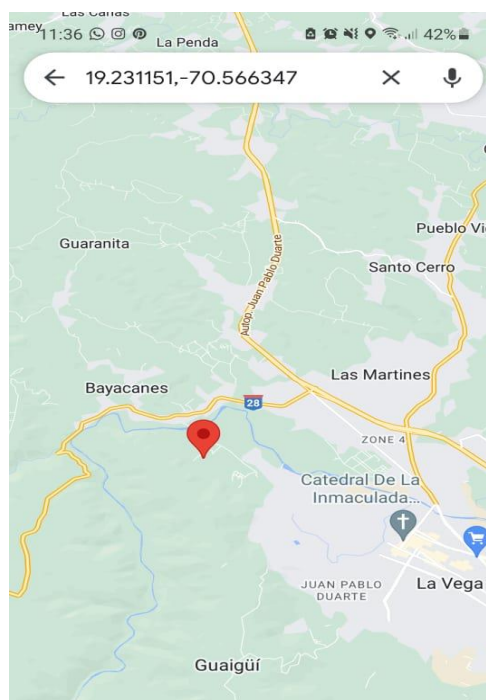


Fig. 1.4.2: Ubicación geográfica de la parcela N° 1.

<https://maps.app.goo.gl/KspRaGwN47DhdEF97> (Ubicación GPS de la parcela de estudio N° 1).

- **Parcela de estudio 2.** Se encuentra ubicada en Bayacanes, una comunidad situada en la provincia de La Vega, en la República Dominicana. Sus coordenadas geográficas precisas son una latitud de 19.227098804562246 y una longitud de -70.58377224951982.

La parcela tiene un perímetro de 316.162 m, lo que proporciona una clara delimitación de sus límites. Con un área total de 5805.593 m², este terreno ofrece un espacio significativo para diversas actividades y proyectos. Su tamaño se puede traducir a aproximadamente 9.2 tareas, una medida comúnmente utilizada en la agricultura en la República Dominicana. (Ver figuras 1.4.3 y 1.4.4).

La finca posee un clima tropical caracterizado por la presencia de una temporada de lluvias y temperaturas cálidas, lo cual crea un ambiente propicio para el cultivo exitoso de maíz.

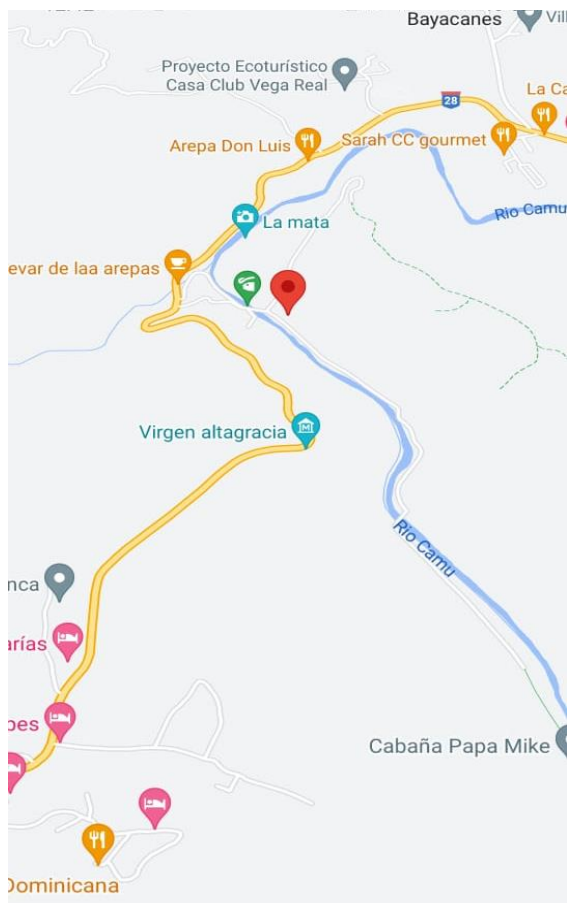


Fig. 1.4.3: Ubicación geográfica de la parcela N° 2.

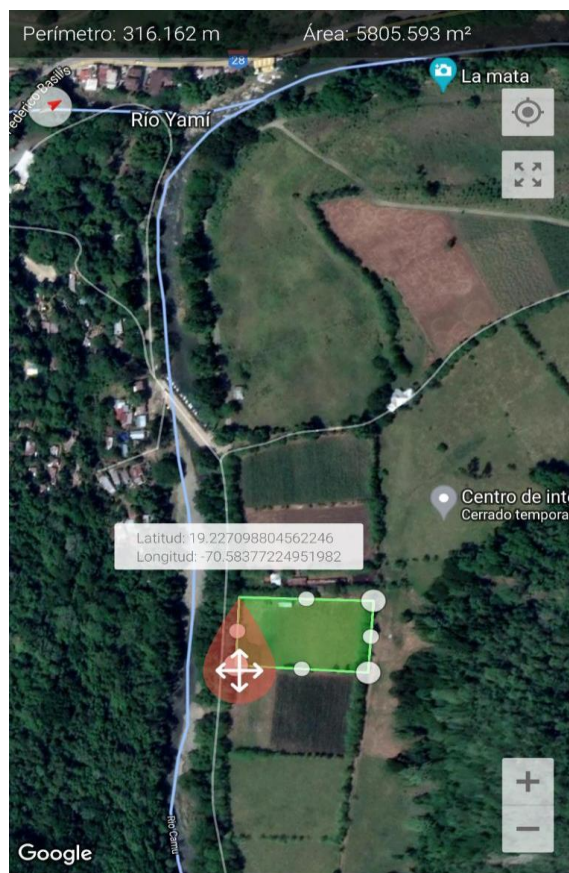


Fig. 1.4.4: Imagen satelital de la parcela N° 2.

<https://maps.app.goo.gl/N8ub5ZpTfPFBTwnCA> (Ubicación GPS de la parcela de estudio N° 2).

- **Parcela de estudio 3.** Es una propiedad ubicada en Las Yayas, un lugar situado en la provincia de La Vega, República Dominicana. Con coordenadas geográficas precisas de una latitud de 19.242751409609326 y una longitud de -70.49637380987406, esta parcela goza de una ubicación estratégica en esta región.

Con un área a total de 2843.064 m², la parcela ofrece un espacio generoso para diferentes propósitos. Su perímetro de 230.435m delimita claramente los límites de la propiedad, proporcionando una estructura definida y visible. En términos de tamaño, la parcela equivale aproximadamente a 4.5 tareas, una medida comúnmente utilizada en la República Dominicana para evaluar terrenos y propiedades rurales. (Ver figuras 1.4.5 y 1.4.6).

El maíz es un cultivo que requiere una cantidad adecuada de agua durante su período de crecimiento. Por lo tanto, en esta finca el clima, con su estación lluviosa pronunciada, puede proporcionar las condiciones necesarias para cultivar maíz de manera exitosa.

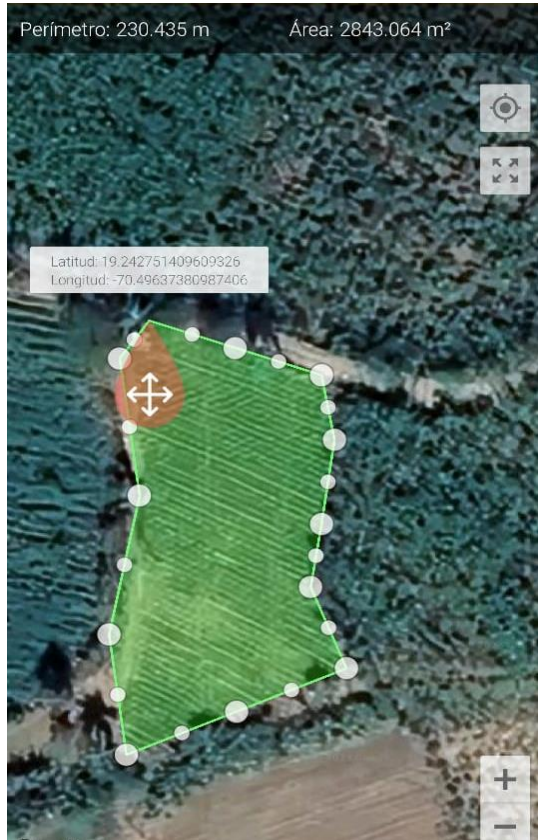


Fig. 1.4.5: Imagen satetital de la parcela N° 3.



Fig. 1.4.6: Ubicación geográfica de la parcela N° 3.

<https://maps.app.goo.gl/34eadBG2xinWAtKP7> (Ubicación GPS de la parcela de estudio N° 3).

1.8. Alcance y límite de la investigación

La presente investigación se enfoca en la problemática del uso del herbicida Paraquat en el cultivo de maíz en la zona de La Vega, República Dominicana. En este contexto, se busca determinar el nivel de concentración de este químico en las mazorcas de maíz, y analizar los efectos en la salud humana asociados con su exposición. Sin embargo, es

importante señalar que la investigación tiene ciertos alcances y limitaciones que deben ser considerados.

1.8.1 Alcance

La investigación pretende determinar el nivel de concentración de Paraquat presente en las mazorcas de Zea Mays y evaluar los efectos en la salud humana asociados al consumo y a la exposición a este herbicida altamente tóxico. Este estudio permitirá conocer el grado de contaminación del cultivo de maíz por este químico.

Además, la investigación podrá determinar la necesidad de aplicar prácticas más adecuadas en el uso del Paraquat, con el fin de minimizar los riesgos asociados con este químico y mejorar la calidad de uso.

1.8.2. Límites

En el desarrollo de este estudio, resulta esencial considerar cuidadosamente los desafíos inherentes que pueden restringir los resultados obtenidos. Estas limitaciones constituyen aspectos cruciales que impactan la investigación. A continuación, se exponen algunas de estas limitaciones, arrojando luz sobre los obstáculos que podrían influir en las conclusiones y descubrimientos alcanzados:

- 1. Escasez de laboratorios especializados en el país que trabajan con el compuesto químico conocido como Paraquat.** Esta limitación se presentó como un desafío significativo, ya que la disponibilidad de instalaciones y recursos adecuados para llevar a cabo análisis y experimentos relacionados con el Paraquat fue limitada. La falta de laboratorios capacitados y equipados adecuadamente dificultó la recopilación de datos precisos y la realización de investigaciones exhaustivas sobre los efectos y la toxicidad de este compuesto, en el tiempo propuesto. adecuada en el avance de nuestra investigación.
- 2. Escasez de reactivos específicos para la cuantificación de Paraquat en el país.** En el orden anterior, otra limitante en la investigación fue la falta de acceso a reactivos específicos y necesarios para llevar a cabo la cuantificación precisa de Paraquat en las muestras de maíz. A pesar de los esfuerzos para adquirir estos reactivos en el mercado

local, se encontró que las empresas químicas del país no los tienen disponibles en sus inventarios, lo que dificultó la ejecución rápida de los análisis requeridos para determinar las concentraciones de Paraquat en las muestras de maíz en tiempo establecido.

3. **La restricción en la realización de pruebas en diferentes partes de la mazorca de maíz debido a la influencia negativa de la temperatura elevada.** Ya que, durante el proceso de análisis, se halló una limitación significativa relacionada con la temperatura elevada, que afectó adversamente las propiedades físicas y químicas de las hojas y los pelos de la mazorca de maíz. Esto resultó en la imposibilidad de realizar pruebas en estas partes específicas de la mazorca, limitándose solo a los estudios de los granos, por lo tanto, restringiendo así, la recopilación de datos exhaustivos sobre la presencia y concentración de Paraquat en todas las partes de interés de la mazorca.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Introducción

Este capítulo aborda sobre los fundamentos teóricos que sustentan esta investigación, en la misma se hayan inmersas las principales investigaciones, estudios, teorías, publicaciones e informaciones sobre las variables que se encuentran involucradas en la investigación. En tal sentido, las consultas reúnen las informaciones más actualizadas, garantizando la integridad y el respeto del derecho del autor.

2.2. Los plaguicidas

Según la definición de la FAO (2012), se entiende por plaguicida a cualquier combinación de sustancias utilizadas con el propósito de prevenir, eliminar o regular plagas, así como especies de plantas no deseadas o animales que puedan ocasionar daños en la producción, procesamiento, almacenamiento y transporte de productos agrícolas.

Bedmar (2011), señala que los plaguicidas, también conocidos como pesticidas, son sustancias desarrolladas con el propósito de combatir y controlar plagas o enfermedades. Estos productos surgieron como respuesta a la necesidad de gestionar poblaciones de organismos perjudiciales para la salud humana, la producción agrícola, el almacenamiento de productos y la protección de animales domésticos. Es importante tener en cuenta que el concepto de "plaga" tiene una connotación antropocéntrica, ya que, desde una perspectiva objetiva, las plagas son simplemente poblaciones integrantes de un ecosistema. Los plaguicidas, ya sean de origen orgánico, inorgánico o microbiológico, en forma líquida o sólida, son sustancias químicas que pueden tener efectos tóxicos sobre determinados organismos vivos. Su principal aplicación se encuentra en el control de plagas en el ámbito agrícola.

Cabe señalar que, un plaguicida contiene un componente activo que provoca el efecto deseado al interactuar con la especie objetivo, acompañado de otros ingredientes como diluyentes, aditivos e impurezas, que constituyen una parte significativa del producto. Los efectos perjudiciales de estos componentes adicionales pueden incluso

superar a los del propio ingrediente activo (Ramírez y Lacasaña, 2001). Un ejemplo es la incorporación de tetracloruro de carbono y cloroformo como aditivos (Benítez, 2012).

Atendiendo a lo anterior expuesto, los plaguicidas se clasifican según diversos criterios, tales como el tipo de organismo que controlan (Ver cuadro 2.2.1), el grupo químico al que pertenecen (Ver cuadro 2.2.2 y 2.2.3), su toxicidad (Ver cuadro 2.2.4), persistencia (Ver cuadro 2.2.5), formulación (Ver cuadro 2.2.6), y formas de aplicación (Ver cuadro 2.2.7).

Cuadro 2.2.1 Plaguicidas por tipo de organismo controlado

Tipo de Plaguicida	Organismo que busca controlar
Insecticida	Insectos
Acaricida	Ácaros, garrapatas
Nematicida	Nemátodos
Molusquicida	Moluscos
Rodenticida	Roedores
Avicida	Aves
Bacteriostáticos y bactericida	Bacterias
Fungicida	Hongos
Herbicida	Plantas indeseadas

(Benítez, 2012)

Principales tipos de plaguicidas según su grupo químico expuestos por Cid y Ramírez, como se muestra a continuación en los cuadros 2.2.2 y 2.2.3.

Cuadro 2.2.2 Principales tipos de plaguicidas

Tipo de plaguicida	Grupo químico
Insecticidas	Organofosforados, Organoclorados, Carbamatos, piretroides
Fungicidas	Metoxiacrilatos, Triazoles, Benzimidazoles, Ditiocarbamato
Herbicidas	Sulfitos, Imidazolinonas, Benzonitrilos

(Cid, 2014)

Cuadro 2.2.3 Clasificación de plaguicidas según su grupo químico

Grupo químico	Características	Ejemplos plaguicidas
Organoclorados	Hidrocarburos clorados, alta estabilidad física y química, insolubles en agua, no volátiles, solubles en soluciones orgánicas. Altamente persistente, baja biodegradabilidad	DDT, aldrín, endosulfán, endrín
Organofosforados	Esteres, amidas o tioles derivados de ácidos fosfóricos. Se degradan por oxidación e hidrólisis. Solubles en agua, poco acumulables en el organismo.	Paratión, diclorvos, malatión
Carbamatos	Derivados del ácido carbámico. Relativamente inestables, tiempo corto de persistencia ambiental, cuentan con cierta selectividad. Se degradan por oxidación	Carbarilo, metomilo, propoxur
Piretroides	Obtenidos por el secado, molienda y pulverización de la flor del crisantemo. Selectividad relativa, baja toxicidad en organismos no blancos. Rápidamente degradables en el medio ambiente, poca tendencia a acumularse en tejidos	Cipermetrina, fenvalerato, permetrina

(Ramírez, 2001)

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció una clasificación toxicológica en 1978 para evaluar la peligrosidad de los plaguicidas, es decir, su capacidad para causar daños agudos a la salud tras una o múltiples exposiciones en un corto período de tiempo (CEPIS, 2016). Esta clasificación se basa principalmente en la Dosis Letal Media (DL50), que representa la cantidad de sustancia necesaria para causar

la muerte del 50% de los animales de prueba al ser ingerida de una sola vez (Benítez, 2012). Es importante señalar que la DL50 solo considera la toxicidad aguda de los plaguicidas, sin tener en cuenta su toxicidad crónica, que resulta de exposiciones diarias a lo largo del tiempo. (Ver cuadro 2.2.4)

Cuadro 2.2.4 Clasificación de plaguicidas según toxicidad

Clases	Toxicidad
Clase IA	Extremadamente peligrosos
Clase IB	Altamente peligrosos
Clase II	Moderadamente peligrosos
Clase III	Ligeramente peligrosos

(Ramírez, 2001)

Cuadro 2.2.5 Clasificación de plaguicidas según persistencia

Persistencia	Vida Media
Ligeramente persistente	Menos a 4 semanas
Poco persistente	De 4 a 26 semanas
Moderadamente persistentes	De 27 a 52 semanas
Altamente persistente	De 1 a 20 años
Permanente	Mayor a 20 años

(CICLOPLAFEST, 1991)

En relación con la persistencia de los plaguicidas, es importante no solo evaluar su tiempo de vida media, sino también la frecuencia de aplicación. Si la frecuencia es menor que su persistencia, estos plaguicidas tienden a acumularse en suelos y en los seres vivos (CICLOPLAFEST, 1991).

La clasificación según la formulación de los plaguicidas se refiere a la forma en que se presentan. Esto incluye diferentes grupos con características específicas.

Cuadro 2.2.6 Clasificación de plaguicidas según su formulación

Formulación	Características
Polvos para espolvoreo y humectables	Sustancias pulverizadas que consisten en el plaguicida mezclado con un material inerte.
Granulados	Productos preparados de plaguicidas con materiales inactivos en forma de diminutas partículas, que se pueden aplicar directamente al suelo.
Líquidos para pulverizar o diluir	Mezclas en las que el plaguicida líquido se encuentra disuelto, comúnmente, en un solvente de origen petrolero.
Líquidos emulsionables	Preparaciones en las que el plaguicida líquido se encuentra disuelto junto con emulsionantes que permiten la formación de una emulsión estable al diluirlo o agitarlo en agua.
Emulsiones	Productos formulados como emulsiones que se aplican directamente después de diluirlos en agua.

(Sánchez, 1984)

Finalmente, en el siguiente cuadro se presentan las formas de aplicación más frecuentes de los plaguicidas.

Cuadro 2.2.7 Clasificación de plaguicidas según aplicación

Aplicación	Características
Fumigación	La aplicación del producto puede ser en forma de gas o también como un líquido que, al entrar en contacto con la humedad, libera un gas.
Espolvoreo	El producto se aplica en forma de polvo, pero enfrenta dificultades para distribuirse de manera uniforme.

Nebulización	Producción de diminutas gotas con el propósito de mantenerlas en suspensión en el aire.
Inyección	Aplicación de un líquido al suelo utilizando inyectores.
Aplicación por contacto	Dispositivos de cuerda saturado con el producto que permiten rociar las malezas sin afectar el cultivo.
Pulverización	El caldo de pulverización se descompone a través de un proceso mecánico en millones de diminutas gotas, que se distribuyen sobre el cultivo.

(Cid, 2014)

Con el fin de mantener altos niveles de producción agrícola, se emplea una cantidad significativa de plaguicidas para reducir las pérdidas causadas por microorganismos, hongos, insectos, malezas y otros depredadores de los cultivos (Silveira et al., 2018). Aunque en el pasado, los plaguicidas aumentaron la producción de alimentos, su uso excesivo ahora representa una amenaza para la seguridad alimentaria.

Existen dos métodos principales para aplicar los plaguicidas en la agricultura: aspersión de polvos o mezclas acuosas sobre el follaje de las plantas y/o malezas que crecen junto a los cultivos, y fumigaciones aéreas, donde los plaguicidas pueden ser arrastrados por el viento a varios kilómetros de distancia del lugar donde se aplican (Silveira, et al., 2018).

A pesar de que los plaguicidas son efectivos, también han sido la causa de la contaminación de los ecosistemas debido a sus efectos tóxicos, aumentando el riesgo potencial para la salud humana (Del Puerto et al., 2014).

Según investigaciones previas (PAN Internacional, 2018), se ha constatado que ciertos plaguicidas están asociados con la supresión del sistema inmunológico. Además, diversos estudios indican que su exposición puede ocasionar infecciones respiratorias

como bronquitis, asma y alergias. También se ha observado que la exposición a plaguicidas afecta el sistema digestivo, causando infecciones e inflamaciones en los riñones. Es importante destacar que las personas más afectadas son aquellas que trabajan con la utilización y manipulación de estos productos químicos.

Según Jallow et al. (2017), los trabajadores agrícolas que están expuestos a plaguicidas pueden experimentar efectos negativos en su salud. Estos efectos dependerán de factores como la naturaleza del agroquímico, la forma en que se expone o intoxica, la cantidad de exposición y las características individuales de cada persona, entre otros.

2.3. Vías de exposición y tipos de intoxicación por plaguicidas

Sabarwal et al. (2018) reportan que la exposición a agroquímicos puede ocurrir a través de diversas vías, lo que puede influir en la concentración de la sustancia a la que está expuesto un individuo. Por su parte, Pacheco y Barbona (2017) identifican tres rutas de exposición a agroquímicos: oral, dérmica y respiratoria, las cuales se describen en el cuadro 2.3.1.1.

Cuadro 2.3.1.1 Rutas principales de ingreso de los agroquímicos en el cuerpo humano

Rutas de exposición	Descripción
Oral	Se produce la entrada de la sustancia química al cuerpo a través de la vía oral, la cual es absorbida por la sangre y se disemina a todos los órganos del cuerpo de manera inmediata. La sustancia se traslada de un órgano o tejido a otro por medio de la translocación, o se transforma en una nueva sustancia química por medio de la biotransformación.
Inhalación	La inhalación de ciertos pesticidas en cantidades suficientes puede provocar graves daños en los tejidos de la nariz, la garganta y los pulmones, lo que se conoce como ingreso por vía respiratoria.

Dermal o cutánea	Se produce una rápida absorción del agroquímico cuando entra en contacto con la piel y los ojos. Existe un alto riesgo de transferir los residuos del pesticida de una zona del cuerpo a otra, lo que puede aumentar el riesgo de intoxicación.
-------------------------	---

Pacheco y Barbona (2017).

De acuerdo con Pacheco y Barbona (2017), se pueden distinguir dos tipos más de rutas de exposición o envenenamientos por agroquímicos: la aguda y la crónica.

La exposición aguda se refiere a la absorción repentina y de corta duración de una cantidad significativa de agroquímicos. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando una persona entra en contacto directo con un agroquímico sin la debida protección, como al manipularlo o aplicarlo en el campo. La exposición aguda puede resultar en síntomas inmediatos y graves, como irritación de la piel, dificultad para respirar, náuseas, vómitos o incluso la pérdida del conocimiento. Es importante buscar atención médica de inmediato en caso de exposición aguda a agroquímicos (Pacheco y Barbona, 2017).

Por otro lado, la exposición crónica se refiere a la absorción continua y prolongada de agroquímicos a lo largo del tiempo, generalmente a través de la exposición repetida en el entorno laboral o residencial. Esta exposición acumulativa puede tener efectos a largo plazo en la salud. La exposición crónica a agroquímicos se ha asociado con diversos problemas de salud, como enfermedades respiratorias, trastornos neurológicos, problemas reproductivos y diversos tipos de cáncer (Pacheco y Barbona, 2017).

Es importante destacar que la exposición a agroquímicos puede variar según diversos factores, como la forma de aplicación, las condiciones de trabajo, el uso de equipo de protección personal y la adecuada implementación de medidas de seguridad.

De acuerdo con González et al. (2016), se destaca la importancia crucial de recibir una educación y capacitación adecuadas sobre el manejo seguro de agroquímicos, así como de cumplir rigurosamente con las regulaciones y aplicar buenas prácticas agrícolas. Estas medidas juegan un rol fundamental en la prevención y reducción de los riesgos vinculados a la exposición a estos productos químicos. Tal enfoque incluye proporcionar una formación adecuada a los agricultores y trabajadores agrícolas, con énfasis en el correcto

uso de los agroquímicos, la identificación de riesgos, el manejo y almacenamiento seguro, la utilización apropiada de equipos de protección personal, y la promoción de alternativas más seguras y sostenibles en el ámbito agrícola.

2.4. Los herbicidas

Los herbicidas son productos químicos ampliamente utilizados en la agricultura para el control y la supresión de las malezas que afectan los cultivos. Estas sustancias se aplican directamente sobre las plantas no deseadas o en el suelo con el propósito de prevenir su crecimiento y desarrollo. Los herbicidas ejercen su acción al interferir en los procesos metabólicos de las malezas, como la fotosíntesis y la división celular, lo que, con el tiempo, debilita y eventualmente causa la muerte de las plantas no deseadas. Estos compuestos químicos representan una herramienta esencial en la agricultura moderna, ya que contribuyen a mantener los cultivos sanos y competitivos al reducir la competencia por nutrientes, agua y luz (Rosales et al. 2006).

El manejo y prevención del crecimiento no deseado de plantas, como la maleza o mala hierba, constituye una importante barrera en la producción agrícola mundial. Por esta razón, los herbicidas son el grupo principal de productos químicos utilizados como pesticidas en la agricultura. Los herbicidas son compuestos o combinaciones utilizadas para eliminar las plantas o malezas que se consideran no deseadas y que crecen en diferentes áreas del suelo, pudiendo afectar la producción agrícola o simplemente la estética de un lugar específico (Rosales et al. 2006).

Actualmente, los países industrializados y muchos en desarrollo están implementando esquemas de registro de plaguicidas, y varias organizaciones internacionales, incluyendo el Grupo Internacional de Asociaciones Nacionales de Fabricantes de Agroquímicos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas, han creado guías detalladas que establecen los datos requeridos para registrar un plaguicida. Estos datos incluyen información sobre toxicología, posible acumulación en el suelo y en las cadenas alimenticias, así como el tiempo que tarda en descomponerse.

Antes de que se pueda vender un nuevo herbicida en cualquier país, se deben proporcionar datos adecuados que demuestren que es seguro para que sea manipulado por el operador y que los consumidores de los cultivos tratados no corren riesgos. Para evaluar la toxicidad, se utilizan pruebas con ratas y otros mamíferos, como perros y primates. Si bien la prueba de DL50 oral o dérmica aguda para ratas es útil para establecer comparaciones generales entre compuestos, presenta limitaciones y no se puede asumir que una alta LD50 segura para ratas sea segura para los humanos. La formulación del herbicida también puede afectar su toxicidad.

Algunos herbicidas pueden estar presentes en la parte cosechada del cultivo después de su aplicación, y se deben determinar los residuos del herbicida original y sus metabolitos en los cultivos. Se establecen restricciones sobre qué cultivos pueden ser tratados y sobre los intervalos mínimos entre tratamiento y cosecha. Muchos países tienen legislación que controla los niveles máximos de residuos de plaguicidas en alimentos humanos y animales, así como en los cultivos.

Vale significar que, los herbicidas se pueden aplicar al follaje o al suelo. Los herbicidas de contacto solo afectan la parte tratada, mientras que los herbicidas sistémicos se trasladan desde el follaje tratado hacia otro punto de acción en la planta. Los herbicidas residuales, que generalmente afectan la germinación de las malezas, tienen que persistir por algún tiempo para ser efectivos y pueden ser de acción de contacto o translocación. En general, los herbicidas son de baja toxicidad para los mamíferos y son propensos a descomponerse en microbios, plantas y animales si se utilizan correctamente (Zita, 2012)

El uso de herbicidas en la agricultura ha demostrado ofrecer beneficios en los cultivos, así como también desventajas importantes que hay que considerar.

Cuadro 2.4.1 Ventajas y desventajas de uso de herbicidas

Ventajas	Desventajas
A corto plazo, los agroquímicos permiten mantener los cultivos libres de plagas, enfermedades y malezas, lo que se traduce en mayores rendimientos en la	La utilización de pesticidas puede tener consecuencias negativas en el medio ambiente, como la reducción de la calidad nutritiva del suelo, el aumento de

cosecha y una mejor satisfacción de la creciente demanda mundial de alimentos. Estos productos químicos se utilizan principalmente en cultivos selectos.	la resistencia de los insectos nocivos y la intoxicación. Además, estos productos pueden dejar residuos en los alimentos y aumentar los costos de producción, mientras que también pueden desequilibrar el ecosistema y generar una dependencia tecnológica externa.
--	--

Gómez, (2011).

2.5. Herbicida para el control de las malezas

El uso de químicos para el control de malezas es crucial para la producción agrícola, pero su uso constante puede tener consecuencias negativas en el medio ambiente y en la salud humana. Por ello, se deben implementar métodos preventivos y curativos para reducir estos efectos, incluyendo medidas legales y culturales, así como la utilización de métodos químicos, mecánicos, físicos y biológicos. Es importante combinar dos o más métodos basados en el manejo integrado de malezas para un mejor control y se requieren estudios bioecológicos de las malezas para una mejor comprensión de su dinámica demográfica. (DERAS (2012).

Estos compuestos fitosanitarios tienen la capacidad de causar la muerte de las plantas o anormalidades al alterar los procesos fisiológicos y bioquímicos en plantas invasoras que compiten por factores como luz, agua y nutrientes (Arias, Mora y Romero, 2019).

Ampliamente utilizado por los agricultores de este grupo, el Paraquat, compuesto por dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo, es un herbicida no móvil ampliamente utilizado en el campo que actúa a través de las membranas celulares, atrapando electrones en el sistema fotosintético e irrigando el área afectada. Produce una necrosis a la planta hasta que llega a la muerte (Viales, 2014).

Otro herbicida de uso común en los campos de maíz es la atrazina, un herbicida selectivo perteneciente a la familia de las triazinas. Su mecanismo de acción es inhibir el intercambio de electrones en el segundo sistema óptico, interfiriendo en el proceso fotosintético, provocando blanqueamiento y necrosis. (US EPA, 2017). La triazina es un herbicida granular y menos soluble en agua, por lo que debe ir acompañada de un aditivo humectante dispersable, cuya acción se concentra principalmente sobre los arbustos de hoja caduca. Este tipo de herbicida es conocido por tener un amplio espectro (López, 2018). Los herbicidas se rocían sobre las hojas, se esparcen en las raíces y se transportan a través del xilema hasta las hojas, provocando la muerte no deseada de las plantas (López, 2018).

2.5.1. Presencia residual o concentración de herbicidas en los suelos y frutos

Los herbicidas pueden mantenerse activos en el suelo durante largos períodos, que pueden ser beneficiosos para el control de malezas a largo plazo. Sin embargo, si el herbicida permanece en el suelo por más tiempo del esperado, puede dañar los cultivos sensibles que se rotan y otras especies de pasturas en años posteriores. El principal problema para los productores es la dificultad para detectar residuos de herbicidas antes de que causen daño, debido a la falta de información sobre el daño que pueden causar y la escasez de estudios sobre la residualidad. Además, los herbicidas a menudo están presentes en concentraciones demasiado bajas para ser detectados por análisis químicos convencionales, y pocos laboratorios ofrecen el servicio de detección. (Medici, 2016).

Diversos factores pueden influir en la concentración de herbicidas en un fruto. De acuerdo con estudios, la cantidad y frecuencia con que se aplica el herbicida en una planta puede tener un impacto en la cantidad de residuos que se encuentran en los frutos (Ntow et al., 2008). Asimismo, la composición química del herbicida puede afectar su capacidad de acumularse en los frutos (Ji et al., 2016).

El tiempo transcurrido entre la aplicación del herbicida y la cosecha del fruto también es un factor importante que influye en la concentración de residuos de herbicida en los frutos. Se ha demostrado que los niveles de residuos pueden disminuir

significativamente después de un período de espera adecuado, lo que es esencial para asegurar que los frutos sean seguros para el consumo humano (Ozuna, 2020).

Wang et al. (2018) destacan que los herbicidas pueden persistir y acumularse en el suelo y los cultivos, lo que puede tener consecuencias significativas para el medio ambiente y la salud de las personas y los animales. Por otro lado, Islam et al., (2018), señalan que estos productos químicos pueden permanecer en el suelo y las plantas durante un tiempo prolongado, lo que puede provocar residuos que superen los límites de tolerancia, lo que representa un riesgo para la salud humana y la seguridad alimentaria.

La seguridad alimentaria se ha convertido en una gran preocupación tanto para los gobiernos como para la población, y esto ha sido impulsado en parte por informes sobre la contaminación química y microbiológica de los alimentos. En respuesta a esta situación, las autoridades competentes se han mostrado cada vez más preocupadas por garantizar la calidad de los alimentos y regular la cantidad de residuos de plaguicidas que puedan permanecer en ellos, sin representar ningún riesgo para los consumidores (Rodríguez, et al., 2019).

Desde hace más de tres décadas, se han establecido normativas alimentarias internacionales con el objetivo de facilitar el comercio de alimentos y resolver disputas comerciales. Estas normativas incluyen los límites máximos de residuos (MRLs, por sus siglas en inglés) de pesticidas en los alimentos, los cuales son utilizados en muchos países.

Rodríguez, et al., 2019), indican que la presencia de residuos de herbicidas en los cultivos puede perjudicar su calidad y valor de mercado, además de plantear problemas para la seguridad alimentaria y la salud humana. En este sentido, subrayan la importancia de monitorear y evaluar la presencia de residuos de herbicidas en los cultivos destinados al consumo humano y animal para garantizar la seguridad alimentaria y la salud pública. Finalmente, resaltan que el monitoreo de la presencia de residuos de herbicidas en los cultivos es fundamental para gestionar los riesgos en la producción de alimentos y debe ser parte integral de las prácticas agrícolas.

2.6. Las arvenses o malezas



Fig. 2.6.1 Melazas (ciperáceas) presente en el cultivo de Maíz.

Fuente: Elaboración propia.

Las malezas, que también son referidas como arvenses, malas hierbas, adventicias y hierbas dañinas, son plantas no deseadas que se caracterizan por su persistencia y la interferencia que causan en el crecimiento adecuado de los cultivos. Estas plantas por lo general carecen de valor económico y su presencia en los campos agrícolas puede ser perjudicial para las cosechas (BONILLA, 2009). (Ver Fig. 2.6.1.1).

Se ha verificado que, las malezas comienzan a competir por la luz, el agua y los nutrientes, que son factores cruciales para el crecimiento normal de las plantas, como plagas y plantas nocivas o malezas que a menudo invaden y afectan los cultivos. Se verá reflejado en la pérdida económica del producto. Todo el mundo sabe que, si el control de malezas no se implementa por completo, la pérdida puede oscilar entre un 10 % y la pérdida total (INTAGRI, 2017).

En consecuencia, las malezas son una de las causas de los bajos rendimientos de maíz. Las malas hierbas, uno de sus principales problemas, provocan una disminución de nutrientes, agua y luz solar. Esta competencia es muy importante en las primeras cinco semanas y se refleja en la reducción significativa de los rendimientos, lo que también dificulta el control de enfermedades e insectos. Al igual que otras actividades culturales, aumenta los costos de producción, dificulta la cosecha, encarece la cosecha manual o

mecánica y alberga insectos y patógenos dañinos para los cultivos de maíz. L (INTAGRI, 2017).

En República Dominicana, el problema de las malezas no es nuevo, lo que significa que sus características pueden evolucionar con el tiempo y adaptarse a prácticas repetitivas. Por esta razón, las prácticas agrícolas, la rotación de cultivos y la implementación de nuevas técnicas de cultivo y herbicidas ayudarán a controlar y controlar los problemas de malezas.

El logro de un cultivo depende de un buen manejo, empezando por elegir la variedad más adecuada para la zona en la que se planta. La cría ofrece una gran variedad de variedades, muchas de las cuales tienen una adaptabilidad especial. Esta propiedad lo convierte en una alternativa interesante tanto para el enfoque agrícola como para el zootécnico (INTAGRI, 2017).

2.7. Herbicida Paraquat

El Paraquat es un compuesto conocido como 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridinio. Su fórmula química es $C_{12}H_{14}N_2$. Además, el Paraquat se presenta comúnmente en forma de sales solubles en agua, como el Paraquat dicloruro ($C_{12}H_{14}N_2Cl_2$) (Ver Fig. 2.7.1) o el Paraquat dibromuro ($C_{12}H_{14}N_2Br_2$). Estas sales son las formas utilizadas como herbicidas (Ware y Whitacre, 2004). El Paraquat es un herbicida ampliamente utilizado en todo el mundo debido a su poderosa acción contra las malas hierbas. Es compatible con la mayoría de los cultivos y ha demostrado ser efectivo en su control (Syngenta, 2018). Sus propiedades físicas, como su facilidad de manejo, baja presión de vapor, alta solubilidad en agua y capacidad de unirse al suelo, contribuyen a su eficacia como herbicida al prevenir su lixiviación hacia las fuentes de agua y permitir su desactivación (Taguchi, 1998). El Paraquat actúa sobre los cloroplastos de las plantas verdes, en particular sobre el fotosistema I, generando radicales libres. Estos radicales libres, a su vez, son transformados en superóxidos por el oxígeno, lo que provoca cambios químicos y la destrucción de las membranas de la planta (Syngenta, 2018).



Los expertos en química agrícola han identificado al Paraquat como un herbicida de gran importancia en el campo de la agricultura. Según Lau et al. (2019), el Paraquat es un herbicida perteneciente al grupo de los biperidilos, con alta solubilidad en agua y capacidad para penetrar rápidamente en las hojas de las plantas. Florida, López y Pocomucha, (2012), señalan que este compuesto ha sido utilizado extensamente en la agricultura para el control de malezas en cultivos de arroz, maíz, algodón, soja y otros de gran importancia económica.

El Paraquat es un herbicida estático muy utilizado en la agricultura que atraviesa la membrana celular de la planta y retiene los electrones a nivel del fotosistema, lo que provoca una necrosis en la zona afectada que finalmente lleva a la muerte de la planta (Lebrón, 2007; Isenring 2017). El uso continuado de herbicidas en la agricultura moderna puede provocar problemas como la resistencia de las malezas, la fitotoxicidad, la contaminación del suelo y la presencia de residuos en los recursos hídricos. En cuanto a la biomasa microbiana del suelo, se ha comprobado que la aplicación de herbicidas en suelos con un pH de 6-7 estimula el crecimiento de bacterias a partir de los 21 días, aunque no se ha detectado un efecto significativo en los hongos (Lebrón, 2007).

Con base en lo expuesto, es un herbicida altamente tóxico utilizado para controlar malezas en diversos cultivos. La toxicidad se debe a su capacidad de generar especies reactivas de oxígeno que pueden dañar las células y provocar daño pulmonar, renal, hepático y cardiovascular en humanos y animales. Este herbicida también puede causar

efectos tóxicos en el medio ambiente, como la contaminación del suelo y del agua. Debido a su alta toxicidad, el Paraquat se encuentra restringido en muchos países incluyendo Rep. Dom. ya su uso requiere medidas de seguridad estrictas, como el uso de equipo de protección personal, la formación adecuada de los trabajadores y la aplicación de prácticas agrícolas responsables (AUSA 2016)). Es importante tener en cuenta que la exposición al Paraquat puede ser peligrosa, ya que, tiene una altísima letalidad y se debe evitar en la medida de lo posible.

La dosificación del herbicida Paraquat puede variar según la concentración y el tipo de formulación del producto, así como la etapa de crecimiento del maíz y el nivel de infestación de malezas. Generalmente, la dosis recomendada para el control de malezas en maíz es de 0.5 a 1.5 litros de producto comercial por hectárea, diluidos en agua y aplicados mediante pulverización. Es importante seguir las indicaciones del fabricante y las regulaciones locales en cuanto a la aplicación del producto para evitar daños al cultivo y al medio ambiente (Torres et al., 2019).

Según Smith (2019), para el maíz en su fase inicial de crecimiento, si se enfrenta a una infestación moderada de malezas, se puede emplear una cantidad de Paraquat diluido en agua equivalente a 1 litro por hectárea, utilizando una formulación que tenga una concentración del 20%.

En el periodo de desarrollo vegetativo del maíz, cuando ha alcanzado una altura considerable y las malezas están más presentes, se recomienda incrementar la dosis de Paraquat. Por ejemplo, se puede aplicar una cantidad de 2 litros por hectárea, diluido en agua, utilizando una formulación del 24% de concentración (Smith, 2019).

Durante la etapa de floración del maíz, es crucial tener precaución al aplicar herbicidas para evitar cualquier daño a los órganos reproductivos de la planta. En este caso, se sugiere utilizar dosis más bajas de Paraquat. Por ejemplo, una cantidad de 0.5 a 1 litro por hectárea, diluido en agua, utilizando una formulación del 20% de concentración, podría ser apropiada (Smith, 2019).

2.7.1. Efectos del uso del Paraquat en la salud humana

El uso regular e inadecuado de productos químicos para el control de malezas provoca fitotoxicidad en los cultivos, tolerancia de las malezas a los herbicidas, efectos residuales en la primera capa de la superficie terrestre, muerte de microorganismos en el suelo y tiene un efecto directo sobre la salud. Agricultores del suelo, inhalación de residuos volátiles por el uso de herbicidas (Benito, Magnoli y Barberis 2018).

El uso de herbicidas en la agricultura moderna ha sido una alternativa eficaz para el control de malezas. Sin embargo, el uso continuo tiene implicaciones como la resistencia de las plantas invasoras, problemas de fitotoxicidad, contaminación superficial y efectos residuales en los recursos hídricos (Pereira et al., 2019).

Según Casanova et al., (2016), la exposición al Paraquat puede generar efectos tóxicos en varios órganos del cuerpo humano, incluyendo el pulmón, el hígado y el riñón. Por otro lado, Fu et al. (2019) señalan que el Paraquat puede generar especies reactivas de oxígeno y dañar el ADN de las células humanas, lo que puede contribuir al desarrollo de enfermedades crónicas como el cáncer.

Isenring, (2006), señala que la exposición prolongada a pesticidas, incluso a concentraciones bajas, puede causar enfermedades crónicas como asma, diabetes mellitus, enfermedad de Parkinson, enfermedad de Alzheimer, daño reproductivo y cáncer, según investigaciones recientes. Los marcadores biológicos de genotoxicidad son especialmente importantes para detectar la aparición de mutaciones genéticas previsibles, incluso en combinaciones de pesticidas, que podrían contribuir al desarrollo de enfermedades genéticas en el futuro (Valverde y Rojas, 2009; Kapeleka et al., 2019).

Entre enero de 2017 y 2019, Luciano G. realizó un estudio titulado “Investigación de casos de intoxicación por los grupos agroquímicos organofosforados, carbamatos y bupiridilo” por herbicidas y plaguicidas reportados al Departamento de Sanidad Vegetal del Ministerio de Agricultura. “República Dominicana”, el cual fue un estudio descriptivo transversal exploratorio o de diseño mixto con recolección de datos retrospectiva, revisión bibliográfica y análisis no experimental de variables, que confirmó que los varones fueron los más afectados casos de intoxicaciones 57% de los casos notificados.

El envenenamiento con herbicidas organofosforados y carbamatos tiene efectos duraderos, particularmente en los sistemas nerviosos central y periférico y las funciones neuromusculares. Se ha documentado que algunos están asociados con el cáncer, la infertilidad y los defectos de nacimiento, y la intoxicación de moderada a grave es común. El contacto con productos químicos ocurre a través de la aplicación directa, el viento, el agua o la absorción de suelos contaminados u otras fuentes ambientales Schosinsky et al. (2009). Desde que se introdujo en el mercado hasta estos días, el ingerir Paraquat, accidental o intencionalmente, ha provocado innumerables pérdidas de vidas humanas.

Las cifras de mortalidad de la intoxicación por Paraquat varían entre los diferentes países: en Estados Unidos se reporta una letalidad del 54 %, en Francia del 74 % y en Asia del 80 % (2). En Colombia, durante el año 2013 se reportaron 28 266 casos de intoxicaciones agudas por sustancias químicas, de las cuales, el grupo de los plaguicidas se encontró en segundo lugar, con 29,2 % de los casos. Los cinco departamentos con mayores tasas de incidencia fueron en orden descendente Quindío, Huila, Putumayo, Meta y Caldas, que evidencian la alta disponibilidad de tóxicos en departamentos con grandes extensiones rurales (Nattapong Tongpoo, et al. 2020).

Según Li et al. (2014), el Paraquat es un herbicida altamente tóxico que puede ser peligroso para la salud humana en caso de exposición. Por esta razón, organizaciones internacionales como la OMS y la FAO han establecido límites máximos de residuos (LMR) para el Paraquat en los alimentos.

En el caso específico de las mazorcas de maíz, la FAO (2021), indica que es importante tener en cuenta las normativas nacionales para conocer los LMR establecidos. En este sentido, es fundamental comparar los resultados de la investigación con los límites permitidos por las normativas nacionales e internacionales para determinar si los niveles de concentración de Paraquat en las mazorcas de maíz son seguros para el consumo humano. Es importante tener en cuenta estas recomendaciones para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud pública.

2.8. El maíz (*Zea mays*)

Dentro de la dieta básica se encuentra el maíz (*Zea mays* L.) (Ver Fig. 2.8.1) componente esencial para la población; además, se utiliza en la elaboración de diferentes productos industriales ya que es considerado como una fuente de materia prima. Con relación a la siembra, ocupa el segundo lugar a nivel mundial luego del trigo y se produce en grandes cantidades en países como: China, Estados Unidos y Brasil (Estadísticas Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2017).

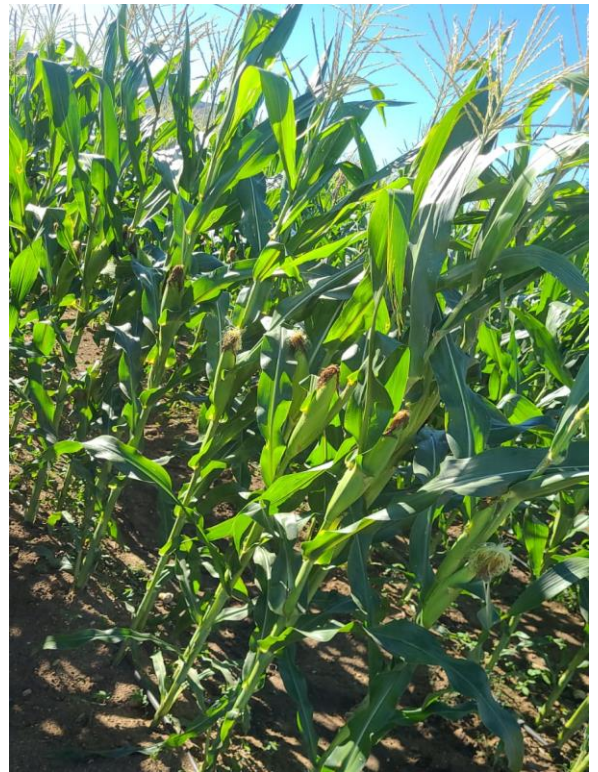


Fig. 2.8.1. Cultivo de maíz

Fuente: Elaboración propia

Elizondo y Boschini (2017), exponen que el maíz (*Zea mays*) se encuentra entre los cereales forrajeros gracias a sus características, dependiendo de la altitud tarda un año para producirse el grano, su ciclo es de 120 a 150 días para su cultivo. Este alimento ha sido la base de muchas culturas por cientos de años para la nutrición humana y animal, por otro lado, puede ser cultivado en diversos climas por su alta capacidad de adaptación.

En algunos países de América, como Ecuador el maíz posee cierto significado cultural para los pueblos indígenas, ya que forma parte de los principales granos o cereales, además es considerado como un dador de vida, lo que lo convierte en un objeto de identidad para nuestros antepasados (Aguilar et al. 2015).

Según Karajallo, Acosta e Inocencio (2018), el maíz tiene una alta demanda de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. La mayoría de estos nutrientes se aplican en la época de siembra, excepto el nitrógeno, que se divide en dos partes, una en la siembra y la otra después de 20 días de germinación. Es importante realizar

un análisis del suelo antes de preparar el terreno para determinar la cantidad adecuada de nutrientes que se deben aplicar.

El Instituto Dominicano De Investigaciones Agropecuarias y Forestales, IDIAF (2017), nos señala que el maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más consumido en República Dominicana. Se importa como materia prima para la elaboración de alimentos concentrados, siendo importado más del 96% de su consumo aparente.

Para la producción de este grano mayormente se utiliza una distancia de siembra de 70 x 70-100 cm, siendo la más común para la obtención de este cereal. Es recomendable aumentar la densidad de siembra y así obtener mayores rendimientos tanto en calidad como en cantidad, asimismo incrementar la población por área, avivar una mayor relación hoja: tallo, por disminución en el grosor del tallo al alargar más rápidamente por competencia en busca de luz solar. (Elizondo y Boschini, 2017).

2.9. Características de la planta

2.9.1 Raíces y tallo

Las raíces son las encargadas de tomar del suelo todos los nutrientes que la planta necesita como alimento, por consiguiente, son quienes mantienen fija la planta al suelo con la ayuda de raíces adventicias, presentando una morfología robusta y fasciculada (Ortigoza, 2019).

El órgano troncal de esta planta tiene forma leñosa, el número de nudos y nudos internos varía según el tipo de planta y la zona subterránea de este órgano tiene una envergadura bastante corta con un tejido vascular más grueso en la parte superior del cilindro, el cual es cilíndrico y destinado a pasar por la linfa gruesa y articulada (Avilés, Saltos y Jiménez, 2019).

2.9.2 Hojas e inflorescencia



Fig. 2.9.2.1 Hojas de maíz. Fuente: Elaboración propia

El maíz es monoico porque las flores masculinas y femeninas están separadas en la misma planta. La inflorescencia masculina se encuentra en la parte superior de la planta. Las inflorescencias femeninas, por el contrario, se ubican directamente sobre la planta. El espádice del futuro es en realidad una flor femenina, compuesta por varias flores presentadas en un cilindro ramificado lateralmente rodeado de hojas falsas (Avilés, Saltos y Jiménez, 2019).

2.9.3 Mazorca de maíz (Zea mays)

La planta de maíz ha sido sometida a modificaciones por parte de los humanos con el fin de aumentar su tamaño, valor nutricional y resistencia a condiciones ambientales adversas, así como para mantener mecanismos de defensa contra plagas y enfermedades. Este proceso ha sido llevado a cabo por los agricultores durante miles de años (Barrios y Basso, 2018). (Ver Fig. 2.9.3.1)



Fig. 2.9.3.1 Mazorca de Zea Mays)

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la acumulación de productos durante la fotosíntesis, las inflorescencias femeninas forman el espádice después de que las raíces hayan absorbido los elementos necesarios y logrado el crecimiento de la planta con co-nutrientes. Esta estructura contiene de 300 a 1000 granos, dependiendo de la estructura y forma del globo (Macuri, 2016)).

La semilla de maíz está formada por tres partes: pericarpio o cubierta del grano, endospermo y germen. El endospermo es utilizado para obtener diferentes productos, como harina y sémola, que se emplean para la elaboración de alimentos. El rendimiento del cultivo de maíz depende de los nutrientes que la planta requiere (González y Avila, 2016).

2.10. Requisitos y condiciones del cultivo

Para lograr una siembra exitosa de maíz, es necesario que la temperatura del suelo tenga un promedio de 10°C y que vaya en aumento. Además, para que la floración se produzca de manera adecuada, se requiere que la temperatura sea de al menos 18°C. El maíz necesita una cantidad suficiente de calor para madurar antes de la llegada del clima frío. Todo esto indica que el maíz es una planta adecuada para climas cálidos, donde la temperatura es relativamente alta durante todo su ciclo de crecimiento (Vargas, 2018).

2.10.1 Extracción

Para obtener una tonelada de grano de maíz, es necesario que el cultivo absorba una cantidad determinada de nutrientes esenciales y que estos sean extraídos del suelo durante su crecimiento. Sin embargo, esta cantidad puede variar significativamente dependiendo del ambiente y el manejo del cultivo. De acuerdo a diferentes referencias nacionales e internacionales, un cultivo de maíz con un rendimiento de 12000 kg/ha requiere una absorción aproximada de 264 kg/ha de Nitrógeno (N), 48 kg/ha de fósforo (P) y 48 kg/ha de azufre (S) (Herrera, 2019). (Ver cuadro 2.10.1.1.).

Cuadro 2.10.1.1. Requisitos y extracción en grano de nutrientes para producir una tonelada de maíz

Nutriente	Requerimiento (Kg/Ton)	Requerimiento (Kg/10Ton)
Nitrógeno (N)	22	220
Fósforo (P ₂ O ₅)	4	40
Potasio (K ₂ O)	19	190
Calcio (Ca)	3	30
Magnesio (Mg)	3	30
Azufre (S)	4	40
	Requerimiento (Kg/Ton)	Requerimiento (Kg/10Ton)
Boro (B)	20	200
Cloro (Cl)	444	4440
Cobre (Cu)	13	130
Hierro (Fe)	125	250
Manganeso (Mn)	189	1890
Molibdeno (Mo)	1	10
Zinc (Zn)	53	530

Herrera, 2019

2.10.2. Período de cosecha del cultivo de maíz

El maíz es el cultivo de cereal más importante a nivel mundial, representando el 32% de la producción total de granos. El tiempo de producción del maíz se mide en días desde la siembra hasta la cosecha, y se calcula que tarda alrededor de 115-120 días en madurar. En cuanto a los requerimientos nutricionales del maíz, se estima que para producir una tonelada de grano se necesita una cierta cantidad de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc, cuya cantidad varía según el manejo del cultivo y el ambiente en el que se desarrolla. En general, los tratamientos agrícolas que mejoran la nutrición del maíz son los que producen mejores resultados en la producción de grano, y esta relación no depende significativamente del sitio de cultivo (Meraz, 2018).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Introducción

En este capítulo se describe el diseño metodológico que se siguió para realizar el estudio.

De hecho, la investigación a través de los años se ha asociado con la aplicabilidad del método científico en procesos en los cuales se requiere obtener información, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento en un determinado escenario (Gómez y Hurtado, 2019).

De manera que, iniciamos este estudio con la descripción del diseño y tipo de investigación utilizado, centrándonos posteriormente en la concentración de Paraquat en la mazorca de Zea mays y su impacto en la salud humana en La Vega, República Dominicana.

3.2. Diseño y tipo de investigación (enfoque, tipo y método)

El objetivo de esta investigación fue cuantificar los niveles Paraquat en mazorca Zea Mays y efectos en la salud humana en La Vega, Rep. Dom. Por lo que, el diseño se trató de una investigación de campo y experimental, de tipo descriptiva y explicativa. Es de campo, porque la recogida de datos se realizó en el campo, directamente en las fincas de los productores de maíz criollo. Además, es experimental, porque buscó explicar fenómenos a través de la manipulación de variables y la aplicación de tratamientos controlados. En este caso, se llevaron a cabo experimentos en condiciones controladas para analizar la presencia de residuos de Paraquat en diferentes cultivos de maíz y determinar su nivel de acumulación, además los resultados se compararon con los valores reportados en la literatura. Por otra parte, es descriptiva, ya que, tuvo como finalidad presentar la situación actual en el área de estudio tomando en cuenta las propiedades características presentadas para hacer un diagnóstico, y por último es explicativa, debido a que, los resultados obtenidos permitieron tener un mayor entendimiento de la situación actual en el

área de estudio y contribuyeron a la toma de decisiones relacionadas con el uso de herbicidas y la producción de maíz.

Además, la metodología que se empleó fue de tipo diagnóstica, ya que se buscó determinar la presencia de residuos de Paraquat en las muestras de maíz.

El estudio se llevó a cabo en un periodo de tiempo determinado, desde marzo a agosto del 2023. Se trató de una investigación transversal, ya que, los datos se recolectaron en un solo momento y no involucró un seguimiento a lo largo del tiempo, sino que se centró en un instante de la situación actual en el área de estudio. La investigación fue retrospectiva, debido a que, se buscó determinar la presencia de residuos de Paraquat en muestras de maíz que fueron recolectadas, durante el periodo de marzo a agosto del 2023. En conclusión, se trató de una investigación que describe la presencia de residuos de Paraquat en muestras de maíz en una región específica, mediante la recogida de datos en el campo de forma diagnóstica, durante un periodo de tiempo determinado y con un abordaje retrospectivo.

El enfoque de esta investigación fue cuantitativo, ya que, se realizó la medición de la concentración de residuos de Paraquat en las muestras de maíz recolectadas de las 3 plantaciones seleccionadas.

3.3. Población, muestra y muestreo (criterio de inclusión y exclusión)

La población en este estudio fueron todas las fincas productoras de maíz criollo ubicadas en dos localidades (Bayacanes y Las Yayas) de la provincia de La Vega, República Dominicana. Las muestras estuvieron compuestas por 3 fincas seleccionadas de manera aleatoria de la población total, tomando en cuenta que 2 fincas aplicaron Paraquat y otra no, para posibles comparaciones. En ese orden, también se consideró el concepto económico, social y el cultivo. Las muestras de maíz utilizadas en el estudio fueron recolectadas en distintas etapas del desarrollo de la mazorca en las 3 parcelas seleccionadas. Se realizó un único muestreo, tomando 5 muestras de cada finca, lo que resultó en un total de 15 mazorcas de maíz. De este conjunto, 10 mazorcas fueron sometidas a procesamiento para cuantificar la presencia de la molécula de Paraquat, mientras que las

restantes 5 mazorcas se mantuvieron sin tratamiento con Paraquat para su posterior análisis comparativo.

Es importante que, antes de realizar el análisis de una muestra de maíz en el laboratorio, es crucial llevar a cabo un tratamiento apropiado de la muestra con el fin de minimizar posibles interferencias y obtener resultados precisos y confiables. A continuación, se describen algunos pasos generales que pueden seguirse para el tratamiento de la muestra de maíz:

1. Selección de la muestra: Es fundamental elegir una muestra representativa de la población de maíz que se va a analizar. Debe ser lo suficientemente grande y evitar seleccionar muestras dañadas o contaminadas.
2. Muestreo: Se deben tomar múltiples muestras representativas de diferentes partes de la población de maíz para asegurar su representatividad.
3. Preparación de la muestra: En este caso el laboratorio es quien prepara la muestra (homogeneización mediante molienda o trituración, la extracción de pesticidas con un solvente apropiado, la limpieza de la muestra para eliminar interferencias, y la concentración del extracto para facilitar la detección y cuantificación).
4. Almacenamiento de la muestra: Es esencial almacenar la muestra en un recipiente adecuado (funda ziploc) y etiquetado de forma correcta, luego colocarlas en una neverita con hielo (el Paraquat se conserva en frío), sin que toque las muestras para evitar la contaminación.
5. Envío de la muestra al laboratorio: Se debe enviar la muestra al laboratorio lo más pronto posible para evitar la degradación o contaminación.

3.2.1 Criterios

De inclusión: Esta investigación estuvo orientada a la concentración de Paraquat en la mazorca de maíz, se incluyeron 3 parcelas ubicadas en Bayacanes y Las Yayas de la provincia de La Vega, registradas en el Ministerio de Agricultura como agricultores que

están proporcionando Paraquat a sus cultivos para eliminar las malas hierbas durante el periodo de marzo-agosto del 2023. Sin embargo, de las 3 parcelas seleccionadas, 2 de ellas utilizaron Paraquat, mientras que la tercera no lo empleó. No obstante, se consideró esta última parcela para realizar comparaciones. Por otra parte, se delimitó el alcance de esta investigación exclusivamente a las dimensiones descritas por el objeto de estudio.

Criterio de Exclusión: Han sido excluidos los siguientes:

- Experimentos que se hayan llevado a cabo en otro tipo de cultivo.
- Investigaciones que se hayan realizado sobre la contaminación del suelo, agua y aire por Paraquat.
- Sembradíos donde la dosis de aplicación recomendadas de Paraquat exceden los límites.

3.3. Técnicas de recolección de datos (Instrumentación)

En la presente investigación, se llevó a cabo el desarrollo y aplicación de técnicas e instrumentos de recolección de datos específicos, con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados.

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

En el contexto de este estudio, se empleó el método de muestreo de campo para la adquisición de datos. Se procedió a la recolección sistemática de muestras de maíz procedentes de las tres fincas seleccionadas, donde dos de ellas utilizaron el herbicida Paraquat, mientras que la tercera finca no lo empleó. Se extrajeron un total de cinco muestras de cada parcela, abarcando distintas etapas del desarrollo de la planta: desde la formación inicial de la mazorca, pasando por el periodo de crecimiento, hasta la etapa de maduración. En consecuencia, se procesaron y analizaron un total de quince muestras (diez con Paraquat y cinco sin Paraquat), permitiendo una amplia y representativa cobertura de datos para el análisis posterior.

Para la extracción y análisis de residuos de pesticidas, se utilizó la técnica espectrofotometría UV-Vis, la cual, permitió medir la absorción de radiación

electromagnética en el rango ultravioleta y visible, lo que proporcionó información sobre la cantidad de Paraquat presente en las muestras analizadas.

Este proceso facilitó el monitoreo de la calidad y seguridad de los productos agrícolas, así como el cumplimiento de los estándares y regulaciones establecidos en cuanto a los límites máximos de residuos de pesticidas permitidos en los alimentos. Esta técnica se llevó a cabo en el laboratorio del Instituto Superior de Agricultura (ISA), en Santiago, República Dominicana.

3.3.1.1 Espectrofotometría UV-Visible: La espectrofotometría UV-Visible es una técnica específica dentro de la espectrometría UV-Visible, se enfoca en medir la absorbancia y transmitancia de la radiación electromagnética en el rango ultravioleta y visible por una muestra. Esta técnica se basa en la interacción entre la radiación electromagnética y los electrones de los átomos o moléculas presentes en la muestra. Además, esta técnica se utiliza principalmente para determinar la concentración de sustancias en una muestra, basándose en la relación entre la absorbancia y la concentración según la Ley de Lambert-Beer.

Cabe destacar que, el espectro electromagnético engloba todas las longitudes de onda de las radiaciones electromagnéticas (Green, 2019)

Estas longitudes de onda se clasifican en diferentes regiones según sus características. Entre estas regiones se encuentran los Rayos Gamma, Rayos X, Ultravioleta (UV), Visible (Vis), Infrarrojo (IR), Microondas y Ondas de Radio (Figura 3.3.1.1.1). La región ultravioleta abarca un rango de 10 a 380 nm, mientras que la región visible es una porción reducida del espectro electromagnético que va desde los 380 hasta

aproximadamente los 780 nm.

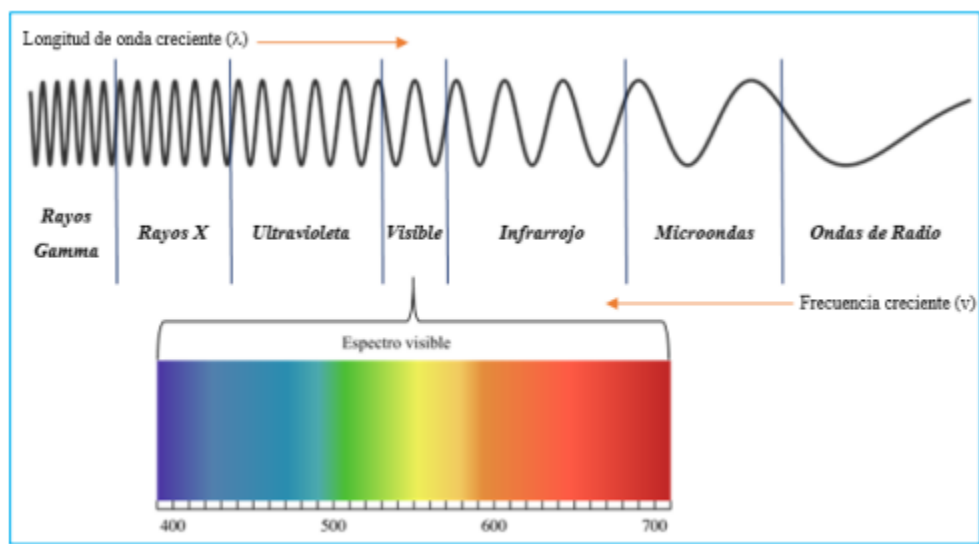


Figura 3.3.1.1.1 Espectro Electromagnético

Cuando la luz pasa a través de una muestra, ciertas longitudes de onda son absorbidas por los electrones de los átomos o moléculas, lo que provoca una disminución en la intensidad de la luz que sale de la muestra. La cantidad de luz absorbida depende de la concentración de las especies presentes en la muestra y de su capacidad para absorber la luz en el rango UV-Visible.

Por otra parte, la Espectrofotometría UV-VIS se utiliza tanto para análisis cualitativos como cuantitativos. Esta técnica permite identificar sustancias orgánicas e inorgánicas que tengan color, como complejos metálicos, y también determinar su concentración.

De esta manera, en el análisis cuantitativo, se aplica la Ley de Beer, que establece una relación directamente proporcional entre la absorbancia "A", el paso óptico "b" y la concentración "c" del analito para una radiación monocromática:

$$A = abc$$

$$A = \epsilon bc$$

Donde:

A=Absorbancia [=] adimensional

a = Absortividad [=] $\frac{L}{g\ cm}$

ϵ = Absortividad molar [=] $\frac{L}{mol\ cm}$

b = Paso óptico [=] cm.

C = Concentración [=] $\frac{g}{L}$ o $\frac{mol}{L}$ dependiendo el caso.

Nota: Las unidades de la absortividad (a o ϵ) dependerán de las unidades b y c.

Sin embargo, es importante considerar que la Ley de Beer tiene sus limitaciones (desviaciones instrumentales y químicas) y no siempre es aplicable en todas las situaciones.

Por otro lado, la espectrometría UV-Visible se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la determinación de concentraciones de sustancias químicas, la identificación de compuestos y la cuantificación de productos químicos en muestras biológicas, ambientales y farmacéuticas, entre otras.

En un espectro UV-Visible, se observan picos o bandas de absorción que corresponden a las longitudes de onda específicas donde los electrones de la muestra absorben la radiación. La intensidad de estos picos o bandas está relacionada con la concentración de las especies presentes en la muestra, lo que permite cuantificar la cantidad de una sustancia en una muestra desconocida.

La determinación de la absorbancia de luz que exhiben las moléculas en la región ultravioleta y visible se lleva a cabo mediante el uso de un instrumento denominado Espectrofotómetro UV-VIS (Fig. 3.3.1.1.1). Este dispositivo está compuesto por:



Fig. 3.3.1.1.1 Componentes del espectrómetro UV-Visible

3.3.1.2 Materiales, método de Espectrometría UV-Visible

3.3.1.2.1 Materiales

- **Reactivos**

Los reactivos utilizados fueron de grado analítico:

- 2M de Hidróxido de sodio (NaOH)
- 5 % m/v de Ácido Etilendiamino Tetra Acético o EDTA
- 20% m/v y d=1.1g/ml de Bicloruro de 1,1-dimetil-4,4'-bipiridilo o Paraquat Aleman.

- 0.4 % m/v de Ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$)
- Agua destilada

- **Equipos**

- Espectrómetro UV-Visible (Marca Thermo Fisher Scientific Modelo Genesis 20).



Fig. 3.3.1.2.1.1 Espectrómetro UV-Visible (Marca Thermo Fisher Scientific Modelo Genesis 20).

- **Cristalería**

- Matraces aforados 25, 50,100,250 ml
- Pipetas volumétricas 1,2,5,10,15 y 20ml
- Cilindros graduados 10 y 50 ml
- Vasos precipitados 50,100 y 250ml

3.3.1.2.2 Método

El método normalizado para la determinación de Paraquat en este estudio fue el 969,09 de la AOAC, basado en la técnica de espectrometría UV-Vis (considerando que se sustituyó el ditionito de sodio por el ácido ascórbico) (Luna, et al., 2008). La

verificación de los parámetros de desempeño analítico, tanto experimental como estadísticamente, se llevó a cabo de la siguiente manera:

Selectividad-Especificidad: Se evaluó mediante la medición de un blanco en triplicado y comparando el espectro obtenido con el de los patrones y muestras utilizados en las pruebas de linealidad y repetibilidad, respectivamente. Esto permitió asegurar que la señal adquirida proviene exclusivamente del analito que se desea cuantificar y no se ve afectada por interferencias o contaminantes.

Para preparar el blanco utilizado en el método de la AOAC por espectrometría UV-Vis, se siguieron los siguientes pasos:

Se tomaron 100 mL de agua desionizada y se agregaron 4 mL de ácido ascórbico al 0.4 % m/v, 3 mL de EDTA (etilendiaminotetraacético) al 5 % m/v y 3 mL de hidróxido de sodio (NaOH) a 2M.

El ácido ascórbico se añadió para mantener el medio alcalino necesario para la reacción, mientras que el EDTA se incluyó para eliminar la posible presencia de iones que podrían precipitar en medio alcalino, como calcio, magnesio, hierro y aluminio. El hidróxido de sodio también contribuye a proporcionar el medio alcalino requerido para la reacción.

Esta mezcla fue homogeneizada adecuadamente y luego se procedió a utilizarla como blanco en el análisis espectrofotométrico para asegurar que la señal adquirida se deba únicamente a la presencia del analito que se desea cuantificar, sin interferencias de otros componentes. El blanco es utilizado como referencia para corregir cualquier posible interferencia o absorbancia del solvente y reactivos empleados en la preparación de la muestra.

Linealidad: Se llevó a cabo la construcción de una curva de calibración utilizando cuatro patrones que abarcan un rango de $\pm 20\%$ del valor esperado para las muestras

comerciales que se analizaron de forma rutinaria. Esta curva única con los cuatro patrones fue suficiente para verificar la linealidad del método, de acuerdo con las directrices establecidas por el método de la AOAC.

Para implementar el método de la AOAC, se siguió el siguiente procedimiento:

Se preparó la solución, donde se seca el estándar de Paraquat hasta alcanzar una temperatura constante entre 100 y 120°C. Luego, se midió 7 mL de Paraquat y esta cantidad se disolvió en agua desionizada y se diluyó hasta alcanzar un volumen total de 250mL. Como resultado, cada 1mL de esta solución contuvo una concentración de 0,25g de Paraquat.

En efecto, se preparó una solución de Paraquat con un volumen total de 250 mL, compuesta por 4 mL de ácido ascórbico al 0.4 % m/v, 3 mL de EDTA (etilendiaminotetraacético) al 5 % m/v y 3 mL de hidróxido de sodio (NaOH) a 2M. Posteriormente, se tomaron alícuotas de 5 ml, 10 ml, 15 ml y 20 mL de esta solución llevándolas finalmente a un volumen total de 100 ml. Cabe mencionar que cada una de las disoluciones y el blanco (que no contiene Paraquat) fueron replicados en tres ocasiones para asegurar la veracidad de los resultados.

Por otra parte, la solución reductora, utilizada como agente reductor, estuvo compuesta por una mezcla que contenía ácido ascórbico en una concentración del 0,4% en masa por volumen (m/v), hidróxido de sodio en una concentración de 2 M, y EDTA en una concentración del 5% en masa por volumen (m/v). El hidróxido de sodio se incorporó para asegurar el medio alcalino requerido para la reacción, mientras que el EDTA se agregó con el propósito de eliminar la posible presencia de iones que pudieran precipitar en un medio alcalino, como son los iones de calcio, magnesio, hierro y aluminio.

3.4. Validez y confiabilidad

En el ámbito de la investigación sobre concentración de Paraquat en maíz, la elección de técnicas adecuadas de recolección de datos y la utilización de instrumentación precisa desempeñan un papel fundamental para obtener resultados significativos y fiables.

La utilización de la espectrometría UV-Visible en esta investigación de la concentración de Paraquat en el cultivo de maíz y los efectos en la salud humana, garantiza la viabilidad y confiabilidad del estudio.

En primer lugar, la elección de esta técnica específica demuestra la viabilidad de la investigación, ya que, es ampliamente reconocida por su alta sensibilidad y precisión en la detección de compuestos químicos, incluyendo el Paraquat. Al emplear una técnica validada y bien establecida, se asegura que los resultados sean confiables y representativos de la concentración real de Paraquat en las muestras de maíz.

Además, el laboratorio del Instituto Superior de Agricultura (ISA) en Santiago, República Dominicana, donde se realizó la técnica de espectrometría UV-Vis, es un centro especializado con experiencia en el análisis de residuos de pesticidas en alimentos agrícolas. Esto aumenta la validez interna, ya que el laboratorio cuenta con el equipo y la capacidad necesaria para realizar análisis precisos y reproducibles.

Por otro lado, la confiabilidad de la investigación se garantiza gracias al cumplimiento de procedimientos estandarizados en la extracción y análisis de las muestras de maíz. Durante el proceso de preparación de las muestras, se siguieron protocolos rigurosos para evitar la contaminación cruzada y asegurar que las mediciones sean consistentes. Además, se realizaron controles de calidad y calibraciones adecuadas de los equipos de laboratorio para mantener la precisión y exactitud de los análisis.

El laboratorio del Instituto Superior de Agricultura (ISA), es reconocido por su confiabilidad en el análisis de residuos de pesticidas, lo que garantiza que los resultados obtenidos sean coherentes y reproducibles. El uso de personal capacitado y equipo de alta calidad también contribuye a la confiabilidad de la investigación.

Otro aspecto que respalda la viabilidad y confiabilidad de la investigación es el método de recolección de datos seleccionado: el muestreo de campo. Además, este enfoque permite obtener muestras representativas en diferentes cultivos de maíz, de distintas etapas,

lo que aumenta la validez de los resultados al considerar posibles variaciones en la concentración de Paraquat a lo largo del tiempo.

3.5. Procedimiento

El presente estudio se enmarcó dentro un procedimiento de investigación científica riguroso. A continuación, se describirá paso a paso el proceso que se llevó a cabo:

- *Selección de las fincas:* En el marco de esta investigación, se llevó a cabo una cuidadosa selección de tres fincas de maíz criollo, situadas en la región de La Vega, República Dominicana. De estas tres fincas, dos de ellas emplearon Paraquat como herbicida, mientras que la tercera finca optó por no utilizarlo. Este enfoque permitió tener una muestra representativa y diversa que abarca diferentes prácticas agrícolas en la región en estudio
- *Recolección de muestras:* Se llevó a cabo la recolección de muestras de maíz de tres cultivos diferentes a lo largo de un periodo específico de tiempo, que abarcará de marzo a agosto del 2023. Durante cada recolección, se obtendrán muestras representativas de diferentes áreas de las fincas seleccionadas.
- *Extracción y análisis de residuos de Paraquat:* En el laboratorio, se procedió a la extracción de los residuos de Paraquat presentes en las muestras de maíz. Para ello, se utilizó la técnica espectrometría UV-Visible. Esta técnica permitió identificar y cuantificar de manera precisa los residuos de Paraquat.
- *Análisis estadístico de los datos:* Una vez obtenidos los resultados del análisis, se procedió a su análisis estadístico. Se calculó la concentración de residuos de Paraquat en cada muestra de maíz y se realizó pruebas estadísticas para evaluar la significancia de los resultados. Esto permitió obtener conclusiones confiables y respaldadas por evidencia científica.
- *Análisis de riesgo:* Además del análisis estadístico, se realizó un análisis de riesgo para evaluar los posibles efectos de los residuos de Paraquat en la salud humana y el medio

ambiente. Se consideraron factores como las concentraciones detectadas, las dosis de exposición estimadas y la información toxicológica disponible para determinar los posibles riesgos asociados.

- *Interpretación y conclusiones*: Finalmente, se interpretaron los resultados obtenidos en el análisis de los datos y en el análisis de riesgo. Se elaboró conclusiones basadas en la evidencia científica recopilada, brindando información relevante sobre la presencia de residuos de Paraquat en el maíz cultivado en la región de La Vega. Estas conclusiones pudieron servir como base para la toma de decisiones relacionadas con regulaciones y prácticas agrícolas en relación al uso de herbicidas.

3.6. Análisis de los datos

En la investigación, los datos obtenidos a través de la espectrometría UV-Visible fueron analizados utilizando métodos estadísticos y herramientas de análisis de datos.

Primero, se realizó una evaluación de la calidad de los datos para identificar y corregir posibles errores o valores atípicos que puedan afectar la precisión de los resultados. Luego, se procedió a calcular las concentraciones de Paraquat en cada una de las muestras de maíz analizadas, utilizando las lecturas de absorbancia obtenidas a una longitud de onda específica de 600 nm y la curva de calibración construida previamente con los patrones conocidos.

De igual manera, el análisis de los datos incluyó la determinación de la concentración promedio de Paraquat en las muestras de maíz, así como el cálculo de la desviación estándar para evaluar la precisión de las mediciones. Se realizaron pruebas estadísticas, como el análisis de varianza (ANOVA) o pruebas de comparación de medias, para evaluar si existen diferencias significativas en las concentraciones de Paraquat entre las diferentes fincas o etapas de desarrollo del maíz.

Adicionalmente, se utilizaron la reconocida herramienta Excel para facilitar el análisis de los datos. Excel ofrece una amplia gama de funciones y características que permiten realizar cálculos complejos, organizar y filtrar los datos, generar gráficos y tablas, y crear informes detallados de los hallazgos obtenidos. Su uso contribuyó a la interpretación y visualización efectiva de los resultados, optimizando la comprensión y presentación de los datos analizados.

Finalmente, se realizó una interpretación de los resultados en función de los objetivos de la investigación y se discutió las implicaciones de los hallazgos para la salud humana y el medio ambiente, así como posibles recomendaciones o medidas para mitigar los riesgos asociados con la presencia de Paraquat en el maíz. Todo el proceso de análisis de datos fue llevado a cabo utilizando software estadístico (programa Origin) y herramientas especializadas para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DICUSION DE RESULTADOS

4.1 Introducción.

La determinación precisa de la concentración de Paraquat en la mazorca de maíz ha adquirido una relevancia significativa en el contexto actual, dado los potenciales efectos adversos que este herbicida puede generar tanto en la salud humana como en el medio ambiente. En este capítulo, se presenta el consolidado de los resultados del análisis estadístico para la caracterización de la molécula presente en las mazorcas de maíz analizadas, el cual tiene como finalidad, la cuantificación de Paraquat, mediante el uso de la técnica espectroscopia UV-Vis. A su vez, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos a partir del estudio y las pruebas realizadas, explorando sus implicaciones. De esta manera, se obtuvo una comprensión más profunda del impacto del Paraquat en la producción de maíz y su relevancia en el marco de la agricultura sostenible y la protección de la salud pública.

4.2. Resultados, análisis e interpretación de los datos

4.2.1. Primer análisis. Linealidad de la curva de Paraquat por AOAC

Durante el desarrollo del análisis utilizando el método AOAC (Asociación de Químicos Oficiales Agrícolas), se llevaron a cabo pruebas preliminares con el propósito de obtener el mejor coeficiente de determinación R^2) que asegurara una adecuada linealidad en los datos (Un valor de R^2 cercano a 1 indica un buen ajuste y una alta correlación entre los datos). Posteriormente, se seleccionaron los datos de linealidad con los mejores resultados para emplearlos en la obtención de las concentraciones de muestra, aplicando la ecuación de la Ley de Beer para el cálculo respectivo. Este proceso metodológico garantizó la obtención de resultados confiables y precisos en la cuantificación de las concentraciones de interés, respaldando así la validez y robustez del análisis realizado.

Tabla 1. Prueba inicial de la linealidad de la curva de Paraquat

Alícuotas de Paraquat	Longitud de onda= 600 nm			
	Ácido ascórbico= 5ml			
	EDTA= 2.5 ml			
	NaOH= 2.5 ml			
	LOQ = 0.09 mM			
	LOD = 0.03 mM			
	R² = 0.9680			
	1	2	3	Media
5 ml	0.018	0.013	0.009	0.0133
10 ml	0.036	0.032	0.025	0.0310
15 ml	0.040	0.057	0.030	0.0423
20 ml	0.048	0.039	0.046	0.0443
Ecuación de la recta: $y = mx + b$ en donde: y = absorbancia, m = pendiente en 0.00887 ± 0.00211 , x = concentración de Paraquat en $\mu\text{g mL}^{-1}$ y b = punto de intersección en 0.0085 ± 0.00894 . R^2 = coeficiente de determinación.				

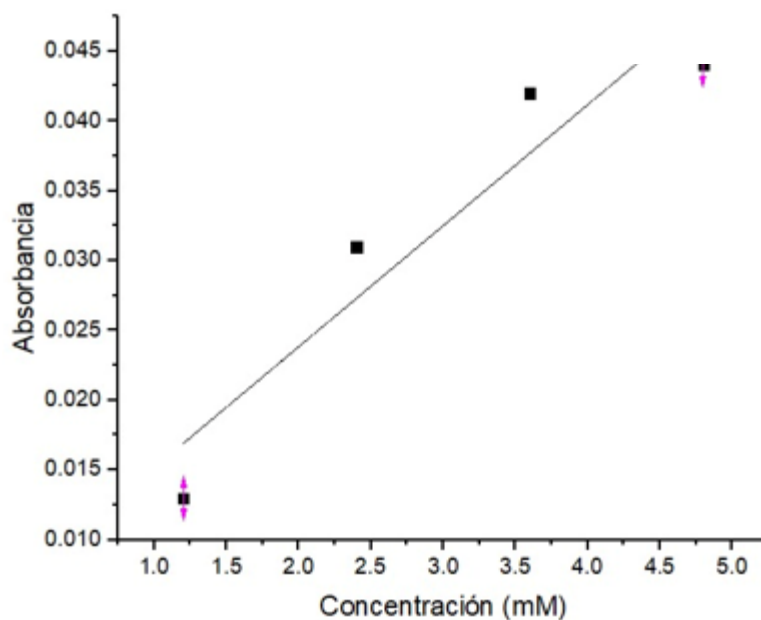


Fig. 1.1 Linealidad de la curva de Paraquat $R^2=0.9680$

En la primera prueba, correspondiente a la tabla 1, la calibración se realizó a una longitud de onda de 600 nm y con volúmenes constantes de ácido ascórbico (5 ml), EDTA (2.5 ml) y NaOH (2.5 ml). La media de los valores de absorbancia para cada volumen de alícuota fue: 0.0133, 0.0310, 0.0423 y 0.0443. Con un valor de R^2 de 0.9684 para esta calibración (Ver Fig. 1.1)

Tabla 2. Segundo análisis de linealidad de la curva de Paraquat

Alícuotas	Absorbancia: segunda solución (se variaron los ml de ácido ascórbico, 4 mL), (3 mL de NaOH y 3 mL de EDTA)			
	LOQ = 0.04 mM, LOD = 0.01 mM, $R^2 = 0.9860$			
	1	2	3	Media
5 ml	0.022	0.017	0.017	0.018
10 ml	0.035	0.030	0.022	0.029
15 ml	0.061	0.047	0.043	0.050
20 ml	0.072	0.067	0.065	0.07

Ecuación de la recta: $y = mx + b$ en donde: y = absorbancia, m = pendiente en $0.00354 \pm 3.24345E-4$, x = concentración de Paraquat en $\mu\text{g mL}^{-1}$ y b = punto de intersección en -0.0025 ± 0.00444 . R^2 = coeficiente de determinación

En la segunda prueba, con respecto a la tabla 2, la calibración también se realizó a una longitud de onda de 600 nm, pero en esta ocasión se varió el volumen de ácido ascórbico (4 mL) y los volúmenes de NaOH (3 mL) y EDTA (3 mL). Los valores de R^2 para esta calibración fue de 0.9860, lo que indica un ajuste más cercano a la linealidad.

En función del valor de R^2 , podemos decir, que la segunda prueba presenta una mejor calibración de la curva en comparación con la primera prueba. Un valor de R^2 de 0.9860 indica una alta correlación entre la absorbancia y la concentración de Paraquat en la muestra, lo que sugiere que la curva de calibración es más precisa y confiable.

Es importante tener en cuenta que una buena calibración de la curva es fundamental para la cuantificación precisa de la concentración de Paraquat en las muestras analizadas. La alta correlación en la segunda prueba sugiere que los datos obtenidos son más consistentes y confiables, lo que permite una interpretación más precisa y significativa de los resultados en términos de la concentración de Paraquat en la muestra.

Tabla 2.1. Datos para la curva de calibración de Paraquat por el método AOAC, partiendo de una solución de 24mM Paraquat en 250mL

Muestras	Volumen de analito (mL)	Concentración (mM)*	Absorbancia (nm)
1	5	1.2	0.018 ± 0.0003
2	10	2.4	0.029 ± 0.0007
3	15	3.6	0.050 ± 0.0001
4	20	4.8	0.070 ± 0.0004

* 4ml ácido ascórbico 0.4%*m/v*, 3ml de NaOH 2M y 3ml EDTA, 5%*m/v*

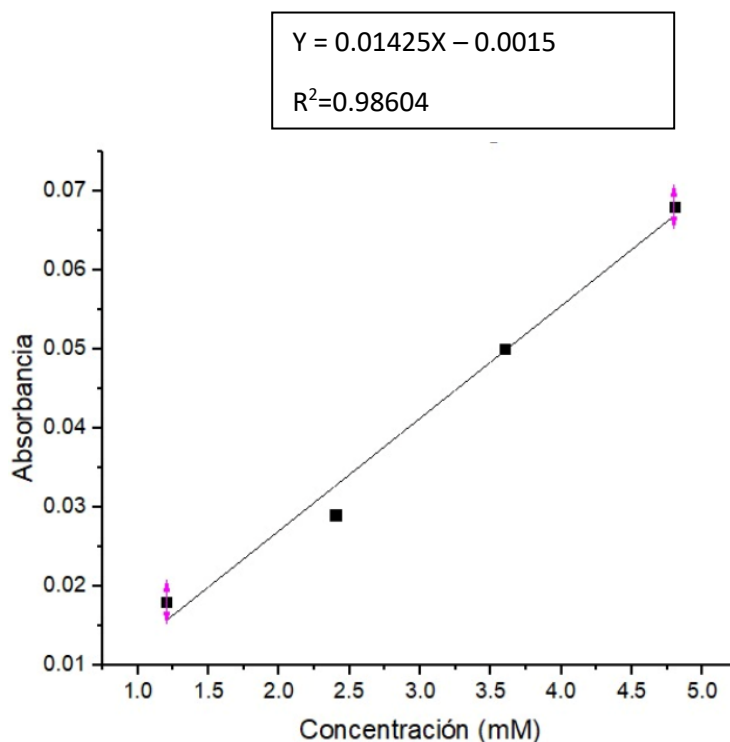


Fig. 2.1.1 Linealidad de la curva de Paraquat $R^2= 0.9860$

En la tabla N° 2.1, se presenta los datos obtenidos para la curva de calibración de Paraquat con un $R^2= 0.9860$ (Ver Fig. 2.1.1). Donde se utilizó una solución de 24 mM de Paraquat en 250 mL como punto de partida para la curva de calibración.

Cada muestra se preparó tomando diferentes volúmenes del analito (Paraquat) y se le añadió una mezcla de reactivos, incluyendo 4 mL de ácido ascórbico al 0.4% en masa por volumen, 3 mL de NaOH al 2 M y 3 mL de EDTA al 5% en masa por volumen en un total de 100 mL de solución. Luego, se midió la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro UV-Vis.

Los resultados muestran una relación directamente proporcional entre la concentración de Paraquat y la absorbancia medida. A medida que aumenta el volumen de analito y, por ende, la concentración de Paraquat, la absorbancia también aumenta de manera lineal. Esta

relación lineal es importante para cuantificar la concentración de Paraquat en muestras desconocidas a partir de la curva de calibración.

Los valores de absorbancia se presentan con su incertidumbre expresada como un valor $\pm$. Esto indica la precisión con la que se realizó la medición y la repetibilidad de los resultados. Por ejemplo, para la muestra 1, la concentración de Paraquat fue de 1.2 mM con una absorbancia de 0.018 ± 0.0003 nm.

En otro orden, con referencia a la tabla 3, se muestran los resultados de la caracterización física del maíz procedente de tres fincas diferentes. Se evaluaron tres parámetros: la masa del maíz, el diámetro ecuatorial (De) y el diámetro distal (Dd) de los granos. También se calculó la relación De/Dd para cada finca. Como se muestra a continuación:

Tabla 3. Caracterización Física del maíz procedente de las diferentes fincas

Finca	Masa del maíz (g)	Diámetro ecuatorial (De) (cm)	Diámetro distal (Dd) (cm)	Relación De/Dd
1	213.7	15.1	19.4	0.79
2	93.7	10.8	16.4	0.67
3	208.7	15.3	19.6	0.78
Por cada finca se realizaron cinco réplicas, los resultados mostrados son las medias.				
Finca 1 y 2 cultivos de maíz con Paraquat				
Finca 3 cultivos maíz sin Paraquat				

En la Finca 1, la masa promedio del maíz fue de 213.7 gramos, con un diámetro ecuatorial de 15.1 cm y un diámetro distal de 19.4 cm. La relación De/Dd para esta finca fue de 0.79.

En la Finca 2, la masa promedio del maíz fue de 93.7 gramos, con un diámetro ecuatorial de 10.8 cm y un diámetro distal de 16.4 cm. La relación De/Dd para esta finca fue de 0.67.

En la Finca 3, la masa promedio del maíz fue de 208.7 gramos, con un diámetro ecuatorial de 15.3 cm y un diámetro distal de 19.6 cm. La relación De/Dd para esta finca fue de 0.78.

El análisis de estos datos nos permite comparar la caracterización física del maíz entre las diferentes fincas y evaluar si hay alguna diferencia significativa asociada con la presencia o ausencia de Paraquat en el cultivo. También, es importante destacar que el tamaño y la morfología de los granos de maíz pueden verse afectados por varios factores, incluidas las condiciones de crecimiento, el manejo del cultivo y la presencia de herbicidas como el Paraquat. La diferencia en la masa y los diámetros ecuatorial y distal entre las fincas puede estar influenciada por la exposición a factores ambientales distintos o prácticas agrícolas diversas.

La relación De/Dd proporciona una medida de la forma del grano de maíz. Un valor más cercano a 1 indicaría un grano más esférico, mientras que valores más bajos indican una forma más alargada. En este caso, todas las fincas presentan una relación De/Dd por debajo de 1, lo que indica una forma alargada en los granos de maíz.

Segundo análisis. Presencia y Concentración de Paraquat las muestras de maíz

En la tabla 4, se muestran los resultados de las concentraciones de Paraquat en las muestras de maíz de tres fincas distintas. Cada finca se dividió en dos grupos: uno con presencia de Paraquat (denotado por Finca 1, Finca 2) y otro sin Paraquat (denotado por la Finca 3**), como se observa a continuación:

Tabla 4. Resultado de las muestras de maíz con o sin Paraquat en tres fincas

Muestras	Finca 1*	Finca 2*	Finca 3**
	Concentración	Concentración	Concentración
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	0.36	0.49	0.23

2	0.49	0.38	0.12
3	0.49	0.67	0.32
4	0.46	0.49	0.27
5	0.90	0.46	0.24
Media	0.54	0.50	0.24
* Finca con Paraquat **Finca sin Paraquat			

En cada finca, se tomaron cinco muestras numeradas del 1 al 5. Las concentraciones de Paraquat se midieron en miligramos por litro (mg/L).

Estos resultados indican que las concentraciones de Paraquat en las muestras de maíz varían entre las distintas fincas y muestras. En la Finca 1, las concentraciones son en general más altas, con una media de 0.54 mg/L. En la Finca 2, las concentraciones son cercanas a la media, con un valor medio de 0.50 mg/L. En la Finca 3, las concentraciones son más bajas, con una media de 0.24 mg/L.

Además, se observa que las concentraciones de Paraquat son más altas en las muestras de maíz de la Finca 1 en comparación con las otras dos fincas. Por otro lado, las muestras sin Paraquat (Finca 3) muestran concentraciones que aunque están cercanas a cero, indica que efectivamente muestran el analito.

En conclusión, los resultados obtenidos a través del método analítico AOAC muestran que hay presencia de Paraquat en las muestras de maíz de las fincas 1, 2 y 3, aunque estas concentraciones no superan el límite máximo permitido por la normativa (1mg/L, FAO CODEX ALIMENTARIUS, 2006), lo cual no afecta el consumo.

Por otra parte, en un principio, durante el análisis de los datos, se lleva a cabo una inspección visual de la curva de calibración. Después, se verifica la relación entre la concentración y la respuesta del instrumento al examinar las estadísticas de regresión. Por último, el analista puede determinar si el método de calibración propuesto en el procedimiento es adecuado. Esto significa evaluar si la investigación proporciona pruebas

objetivas de que un elemento específico cumple con los requisitos establecidos (Eurolab, 2016).

Por lo tanto, en el Laboratorio del Instituto Superior de Agricultura (ISA), se crearon dos curvas de calibración para la metodología, abarcando un rango de $\pm 20\%$ de la concentración de Paraquat. Esto se debe a que, como se ilustra en la figura 1, ambos enfoques analíticos exhiben un coeficiente de determinación (r -cuadrado) superior a 0.99. En consecuencia, se puede concluir que tanto el método de la AOAC demuestra una respuesta lineal en el equipo de verificación.

Además, la señal cualitativa obtenida proviene exclusivamente del Paraquat en el espectrofotómetro UV-Vis. Esto se demuestra porque no se observa ninguna absorción al analizar el blanco. Sin embargo, cuando se cuantifican las muestras o patrones, se detecta una señal. En resumen, se puede afirmar que el método es específico y selectivo.

De manera similar, los resultados de la evaluación de la repetibilidad y la precisión intermedia se presentan en los cuadros. En todos estos casos, el coeficiente de variación es inferior tanto a la ecuación de Horwitz como al 3%. Esto implica que la concentración de Paraquat se mantiene constante incluso si cambia el factor del día. En vista de esto, los datos se consideran repetibles y exhiben una precisión adecuada.

Estos hallazgos resaltan la importancia de cumplir con las regulaciones y normativas locales y nacionales sobre el uso de herbicidas en la agricultura, así como considerar alternativas más seguras y sostenibles para el control de malezas. El análisis y la cuantificación precisa de Paraquat en los alimentos son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud pública.

En ese mismo orden en la tabla 5, se muestran los resultados obtenidos para las muestras de maíz de las fincas 1 y 2 con presencia de Paraquat. Cada muestra se analizó utilizando espectrofotometría UV-Visible para medir la absorbancia en nanómetros (nm) y

se calculó la concentración en milimoles (mM) y miligramos por litro (mg/L). Como se presenta en lo siguiente:

Tabla 5. Resultados de las muestras de maíz de la finca 1 y 2 con presencia de Paraquat y sus niveles de concentración.

Finca	Muestras	Absorbancia (nm)*	Concentración (mM)**	Concentración (mg/L)
1	1	0.018 ± 0.001 (5.6%)	1.4	0.36
	2	0.026 ± 0.001 (3.8%)	1.9	0.49
	3	0.026 ± 0.0004 (1.5%)	1.9	0.49
	4	0.024 ± 0.001 (4.1%)	1.8	0.46
	5	0.049 ± 0.002 4.1%	3.5	0.90
Media		CV=3.9%	2.1	0.54
2	1	0.026±0.0010 (3.8%)	1.9	0.49
	2	0.020±0.00078 (3.9%)	1.5	0.38
	3	0.035±0.0013 (2.9%)	2.6	0.67
	4	0.025±0.0016 (6.4%)	1.9	0.49
	5	0.024±0.0006 (2.5%)	1.8	0.46
Media		CV=4.9%	1.9	0.50

* Cinco replicas por muestra para cada finca

****X±S(%CV) ****1 ml de maíz, 4ml ácido ascórbico 0.4%*m/v*, 3ml de NaOH 2M y 3ml EDTA 5%*m/v* en 100mL de solución

En la finca 1, se tomaron cinco muestras etiquetadas como 1, 2, 3, 4 y 5. Los valores de absorbancia para estas muestras fueron 0.018, 0.026, 0.026, 0.024 y 0.049 nm, respectivamente. Las concentraciones de Paraquat en estas muestras se calcularon como 1.4, 1.9, 1.9, 1.8 y 3.5 mM, y sus concentraciones en miligramos por litro fueron 0.36, 0.49, 0.49, 0.46 y 0.90 mg/L.

En la finca 2, también se tomaron cinco muestras, numeradas de 1 a 5. Las absorbancias obtenidas para estas muestras fueron 0.026, 0.020, 0.035, 0.025 y 0.024 nm, respectivamente. Las concentraciones de Paraquat en estas muestras se calcularon como 1.9, 1.5, 2.6, 1.9 y 1.8 mM, y sus concentraciones en miligramos por litro fueron 0.49, 0.38, 0.67, 0.49 y 0.46 mg/L.

En ambas fincas, se calculó la media y el coeficiente de variación (CV) para las concentraciones de Paraquat, siendo el CV un indicador de la dispersión de los datos en relación con la media. En la finca 1, el CV fue del 3.9%, mientras que en la finca 2 fue del 4.9%. Estos valores indican una relativa consistencia en los datos para ambas fincas.

Los resultados de este análisis muestran que las concentraciones de Paraquat varían entre las diferentes muestras y fincas. Esto podría estar relacionado con diversas variables, como las condiciones de cultivo, la aplicación de herbicidas y otros factores ambientales. Es importante tener en cuenta estos resultados al evaluar el impacto del Paraquat en la producción de maíz y en la seguridad alimentaria.

Tabla 6. Estudio de Recuperación de Paraquat en las muestras de maíz en la Finca 1 y 2 con mayor concentración

Finca	Paraquat añadido	Paraquat recuperado**	%Recuperación
1	2.9mM	4.8 ± 0.153mM (3.2%)	103.4
2	1.6mM	3.4 ± 0.089mM (2.6%)	100.0
Cuatro replicas por muestra para cada finca **X ± S(%CV)			

Cabe señalar que, en la tabla 6, se destaca que, para obtener los resultados precisos, se agregaron cantidades conocidas de Paraquat a las muestras de maíz y luego se midió la cantidad recuperada mediante el método analítico. Los resultados se compararon con las cantidades añadidas para determinar el porcentaje de recuperación, que nos indica cuán cerca está el método de analizar con precisión la cantidad real de Paraquat presente en las muestras.

En la Finca 1, se añadió una cantidad conocida de 2.9 mM de Paraquat a las muestras. Luego, el método analítico arrojó una concentración de Paraquat recuperada de 4.8 ± 0.153 mM (con una incertidumbre del 3.2%). El porcentaje de recuperación se calcula como (Paraquat recuperado / Paraquat añadido) x 100. En este caso, el porcentaje de recuperación es del 103.4%, lo que indica que se recuperó más Paraquat del que se agregó inicialmente. Un porcentaje de recuperación superior al 100% puede deberse a posibles errores sistemáticos en la técnica de análisis, es decir, indica que los errores sistemáticos están en el orden de otros métodos informados y en algunos casos en menor proporción, pero también puede indicar que el método es efectivo y preciso.

En la Finca 2, se añadió una cantidad conocida de 1.6 mM de Paraquat a las muestras. Luego, el método analítico arrojó una concentración de Paraquat recuperada de 3.4 ± 0.089 mM (con una incertidumbre del 2.6%). El porcentaje de recuperación muestra que, fue necesario realizar un proceso adicional en la preparación de las muestras de maíz para el maceramiento, debido a que el maíz estaba en un estado seco en comparación con las muestras de la finca 1. Sin embargo, el porcentaje de recuperación en este caso es del

100.0%, lo que indica una recuperación muy cercana a la cantidad añadida. Un porcentaje de recuperación del 100% sugiere que el método es preciso y confiable.

En resumen, en ambas fincas, se logró recuperar una cantidad mayor de Paraquat de la que se añadió inicialmente a las muestras, lo que se refleja en los porcentajes de recuperación superiores al 100%.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

En esta sección, se extrajo las conclusiones esenciales de los datos analizados y se proporcionaron recomendaciones fundamentadas.

5.1. Conclusiones

A continuación, se establecen las conclusiones en virtud de los objetivos planteados:

Identificar la presencia de Paraquat en las mazorcas de maíz a través de la espectrofotometría UV-Visible.

Se ha demostrado que la metodología analítica empleada para cuantificar el Paraquat en las mazorcas de maíz a través de la espectrometría UV-Visible con el método AOAC, exhibe una relación lineal coherente en el rango de concentraciones investigado. Este resultado se apoya en el valor del coeficiente de correlación, confirmado a través de la observación visual de la curva de calibración. Además, se ratificó esta linealidad mediante el cálculo del coeficiente de variación de los factores de respuesta, demostrando que la pendiente posee una diferencia estadísticamente significativa respecto a cero, mientras que el intercepto no presenta diferencias estadísticas significativas.

Además, la evaluación sistemática de la linealidad de la curva de calibración, respaldada por el coeficiente de determinación (R^2), ha sido crucial para asegurar la confiabilidad de nuestras mediciones. Los resultados reflejan una correlación sustancial entre la concentración de Paraquat y la absorbancia medida en el espectrofotómetro UV-Vis, validando así la efectividad de este método en la precisa cuantificación del herbicida.

De manera destacada, los valores numéricos más sobresalientes de las pruebas de linealidad exhiben coeficientes de determinación (R^2) de 0.9680 y 0.9860 en las dos pruebas efectuadas. Estos coeficientes cercanos a 1 indican una firme relación lineal entre la concentración de Paraquat y la absorbancia medida, reforzando la confiabilidad y

precisión del análisis. Asimismo, los datos subrayan que la curva de calibración es más precisa en la segunda prueba con un valor de 0.9860, indicando un ajuste más próximo a la linealidad.

Los datos obtenidos, mediante el coeficiente de determinación (0.9860), se respaldan en la ley de Lambert Beer que expresa, que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de la sustancia y a la longitud del camino que recorre la radiación en la solución, es decir, medida que aumente el volumen del analito (Paraquat) y por ende la concentración, también aumenta la absorbancia.

Determinar la concentración de Paraquat en la mazorca de maíz en diferentes parcelas con y sin Paraquat.

Las conclusiones extraídas de estos resultados son consistentes con el objetivo del estudio. Se ha confirmado que las concentraciones de Paraquat en las muestras de maíz varían entre las diferentes fincas y también entre las muestras dentro de cada finca. Estos hallazgos demuestran que la presencia de Paraquat en las parcelas afecta las concentraciones en las mazorcas de maíz.

Específicamente, se ha observado que las concentraciones de Paraquat son más altas en la Finca 1, que es la que se encontraba bajo la influencia directa de la sustancia, con una media de 0.54 mg/L. En la Finca 2, las concentraciones son comparativamente cercanas a la media general, alrededor de 0.50 mg/L. Por otro lado, en la Finca 3, donde no se aplicó Paraquat, las concentraciones son significativamente más bajas, con una media de 0.24 mg/L. Estos datos resaltan la importancia de la presencia del herbicida en las concentraciones detectadas, según la posible contaminación de las aguas y los suelos.

Por otro lado, en ambas fincas, se calculó la media y el coeficiente de variación (CV) para las concentraciones de Paraquat, siendo el CV un indicador de la dispersión de los datos en relación con la media. En la finca 1, el CV fue del 3.9%, mientras que en la

finca 2 fue del 4.9%. Estos valores indican una relativa consistencia en los datos para ambas fincas. Además, indican que el CV, fue preciso ya que obtuvo valores por debajo del 5%.

En cambio, la caracterización física del maíz procedente de diferentes fincas brinda una visión detallada de las diferencias morfológicas y de tamaño de los granos. Estos datos son esenciales para evaluar la posible influencia del Paraquat en el cultivo de maíz.

Las observaciones realizadas en las tres fincas permiten identificar patrones distintos. En la Finca 1, donde se aplicó Paraquat, se encontró una masa promedio del maíz de 213.7 gramos, diámetros ecuatorial y distal de 15.1 cm y 19.4 cm respectivamente, y una relación De/Dd de 0.79. La Finca 2, también bajo el efecto del Paraquat, mostró valores más bajos en la masa (93.7 g), diámetros ecuatoriales (10.8 cm) y distal (16.4 cm), con una relación De/Dd de 0.67. Por otro lado, en la Finca 3, donde no se utilizó el herbicida, se observaron valores similares a los de la Finca 1 en términos de masa (208.7 g) y diámetros ecuatoriales (15.3 cm) y distal (19.6 cm), con una relación De/Dd de 0.78.

La interpretación de estos resultados sugiere que la presencia de Paraquat en el cultivo de maíz podría estar relacionada con las diferencias en la morfología y el tamaño de los granos. Las variaciones en la masa y los diámetros entre las fincas podrían atribuirse a factores como las condiciones ambientales, las prácticas agrícolas y la exposición a herbicidas. Además, la tendencia general hacia relaciones De/Dd por debajo de 1 indica una forma alargada en los granos de maíz, lo que puede ser influenciado por múltiples factores, incluida la variabilidad genética y el ambiente.

Comparar los niveles de concentración de Paraquat en las mazorcas de maíz con los niveles permitidos por las normativas nacionales.

Según este objetivo, los resultados presentados brindan información relevante sobre la presencia y las variaciones de concentración de Paraquat en las muestras de maíz de las fincas 1, 2 y 3.

Al analizar los resultados obtenidos, es evidente que las concentraciones de Paraquat varían considerablemente entre las diferentes muestras y fincas. La media de las concentraciones en la Finca 1 fue de 0.54 mg/L, en la Finca 2 de 0.50 mg/L y 0.24 mg/L en la Finca 3.

En este contexto, es importante destacar que el límite máximo permitido por la normativa establecido por el FAO CODEX ALIMENTARIUS en 2006 es de 1 mg/L. Esta información es fundamental ya que, según este límite, los niveles medidos en las muestras de ambas fincas se encuentran significativamente por debajo del umbral permitido. Esta situación sugiere que las concentraciones detectadas en las mazorcas de maíz, tanto en la finca 1 como en la finca 2, no superan el nivel que podría afectar el consumo humano según las directrices establecidas.

Por otro lado, en cuanto la recuperación de Paraquat, la obtención de los resultados fue precisa, debido a que se agregó cantidades conocidas de Paraquat y se midieron las cantidades recuperadas mediante el método analítico, se evaluó la eficacia del proceso. Por lo que, en la Finca 1, con 2.9 mM de Paraquat añadido, se obtuvo una concentración recuperada de 4.8 ± 0.153 mM (con una incertidumbre del 3.2%). El porcentaje de recuperación de 103.4% indica que se recuperó más Paraquat del añadido inicialmente. Mientras que, en la Finca 2, con 1.6 mM de Paraquat añadido, se obtuvo una concentración recuperada de 3.4 ± 0.089 mM (con una incertidumbre del 2.6%). Aunque fue necesario un proceso adicional debido al estado seco del maíz, el porcentaje de recuperación del 100.0% indica una recuperación muy cercana a la cantidad añadida. Ambos porcentajes sugieren que el método fue exacto, efectivo, preciso y confiable, reforzando la integridad de los resultados analíticos.

Evaluar el impacto que ocasiona el uso del Paraquat en la salud humana

Con relación a este objetivo, se concluye que los resultados no representan un riesgo inmediato para la salud pública en términos de la presencia de Paraquat en las mazorcas de maíz analizadas. Las concentraciones medidas cumplen con los estándares de seguridad

alimentaria establecidos internacionalmente. A pesar de las variaciones observadas, en resumen, los niveles de Paraquat en las muestras se mantienen dentro del límite máximo permitido (1 mg/L), respaldando así la seguridad y adecuación del maíz para el consumo humano.

5.2. Recomendaciones

Al Gobierno Dominicano:

- Dada la creciente importancia de la seguridad alimentaria y la necesidad de monitorear los niveles de Paraquat en los cultivos, recomendamos encarecidamente a las autoridades pertinentes de la República Dominicana que consideren la creación de un Comité Directivo especializado en la optimización de laboratorios para trabajos con herbicidas en todo el país. Este paso contribuiría significativamente a una mayor comprensión de los niveles de Paraquat en los cultivos, así como a la promoción de prácticas agrícolas seguras y sostenibles.
- Se recomienda la implementación de las medidas fundamentales de un plan de Seguridad Alimentaria, fomentando la adopción de prácticas agrícolas orgánicas en nuestro país.

Al Ministerio de Agricultura:

- Dado que las concentraciones de Paraquat en las muestras de maíz estaban por debajo de los valores aceptados por la FAO (1mg/L), esto indica que los agricultores en La Vega, República Dominicana, están utilizando dosis apropiadas de Paraquat en sus cultivos de maíz. Sin embargo, es importante continuar realizando un monitoreo regular de los niveles de herbicidas en los cultivos. Esto ayudará a detectar cualquier cambio en las concentraciones con el tiempo y a garantizar la seguridad a largo plazo de los alimentos producidos.

- Aunque el estudio se centró en las concentraciones de Paraquat en el maíz, también es recomendable considerar métodos alternativos de control de malezas. La diversificación de prácticas de manejo de malezas puede reducir la dependencia de los herbicidas y minimizar los riesgos asociados con su uso continuo.

A la Universidad Tecnología del Cibao Oriental (UTECO)

Motivar a los estudiantes de grado y postgrado a realizar un estudio exhaustivo de la presencia de Paraquat en suelos y aguas, con especial énfasis en el agua, debido a su relevancia en el suministro para el consumo humano y uso en la cría de animales.

A los estudiantes de grado y postgrado:

Mejorar el proceso de investigación, ampliando la variedad de técnicas e instrumentos para la recolección de datos, con el propósito de obtener informaciones más confiables.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, D; Andrade, D; Alava, D; Burbano, J; Díaz, M; Garcés, A; Jiménez, W; Leiva, D; Loayza, V; Muyulema, W; Pérez, P; Ruiz, V; Simbaña, B; Yépez, R. (2015). ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE SEMBRADA DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) Y MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays* L.) . ECUADOR, s.e
- Alza, W., (2018). Cuantificación de plaguicidas en suelos y aguas provenientes de Ventaquemada (Boyacá). (Tesis de maestría). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3053>
- Aquilano, C. G., Ricca, A., Font, A., & Bazzigalupi, O. (2017). Germinación y residuos de plaguicida en semillas de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) cultivadas con aplicación de glifosato y paraquat en precosecha. Universidad Nacional de La Plata.
- Altieri, M.A. & C.I. Nicholls. 2009. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Barcelona:Icaria Editorial. 248pp.
- Avilés, D. V., Saltos, E. C. y Jiménez, R. G., (2019) Sistemas informáticos evaluación agronómica y molecular de 10 híbridos introducidos de maíz (*Zea maíz* L.) por rendimiento y sanidad en las condiciones.
- Barrios, y Basso, (2018). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz.
- Bedmar, (2011). Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Revista Ciencia Hoy en Línea.
- Benejam, (2006). Técnicas de control de malezas en potreros. Revista X Seminario de Pastos y Forrajes. Caracas.

Benítez, 2012. Plaguicidas y Efectos sobre la Salud Humana: Un Estado del Arte, 13-20.

Benito, Magnoli, y Barberis, (2018). Efecto del glifosato sobre la producción de aflatoxina B1 por cepas de *Aspergillus* sección Flavi aisladas de maíz. *Revista Científica FAV-UNRC Ab Intus*, 1(1), 67-77.

BONILLA, N. 2009. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Manual de recomendaciones técnicas cultivo de maíz (*Zea mays*). San José, Costa Rica. 72. [En línea]: (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00178.pdf>).

Casanova, García, Rodríguez, y Nieto, (2016). Paraquat, una molécula tóxica para la célula pulmonar. *Archivos de Bronconeumología*, 52(2), 102-108.

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) (2016). Cursos de Autoinstrucción en Diagnóstico, Tratamiento y Prevención de Intoxicaciones Agudas Causadas por Plaguicidas.

CICOPLAFEST, (1991). Catálogo Oficial de Plaguicidas, Ciudad de México, México, D.F

Cid, (2014). Aplicación Eficiente de Fitosanitarios, cap. 2: Plaguicidas químicos, composición y formulaciones, etiquetado, clasificación toxicológica, residuos y métodos de aplicación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina, 1-14.

Delirrad, M., Majidi, M. y Boushehri, B. (2015). “Clinical features and prognosis of paraquat poisoning: a review of 41 cases”. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 8(5), 8122– 8128.

Del Puerto, A., Suárez, S., y Palacio, D., (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud [Effects of pesticides on health and the environment]. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), Ciudad de la Habana, setiembre-diciembre de 2014.

- DERAS, H. 2012. Guía técnica, el cultivo del maíz. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). [En línea]: (<http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GuiaTecnica%20Maiz%202014.pdf>, documento 01 agosto 2015).
- Elizondo y Boschini, (2017). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomíameso Americana* 12(2): 181-187.
- Eurolab et al., (2016). Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados.
- FAO CODEX ALIMENTARIUS, (2006). Directrices internacionales para la gestión de plaguicidas: normas del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO, 2016. Glosario de términos fitosanitarios. Normas Internacionales Para Medidas Fitosanitarias. Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria
- FAO, (2021). Aplicación de técnicas de remediación en aguas y suelos contaminados por residuos de herbicidas. Editorial: Universidad de Murcia.
- FAOSTAT, (2017). Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Florida, N., Lopez, C. y Pocomucha, V. (2012). “Efecto del herbicida paraquat y glifosato en propiedades del suelo que condicionan el desarrollo de bacterias y fungi”. *Revista Investigación y Amazonía*, 2(1, 2), 35-43.
- Fu et al., (2019). Paraquat and cancer risk: a meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 12207-12218.

- García, E. (2018). Uso del Glifosato y los cultivos transgénicos resistentes. *AgroProductividad*, 11(4), 112-117.
- García, Galo, Velásquez, Calderón, Ponce, (2018). Determinación de residuos de Paraquat en lechuga y repollo cultivados en Lepaterique mediante HPLC-DAD. *Portal de La Ciencia*, 15, 33–48. <https://doi.org/10.5377/pc.v0i15.7301>
- Gómez, J. 2011. Control químico de la maleza. Editorial Trillas. México. p. 9-13, 19-23, 51-53, 142-145.
- Gómez y hurtado, (2019). Enseñanza de las ciencias naturales. Enseñanza de las ciencias naturales mediante el modelo de ciencia escolar en el colegio técnico José Félix Restrepo, grado cuarto. Tomado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/22163/2020mariagomez.pdf?sequence=2&isallowed=y>
- González y Avila, (2016). Proceso de fabricación de la harina precocida de maíz.
- Green (2019). Espectro electromagnético. Recuperado de:
- Guacho, 2014. Caracterización Agro-Morfológica Del Maíz (Zea Mays L.) De La Localidad San José De Chazo.”. Escuela De Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
- Harris, R. M. (2007a). Paraquat and diquat. In *Molecules of Death*, Second Edition (pp. 265– 280). https://doi.org/10.1142/9781860948381_0015.
- Hernández, et al., (2018). Bacterias nativas del suelo con potencial para la degradación de glifosato y promoción del crecimiento vegetal. *Ciencia del Suelo*, 36(2), 105-114.
- Herrera, (2019). Análisis del costo de producción por hectárea del cultivo de maíz en el ciclo de siembra en la finca Daniela
<http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3093/LABBSR01T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INTAGRI. 2017. Manejo de Malezas en la Agricultura Orgánica. Serie Agricultura Orgánica Núm. 16. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/manejo-de-malezas-en-la-agricultura-organica> .

Isenring, R., (2006). Paraquat: Riesgos inaceptables para la salud de los usuarios. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional, Costa Rica. Disponible en: <http://www.iret.una.ac.cr/Publicaciones/07-0013.pdf>

Isenring. (2017). Adverse health effects caused by paraquat, a bibliography of documented evidence. Public Eye, Pesticide Action Network UK and Pesticide Action Network Asia-Pacific. Disponible en: https://www.publiceye.ch/fileadmin/files/documents/Syngenta/Paraquat/PE_Paraquat_2-17_def.pdf

Islam, F., Wang, J., Farooq, M. A., Khan, M. S. S., Xu, L., Zhu, J., Zhao, M., Muños, S., Li, Q. X., & Zhou, W. (2018). Potential impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. *Environment International*, September, 332–351. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.020>

Jallow , M., Awadh, D., Albaho, M., Devi , V., & Thomas, B. (2017). Pesticide Knowledge and Safety Practices among Farm Workers in Kuwait: Results of a Survey. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(4), 1-15.

Kabade, D., Koppad, A., Khatawakar, A., Vijaylaxmi, P. y Patil, G. (2015). “Paraquat Poisoning: A Case Report”. *Journal of evolution of Medical and Dental Sciences*, 4(35), 6143-6147.

Karajallo, Acosta, e Inocencio, A., (2018). Efecto de la aplicación de nitrógeno, e inoculación con bacterias promotoras de crecimiento sobre el cultivo de maíz.

- Kumar, H., Singh, V., Meena, B., Gaur, S. y Singla, R. (2016). "Paraquat Poisoning: A Case Report". *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(2), 10-11.
- Lago, 2020. Los recursos hídricos como fuente de tensiones: análisis de los principales conflictos en el mundo y el papel de la cooperación. Universidad de León.
- Lagunas, B., (2019). Niveles Ambientales De Herbicidas En Pozos Y Cuerpos De Agua Superficial Ubicados En Una Comunidad Mexicana Dedicada Al Cultivo De Maíz. Universidad Autónoma Del Estado De Morelos
- Lara, (2015). Evaluación de la residualidad de plaguicidas en papa (*Solanum tuberosum*) cultivada en Ventaquemada (Boyacá). Maestría en Química. Evaluación de la residualidad de plaguicidas en papa (*Solanum tuberosum*) cultivada en Ventaquemada (Boyacá)
- Lara, A. , García J., y Chaparro, S., (2015). Validación del método voltamétrico para la determinación de residuos de Paraquat aplicado en cultivos de papa. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá, Colombia.
- Lau, Thibodeaux, Hanson, y Narotsky, (2019). Evaluation of paraquat analytical methods for use in human biomonitoring. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 54(7), 507-514.
- Lebrón, R. (2007). Adsorción de Paraquat con polímeros naturales. (Proyecto de graduación). Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- Li SP, Han JY, Sun P, Wu GY, Bai XY. 2014. Effect of SP-A/B in lipoic acid on acute paraquat poisoning. *World J Emerg Med*. 5(1):57-62.
- Liu, Z., Hedayati, P., Sudhölter, E. J. R., Haaring, R., Shaik, A. R., & Kumar, N. (2020). Adsorption behavior of anionic surfactants to silica surfaces in the presence of calcium

ion and polystyrene sulfonate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 125074. doi:10.1016/j.colsurfa.2020.125074

López, (2018). Impacto del uso de herbicidas para el control de plantas invasoras en los cuerpos de aguas dulces y marinos (Tesis de maestría). Universidad de Sherbrooke, Canadá. Consulado de
https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1953/1/100000058874_documento.pdf

Luna, et al., (2008). “Determinación de Paraquat En Orina Utilizando Un Sistema de Inyección En Flujo Continuo.” *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, vol. 42, no. 2, www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572008000200011.

Macuri, N. E. R., (2016). Estudio de la diversidad fenotípica del maíz (*Zea mays* L.).

Marín, J., Alzate, F., Atehortua, M., Avendaño, M., Ramos, M. y Rocha, R. L. (2016). “Paraquat Intoxication: description and clinical outcome in a reference center in Clinical Toxicology in Colombia”. *Toxicology Letters*, (259), 148.

Martin y Arenas (2018). Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Ciencias Agrícolas. Entramado* vol.14, No .1.
<http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v14n1/1900-3803-entra-14-01-232.pdf>

Mariucci, et al., (2018). Potencial fisiológico de semillas de maíz sometidas a diferentes tratamientos y periodos de almacenamiento. *Revista de ciencia de semillas*, 40(1), 60-66.

Meza (2019). Evaluación de tres herbicidas pre-emergentes aplicados al cultivo de maíz (*Zea mays*) sembrado en la finca experimental “La María” en época seca. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3845/1/T-UTEQ-0193.pdf>

Mina (2019). Evaluación de la selectividad de herbicidas postemergentes, interaccionados con distancias de siembra en el cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) en la

zona de Puebloviejo. Ecuador. Consultado de
[http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6142/TE-UTB-FACIAG-
ING%20AGRON-000197.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6142/TE-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000197.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Montalvo, (1983). Residuos de plaguicidas en cultivos tropicales. (Ed.), *AgEcon Search*.
<https://ageconsearch.umn.edu/record/261643/>

Montes, E., (2016). La milpa amatleca como estrategia de vida. Universidad Autónoma del
Estado de Morelos. Primera edición. Cuernavaca, Morelos publicaciones@uaem.mx
libros.uaem.mx. Libre pág: 20-21

Moreno y Peñaranda, (2019). FITOTOXICIDAD: Más que un culpable, una mirada a los
múltiples factores en interacción. Metrofloragro

Ozuna, D. (2020). Residualidad de un herbicida. Rainbow Uruguay, 1–7.
[https://www.rainbowagroconosur.com/uy/detalle-de-residualidad-de-unherbicida-
194](https://www.rainbowagroconosur.com/uy/detalle-de-residualidad-de-unherbicida-194)

Pacheco, R. y Barbona, E. I. (2017). Manual de uso seguro y responsable de agroquímicos
en cultivos frutihortícolas. Recuperado de
<https://inta.gob.ar/sites/default/files/intamanual-uso-agroquimicos-frutihorticola.pdf>

PAN International (2018). Lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos de PAN
Internacional.
[http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/Prensa/Plaguicidas_altamente_peligrosos
_lista_2018_actualizada_PAN.pdf](http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/Prensa/Plaguicidas_altamente_peligrosos_lista_2018_actualizada_PAN.pdf)

PAN International, (2021). El herbicida glifosato y sus alternativas.
[https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Ramirez-
28/publication/358621408_El_herbicida_glifosato_y_sus_alternativas_Serie_Infor
mes_Tecnicos_IRET_N_44/links/620beca3cf7c2349ca162caa/El-herbicida-
glifosato-y-sus-alternativas-Serie-Informes-Tecnicos-IRET-N-44.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Ramirez-28/publication/358621408_El_herbicida_glifosato_y_sus_alternativas_Serie_Informes_Tecnicos_IRET_N_44/links/620beca3cf7c2349ca162caa/El-herbicida-glifosato-y-sus-alternativas-Serie-Informes-Tecnicos-IRET-N-44.pdf)

- Patiño, K. y Rivera, M. (2019). Incidencia y morbilidad por ingesta de paraquat (organofosforados) en el Hospital Sagrado Corazón de Jesús. Universidad de Guayaquil
- Picó García, Y., Moltó Cortes, J. C., Font, G., & Mañes, J. (1990). Determination of diquat, paraquat, and glyphosate residues in oils. *Revista de Toxicología*, 7(3), 293-299.
- Pineda, (2020). Incidencia de la productividad agrícola en el desarrollo humano de la región San Martín, período 2014-2018
esis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4020/1/ECONOMÍA%20-%20Yessica%20Quinteros%20Mendoza%20%26%20Lesly%20Paola%20Pinedo%20Mendoza.pdf.
- Ramírez y Lacasaña (2001). Plaguicidas: Clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición, Instituto Nacional de Salud Pública, Arch. Prev. Riesgos Labor, 4(2), 67-75.
- Rehman, et al., (2017). Eficacia de los herbicidas en el control de *Parthenium hysterophorus* L. en maíz de primavera (*Zea mays* L.). Garantía de Calidad y Seguridad de Cultivos y Alimentos, 9(2), 213-220.
- Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. In Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura FAO. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Rojas, (2014). Determinación de residuos de plaguicidas en suelos de uso agrícola en la microcuenca Zarzales, parroquia las playitas, municipio Rivas Dávila, Estado Mérida, Venezuela. *La Revista Forestal Venezolana*, 58(1), 100+.
- Rojas-Fernández, J. A., Benítez-Díaz, P. R., Rivas-Rojas, E. A., & Miranda-Contreras, L. (2020). Residuos de plaguicidas en suelos de uso agrícola y riesgo de exposición en la microcuenca Los Zarzales, Municipio Rivas Dávila, Estado Mérida, Venezuela.

Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 35(2), Epub 19 de febrero de 2020. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.04>

Rosales, E; Ricardo, R; de La Cruz, S. (2006). CLASIFICACIÓN Y USO DE LOS HERBICIDAS POR SU MODO DE ACCIÓN (en línea). MEXICO-TAMAULIPAS, s.e. Consultado 11 feb. 2023. Disponible en <https://www.compucampo.com/tecnicos/clasificacionherbs.pdf>.

Sabarwal, A., Kumar, K., & Singh, R. P. (2018). Hazardous effects of chemical pesticides on human health–Cancer and other associated disorders. In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol. 63, pp. 103–114). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.08.018>

SADER y SENASICA, (2019). Manual Para El Buen Uso Y Manejo De Plaguicidas En Campo. Primera edición.

Sandoval, (2015). Evaluación de la residualidad de plaguicidas en papa (*Solanum tuberosum*) cultivada en Ventaquemada (Boyacá). *Repositorio.uptc.edu.co*. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2586>

Satore y Kammerath 1990; Doll 1996; Mallory-Smith y Retzinger, 2020). Determinar La Dosis Adecuada Del Hongo (*Metarhizium Anisopliae*) Para Controlar Al Cogollero (*Spodoptera Frugiperda*) En La Produccion De Maiz En La Comunidad De Ccasancca – Caja – Acobamba – Huancavelica

Shi, Zhang, Ding, y Li, (2015). Influence of soil properties on paraquat adsorption and mobility in soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 111, 44-49.

Silveira, M. , Aldana, M., Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., -Silveira, G., y Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1)

- Skoog, Holler y Crouch, (2020). Principles of Instrumental Analysis (6th ed.). Cengage Learning.
- Smith, (2019). Dosificación y aplicación de herbicida Paraquat en el cultivo de maíz. Revista de Agronomía, 25(3), 45-60.
- Syngenta, (2018). Manual de Identificación de Malezas. Manual de Identificación de Malezas. Consultado de <http://www.controldemalezastemprano.com>
- Tobar C. (2021). Efecto de la aplicación de herbicidas en la población de bacterias presentes en un biofertilizante aplicado al maíz de altura, cutuglagua, pichincha. Ibarra.
- UNEP/FAO. (2012). Proyecto de documento de orientación para la adopción de decisiones para formulaciones líquidas (concentrado emulsionable y concentrado soluble) que contienen, como mínimo, 276 g/l de dicloruro de Paraquat, equivalente a 200 g/l o más de ión de paraquat. 0(0), 13–18.
- US EPA, (2017). Triazinas, los herbicidas más usados alrededor del mundo: aspectos químicos y biológicos. Revista: CienciAcierta <http://www.cienciacierta.uadec.mx/articulos/CC66/triazinas.pdf>
- Vargas, (2010). Determinación de la concentración letal 50 (cl50) a 96 horas en rodostomo (hemigrammus rhodostomus) expuesto al herbicida gramoxone® (paraquat). *Repository.unimilitar.edu.co*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/400>
- Vargas, (2018). Eficiencia del maíz (zea mays) cultivado con abonos orgánicos (compost y humus hechos a partir de restos de flores) en la disminución de las concentraciones de plomo de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero.
- Viales, L. G. (2014). Intoxicación por Paraquat. Asociación Costarricense de Medicina Forense 31(2), 16-30

- Wang, L., Liu, Z., Zhang, J., Wu, Y., & Sun, H. (2016). Chlorpyrifos exposure in farmers and urban adults: Metabolic characteristic, exposure estimation, and potential effect of oxidative damage. *Environmental Research*, 149, p. 164–170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.011>
- Ware y Whitacre, (2004). *The Pesticide Book*, 6th Ed. Meister Media Worldwide. Willoughby, Ohio. Pág. 488.
- Zita, G. 2012 Resistencia de malas hierbas a herbicidas inhibidores de la enzima ACCasa. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, Departamento de Edafología y Química. México. 211 p.

ANEXOS

ANEXO 1. CRONOGRAMA DE TESIS DE MAESTRÍA EN QUÍMICA

Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO)
Universidad Estatal
Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Cronograma de Trabajo de tesis maestría en Química grupo-2.



Octubre 2022

Componentes	Marzo				Abril				mayo				Junio				julio				Agosto			
Investigación	■	■	■	■																				
Solicitud de Título					■																			
Aprobación del título						■																		
Elaboración del anteproyecto							■	■	■															
Entrega del Anteproyecto										■														
Aprobación del Anteproyecto.											■													
Retroalimentación												■												
Aplicación de la Metodología													■	■										
Resultados generados en la Investigación														■										
Redacción del primer borrador corregido															■									
Entrega a la Facultad																■								
Remisión del Título a Registro																	■							
Lectura del Jurado Evaluador																		■						
Examen del Jurado Evaluador																			■					
Retroalimentación																				■				
Entrega empastado																						■		

ANEXO 2. CÁLCULOS DE LAS CONCENTRACIONES MOLARES

Datos de Paraquat

$$\% \text{ m/v} = 20$$

$$M = \frac{20 \times 1,10 \times 10}{257,16}$$

$$d = 1,10 \text{ g/ml}$$

$$M = 0,856 \text{ mol/L (concentrado)}$$

$$mM = 257,16 \text{ g/mol}$$

Solución A $\longrightarrow$ 250 ml

$$C_A = \frac{7 \text{ ml} \times 0,856 \text{ M}}{250 \text{ ml}} = 0,024 \text{ M}$$

Muestras	V _A (ml)	V _{sol} (ml)	C (mM)	O (M)
1	5 ml	100	1,2	$1,2 \times 10^{-3}$
2	10 ml	100	2,4	$2,4 \times 10^{-3}$
3	15 ml	100	3,6	$3,6 \times 10^{-3}$
4	20 ml	100	4,8	$4,8 \times 10^{-3}$

Muestra 1

$$C_1 = \frac{0,024 \text{ M} \times 5 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ M} = 1,2 \text{ mM}$$

$$C_2 = \frac{0,024 \text{ M} \times 10 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 2,4 \times 10^{-3} \text{ M} = 2,4 \text{ mM}$$

$$C_3 = \frac{0,024 \text{ M} \times 15 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 3,6 \times 10^{-3} \text{ M} = 3,6 \text{ mM}$$

$$C_4 = \frac{0,024 \text{ M} \times 20 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 4,8 \times 10^{-3} \text{ M} = 4,8 \text{ mM}$$

ANEXO 3. PRUEBAS PRELIMINARES PARA CONSEGUIR EL MEJOR R².
 Tabla1. Datos linealidad de la curva Paraquat (Primera prueba)

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Absorbancia
Weight	No Weighting
Intercept	0.0065 ± 0.00694
Slope	0.00867 ± 0.00211
Residual Sum of Squares	6.42E-5
Pearson's r	0.94545
R-Square (COD)	0.89388
Adj. R-Square	0.84083

Tabla2. Datos de linealidad de la curva Paraquat (Segunda prueba)

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	B
Weight	No Weighting
Intercept	-0.0025 ± 0.00444
Slope	$0.00354 \pm 3.24345E-4$
Residual Sum of Squares	2.63E-5
Pearson's r	0.99171
R-Square (COD)	0.98349
Adj. R-Square	0.97523

ANEXO 4. PANEL FOTOGRÁFICO

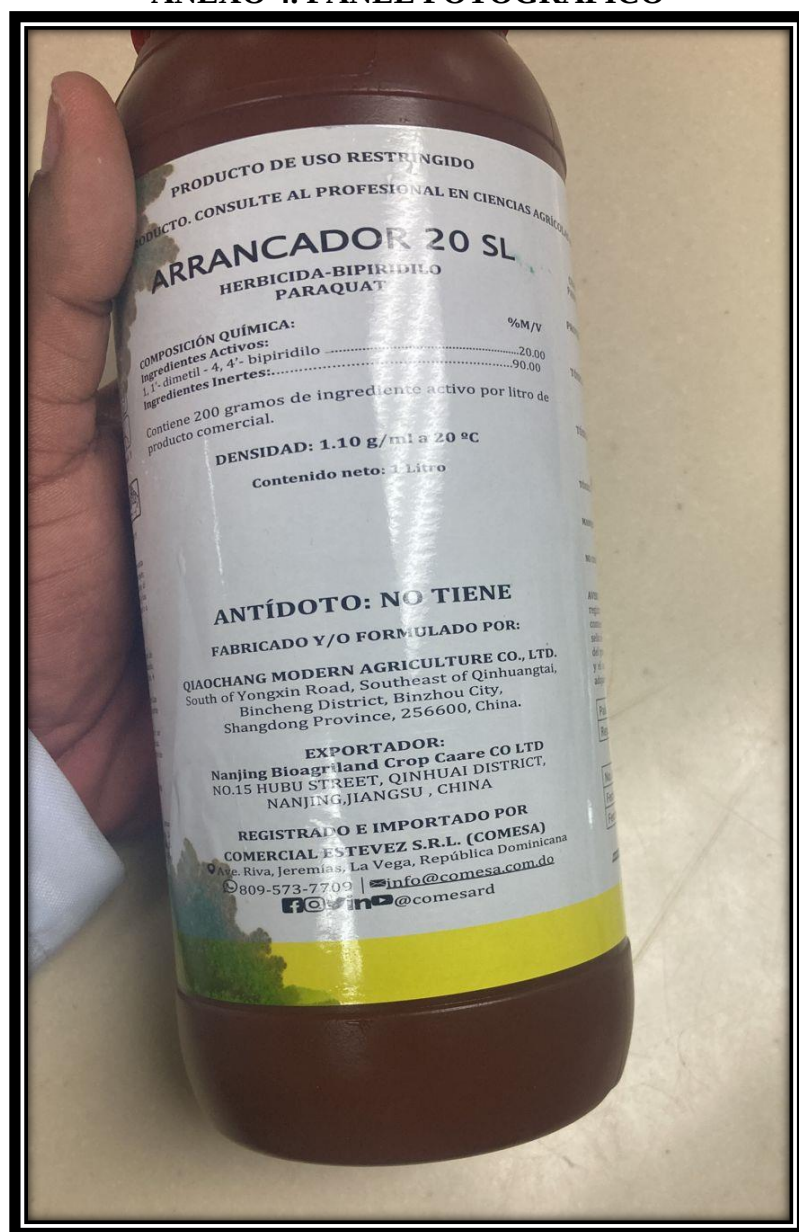


Imagen 1. Paraquat Alemán (1,1'-dimetil-4,4'-bipiridinio dicloruro)

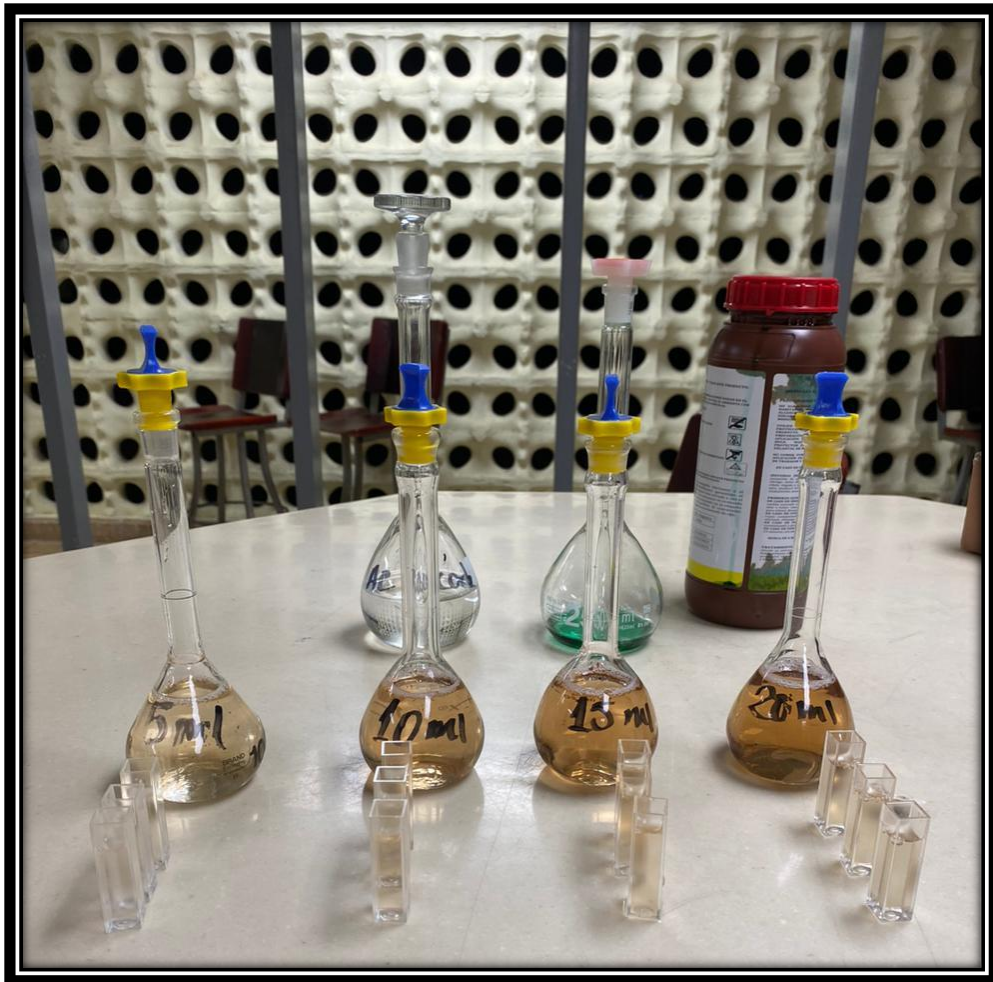


Imagen 2. Alícuotas de solución (250 mL) Paraquat



Imagen 3. Cambio de color (De marrón a azul) del Paraquat mientras está en reposo.