Mincyt
Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA QUÍMICA

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

CIENCIA EN REVOLUCIÓN
ISSN: 2610-8216
Depósito Legal: MI2019000004

VOLUMEN 7, NÚMERO 21, MAYO - AGOSTO, 2021

Gobierno Bolivariano de Venezuela | Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

Volumen 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

ISSN–e: 2610–8216
Depósito legal: MI2019000004

Revista arbitrada e indizada en: Revencyt; Academic Resource Index; Directorio de Latindex; Pendiente de calificación en Latindex Catálogo 2.0; AmeliCa; AURA; SHERPA/ROMEO; Disponible en zenodo; Firmante de DORA y de la Iniciativa Helsinki.

Ciencia en Revolución

Órgano de divulgación científica, tecnológica y social.
Su propósito es la difusión, promoción y apoyo a las investigaciones, así como de las actividades académicas.

Editora Jefe

Dra. Magaly Henríquez González
Presidencia
Centro Nacional de Tecnología Química, Venezuela
e–mail: mhenriquez.cntq@gmail.com

Editor Ejecutivo

Sección Ciencia y Tecnología
Dr. Samuel Villanueva Velásquez
Dirección Técnica
Centro Nacional de Tecnología Química
e–mail: svillanueva.cntq@gmail.com

Editora Ejecutiva

Sección Ciencia y Comunidad
Lcda. Dayana Arreaza
Gerencia A. y A. I.
Centro Nacional de Tecnología Química
e–mail: darreaza.cntq@gmail.com

Editora Asociada

Lcda. María Laura Chona
Dirección Ejecutiva
Centro Nacional de Tecnología Química
Sistema de revisión en línea de manuscritos y métricas
e–mail: mchona.cntq@gmail.com

Junta Editorial

Dr. Marcos Rosa–Brussin
Universidad Central de Venezuela
Venezuela
e-mail: marcos.rosa@ciens.ucv.ve

Dr. Ángel Almarza
Universidad de Carabobo
Venezuela
e-mail: adalmarza@gmail.com

Prof. Germán Siegert Carrasquel
Universidad Central de Venezuela
Venezuela

MSc. César Alejandro Basanta
Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo
Venezuela

Dr. José Gregorio Biomorgi
Universidad Central de Venezuela
Venezuela

Edición Técnica

Dra. Lisbeth Manganiello
e–mail: lisbethmanganiello@gmail.com

Dr. Cristóbal Vega
e–mail: vega.cristobal@gmail.com

Revisores – editores de productos de investigación desarrollo e innovación
Dirección Técnica,
Centro Nacional de Tecnología Química, Caracas, Venezuela
Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

Web master: M. L. Chona Dirección Ejecutiva e–mail: mchona.cntq@gmail.com

Diseño de portada Lic. Alejandro Campero Diagramación y diseño plantilla LaTeX Dr. Cristóbal Vega

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

ISSN–e: 2610 – 8216

Ciencia en Revolución

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA QUÍMICA

CNTQ

Caracas – Venezuela

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA QUÍMICA

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Energía y ambiente

Lic. Gabriela Josefína Pérez Quintana
Coordinadora
e–mail: gperez.cntq@gmail.com

Manufactura y valorización de la materia prima nacional

Lic. Bertha Lucía Lasso Vera
Coordinadora
e–mail: blasso.cntq@gmail.com

Sistemas de gestión de la calidad

MSc. Jenny Cristina De Almeida Dos Santos
Coordinadora
e–mail: jdealmeida.cntq@gmail.com

Contenido general
(*General Content*)

Página	
V	Editorial *Magaly Henríquez*
	Carta al editor
VII	**Informative Note: Artisan Product (*Alimento R-O*), a Natural Reinforcement for Immune System** Nota informativa: Producto artesanal (*Alimento R-O*), un refuerzo natural para el sistema inmunológico *Orlando Rosquel*
	Sección Ciencia y Comunidad
X	Artículo de divulgación ***Cendit Foundation*: 16 Years Offering Sovereign Solutions** *Fundación Cendit*: 16 años ofreciendo soluciones soberanas *Candi Moncada*
	Sección Ciencia y Tecnología
37	Artículo **Synthesis, X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Differential Thermal Analysis and Magnetic Susceptibility of the alloy $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ with $x = 0.5$** Síntesis, difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido, análisis térmico diferencial y susceptibilidad magnética de la aleación $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ con $x = 0.5$ *P. Grima-Gallardo, A. Velasquez, G.E. Delgado E. Pérez-C.*
46	Estado del arte **Guayana's Diamond Potential** Potencial diamantífero de Guayana *Freddy J. Sojo R., Mauricio E. Hernández F.*

Contenido general (continuación)
(*General Content*) (continuation)

	Artículo
59	**Determination of Groundwater Quality for Irrigation Use in Agricultural Systems** Determinación de la calidad de aguas subterráneas para uso de riego en sistemas agrícolas J.P. Mogollón, T. Fernández C., H. Garrido, A. Cordero, D.A. Quintero, Y. Castillo, Y. Colmenares
	Estado del arte
73	**Solar Photocatalysis: A Promising Technology for the Treatment of Organic Matter and Water Disinfection** Fotocatálisis solar: una tecnología prometedora para el tratamiento de materia orgánica y desinfección de aguas *Guillermo Centeno-Bordones*

	Apéndices
1	Rules for submitting articles – Section Science and Technology
4	Normas para la presentación de artículos – Sección Ciencia y Tecnología
7	Políticas antiplagio
9	Carta de compromiso
10	El cuerpo de editores académicos
11	Estrategias de evaluación de los manuscritos
13	Políticas de ética y publicación

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

Editorial

Editorial DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5721351

En esta nueva entrega de la revista Ciencia en Revolución en su ejemplar volumen siete (7), número veintiuno (21), correspondiente a la edición de mayo – agosto de 2021, ratificamos nuestro apoyo a todos los autores que desean hacer visible sus productos de I+D+i, en especial, aquellos investigadores noveles interesados en publicar, cuya experiencia en la elaboración de un artículo científico está en proceso de formación. El cuerpo editorial asume con responsabilidad y dedicación la tarea, conscientes de que el arte de comunicar las ideas de manera escrita nunca ha sido una labor fácil, más aún en el área de la ciencia y la tecnología, donde se demanda una redacción sencilla, austera, que exprese el conocimiento que se pretende transmitir de una manera clara y precisa. En concordancia con Ileana Alfonzo [1]*, se cita textual:*

> *Los aportes científicos requieren de precisión al presentar los resultados, ellos deben de estar distantes de lo fugaz y lo impreciso. Sin libros y revistas, sin artículos, ponencias o informes de investigación, la ciencia moderna resultaría inconcebible. Es, por lo tanto, imprescindible para cualquier científico, investigador, profesional o estudiante, el dominio del lenguaje escrito y de sus diferentes formas en el ámbito de la comunicación científica.*

A continuación, la edición de este ejemplar abre con una nota informativa enmarcada en la Sección Carta al editor, donde Rosquel expone brevemente un producto artesanal a base de semillas, frutas, cereales y enzimas digestivas, que puede servir para el fortalecimiento del sistema inmune. El principal interés del autor es dar a conocer su emprendimiento con la finalidad de establecer contacto con laboratorios especializados, que le permitan certificar la calidad del suplemento alimenticio.

La Sección de Ciencia y Comunidad se honra en presentar el artículo de divulgación dedicado a los dieciséis (16) años de la fundación del Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones, Cendit. Desde sus inicios, la institución se ha caracterizado por servir al país a través de programas de asistencia a la comunidad, como es el caso de la Cayapa Heroica conformada por un equipo multidisciplinario de jóvenes científicos dedicados a reactivar equipamiento médico, indispensable para atender de forma gratuita la salud de los venezolanos. Además, cabe destacar que ofrece apoyo a las empresas e instituciones mediante cursos especializados, asesorías, certificación de equipos, ensayos y pruebas de interés entre sus actividades.

La Sección de Ciencia y Tecnología apertura su contenido con el artículo científico de Grima-Gallardo y colaboradores, donde presentan un estudio colaborativo realizado entre diferentes estructuras de investigación de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes (ULA), el Centro Nacional de Tecnologías Ópticas, el Centro de Investigaciones Astronómicas (CIDA), todos ubicados en el estado Mérida, Venezuela, y el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad de Habana, Cuba, donde se aúnan esfuerzos para la caracterización de materiales para su aplicación a dispositivos ferromagnéticos a temperatura ambiente.

[1] I.R. Alfonso S. *El arte de escribir*, Acimed, 9(2): 85-87, 2001.

Sojo y Hernández aportan un interesante estado del arte del recurso diamantífero existente en la región de la Guayana venezolana, los autores sostienen, que a la luz de la documentación revisada, existe suficiente evidencia para considerar una vasta existencia de esta riqueza que debe ser cuantificada y certificada. Mogollón et al. analizan en su investigación, los procedimientos a seguir para la evaluación de las aguas subterráneas destinadas al uso agrícola, ubicadas en la parroquia El Vínculo, estado Falcón. Las medidas de los parámetros fisicoquímicos y el establecimiento de la aptitud del agua según los criterios de los Laboratorios Riverside y la FAO determinan su calidad para tal fin.

Cerramos la edición con el aporte de Centeno-Bordones, donde aborda la temática del uso de la fotocatálisis solar empleando dióxido de titanio como fotocalizador, con el propósito de llevar a cabo procesos de clarificación y desinfección de aguas de diferentes procedencias (pluviales, superficiales y subterráneas). La aplicación de la tecnología está enfocada a comunidades que tienen difícil acceso al recurso potabilizado.

Finalmente, en compañía de todo el equipo editorial queremos agradecer todo el apoyo brindado por el Mincyt a través de la ministra Gabriela Jiménez–Ramírez. Además, destacar que la revista se mantiene en concordancia con los lineamientos del Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación.

Nos despedimos reiterando nuestro compromiso de servir como una ventana para mostrar a Venezuela y al mundo, los avances en materia de ciencia y tecnología. La invitación es para todos los autores fuera y dentro de nuestras fronteras, a publicar y agradecemos de antemano la confianza depositada en nosotros para la revisión y edición de sus productos en el ámbito científico-tecnológico y social.

Dra. Magaly Henríquez González
Editora - Jefe

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

Rosquel, Vol. 7, Nro. 21, VII–IX, mayo–agosto, 2021.

Letter to the editor

Informative Note: Artisan Product (*Alimento R-O*), a Natural Reinforcement for Immune System

Orlando Rosquel

Liceo Dr. Felipe Guevara Rojas, Cantaura, Anzoátegui, Venezuela

Recibido: julio 2021,
Aceptado: agosto 2021
O. Rosquel, e-mail: abprofesor1234@gmail.com; ☎ +584262842667
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5721366

Sumary

There are in nature a number of plants, fruits and other species of plant origin that have a series of healing properties that can serve to improve health. Each disease has a beneficial food (which counteracts it) and, by combining them properly, a cure can be achieved for a certain disease. The artisan product (*Alimento R-O*) has been elaborated on the basis of grouping the active principles of each ingredient that composes it in order to strengthen the immune system of humans. Tests were conducted on medical and paramedical personnel exposed to a risk environment due to highly contagious viral diseases. Individuals ingested *Alimento R-O* for a period of 2 months. The results reveal that they did not show any symptoms of contagion and no side effects from the intake of the food preparation.
Keywords: artisan product; health; natural food.

Carta al editor

Nota informativa: Producto artesanal (*Alimento R-O*), un refuerzo natural para el sistema inmunológico

Resumen

Existen en la naturaleza una cantidad de plantas, frutos y otras especies de origen vegetal que poseen una serie de propiedades curativas que pueden servir para mejorar la salud. Cada enfermedad tiene un alimento beneficioso (que la contrarresta) y, combinándolos adecuadamente se puede conseguir la cura de un determinado padecimiento. El producto artesanal (*Alimento R-O*) ha sido elaborado bajo la base de agrupar los principios activos de cada ingrediente que lo compone a fin de fortalecer el sistema inmune de los humanos. Se realizaron pruebas en el personal médico y paramédico expuesto a un ambiente de riesgo por enfermedades virales altamente contagiosas. Los individuos ingirieron el *Alimento R-O* por un lapso de 2 meses. Los resultados revelan que no manifestaron ningún síntoma de contagio y tampoco efectos secundarios por la ingesta del preparado alimenticio.
Palabras clave: producto artesanal; salud; alimentos naturales.

Rosquel, Vol. 7, Nro. 21, VII–IX, mayo–agosto, 2021.

1. Introducción

Los coronavirus han venido deteriorando la salud, de una gran parte de la población, ocasionando la muerte de millones de personas en el mundo, sin distinguir edades, sexo, raza, ni clases sociales. Por lo que hasta ahora se ha convertido en un grave problema para el hombre. Los científicos han venido trabajando día y noche buscando un tratamiento efectivo para estas enfermedades, pero aún no han podido anular su acción dentro del cuerpo humano.

2. Fundamento

Algunos emprendimientos para la elaboración de suplementos alimenticios buscan reforzar el sistema inmune de los individuos, basándose en la teoría de saponificación de las grasas en seres vivos, a fin de eliminar sustancias nocivas e innecesarias [1, 2, 3]. El producto artesanal denominado *Alimento R-O* tiene su principio en la teoría mencionada, es un preparado a base de semillas, frutas, cereales y enzimas digestivas, las cuales son trabajadas bajo estrictas condiciones de temperatura, pH y tiempo para lograr su activación y efectividad al 100 %; la Figura 1 ilustra su consistencia en polvo y como debe suministrarse. Entre sus principales ingredientes se encuentran avena, maíz cariaco, cebada, aguacate entre otros. [a]



Figura 1: Orlando Rosquel, profesor de química mostrando la forma de ingerir el *Alimento R-O*, una cucharada pequeña colmada en medio vaso de agua

[a] Nota importante: detalles de la manufactura del producto son omitidos con la finalidad de no dar a conocer la forma de preparación y formulación.

3. Pruebas realizadas

De manera voluntaria con previo consentimiento, un grupo de 35 médicos y 12 paramédicos del Centro de diagnóstico Integral – CDI *Roberto Catire Rincones* de la localidad de Cantaura, así como también miembros de Protección Civil del municipio Freites, ubicados en el estado Anzoátegui ingirieron el *Alimento R-O* durante 2 meses, como muestran las Figuras 2 y 3. Cinco meses después ninguno mostró reacciones adversas.



Figura 2: Personal del CDI de Cantaura recibiendo el producto artesanal



Figura 3: Miembros de Protección Civil recibiendo el *Alimento R–O*

Las Figuras 4 y 5 corresponden a los informes debidamente firmados y sellados; ambos realizados a puño y letra por la autoridad de la entidad que avalan los resultados obtenidos.

4. Perspectivas

Hasta ahora la investigación se encuentra en una fase preliminar, requiere del desarrollo de una línea de investigación que conlleve a las actividades de evaluación y caracterización del producto artesanal con fines de producción a gran escala, conservando todos los atributos que le confiere ser un alimento

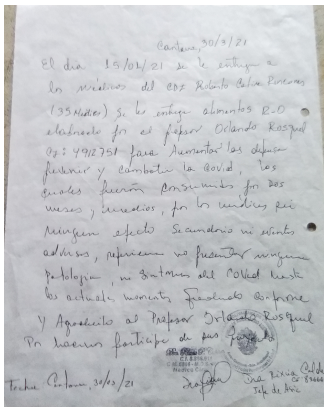


Figura 4: Informe elaborado por la autoridad responsable del *CDI Roberto Catire Rincones*, Cantaura, estado Anzoátegui

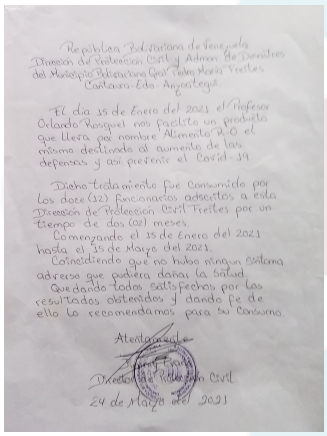


Figura 5: Reporte del director de Protección Civil del municipio Freites, estado Anzoátegui

natural que preserva los principios activos que aportan sus componentes y que son los responsables del fortalecimiento del sistema inmunológico. El autor pone a la orden este interesante proyecto sin ningún interés particular al Mincyt para beneficio del pueblo venezolano.

5. Conclusión

El *Alimento R-O* de fabricación artesanal se presenta como una alternativa alimenticia que puede ser empleada con éxito en la prevención del contagio por virus de rápida transmisión, dada su cualidad de reforzar el sistema inmune especialmente a los trabajadores del área de la salud y otros colectivos que deben atender un gran número de individuos en espacios de alto riesgo.

Agradecimientos

El autor de la investigación desea agradecer y reconocer la valiosa colaboración de la Dra. Rixia Caldera, Directora del CDI Roberto Catire Rincones de la localidad de Cantaura, al Lic. Yimi Evans, Director de Protección Civil del municipio Freites ambas instituciones ubicadas en el estado Anzoátegui. Así como también el apoyo brindado por los doctores Cristóbal Vega y Lisbeth Manganiello en la edición del presente documento.

Referencias

[1] J.A Babor y J. Ibarz. *Química general moderna*. Editorial Marin, Barcelona, España, 1958.

[2] H. Moreno G. *Química orgánica moderna*. Ediciones CO-BO, Caracas, 1975.

[3] R.T Morrison y R.N. Boyd. *Química orgánica*. Editorial Fondo Educativo Interamericano, Boston, USA, 1976.

Ciencia y Comunidad

Moncada, Vol. 7, Nro. 21, X–XIV, mayo–agosto, 2021.

Dissemination article

Cendit Foundation: 16 Years Offering Sovereign Solutions

Candi Moncada,
Fundación Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones,
Complejo Tecnológico Simón Rodríguez, Caracas, Venezuela

Recibido: junio, 2021
Aceptado: julio, 2021
Autor para correspondencia: C. Moncada. e–mail: cmoncada.cendit@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5721378

Sumary

This communication provides an overview of the work carried out by the *National Center for Development and Research in Telecommunications*, *Cendit*, throughout its sixteen (16) years of experience serving the country. Among its main community assistance programs, the *Cayapa Heroica* stands out, made up of a multidisciplinary team of young scientists dedicated to reactivating essential medical equipment to provide free health care for Venezuelans. In addition, it should be noted that it offers support to companies and institutions through specialized courses, advisory, equipment certification, trials and tests of interest to the sector.
Keywords: Cendit; telecommunications; health; Cayapa Heroica.

Artículo de divulgación

Fundación Cendit: 16 años ofreciendo soluciones soberanas

Resumen

La presente comunicación brinda una panorámica del trabajo realizado por la *Fundación Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones*, *Cendit*, a través de sus dieciséis (16) años de trayectoria al servicio del país. Entre sus principales programas de asistencia a la comunidad destaca la *Cayapa Heroica* conformada por un equipo multidisciplinario de jóvenes científicos dedicados a reactivar equipamiento médico indispensable para atender de forma gratuita la salud de los venezolanos. Además, cabe destacar que ofrece apoyo a las empresas e instituciones mediante cursos especializados, asesorías, certificación de equipos, ensayos y pruebas de interés para el sector.
Palabras clave: Cendit; telecomunicaciones; salud; Cayapa Heroica.

Moncada, Vol. 7, Nro. 21, X–XIV, mayo–agosto, 2021.

1. Antecedentes

La *Fundación Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones*, *Cendit*, se creó por Decreto Presidencial N° 3.714, publicado en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.216, del 27 de junio de 2005 como parte de las acciones implementadas por el Gobierno Revolucionario del Presidente Hugo Chávez Frías [1]. Sin embargo, el origen de esta institución se sitúa en el año 2000, cuando se promulga la Ley Orgánica de Telecomunicaciones. En ese momento, se crea el Fondo para la Investigación y el Desarrollo en Telecomunicaciones, FIDETEL, como una estrategia para impulsar este campo en Venezuela pero faltaba una institución que apoyara esta iniciativa reuniendo talento humano e infraestructura idónea para que se encargara del desarrollo e investigación en telecomunicaciones[a].

Figura 1: Logo de la *Fundación Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones*, *Cendit*

La *Fundación Cendit* entre sus actividades ejecuta proyectos de impacto social con el objeto de propiciar e impulsar la independencia y avance de este sector estratégico. Su personal se caracteriza por su alta formación académica, además de estar comprometidos con la necesidad impostergable de crear un modelo tecnológico nacional, que parta de la realidad particular del territorio en el que se ubica, priorizando la resolución de problemas cercanos que se traduzcan en llevar la mayor suma de felicidad posible al pueblo venezolano la Figura 1 muestra el logo de la institución.

2. Laboratorios y áreas de investigación

Entre las labores científicas que llevan a cabo los hombres y mujeres que trabajan en el *Cendit* se encuentran la investigación, diseño, construcción, ensayos y pruebas en dispositivos electrónicos vinculados con este importante ámbito. Los proyectos que actualmente desarrollan se agrupan en las áreas de electrónica, antenas, fotónica, software y mecánica aplicada. Su meta es la contribución directa a la solución de problemas de carácter técnico a nivel nacional y regional, además de ofrecer al país un soporte con tecnología de vanguardia hecho por venezolanos, contribuyendo al logro y la consolidación de la independencia del país. A continuación se mencionan los laboratorios que conforman la institución de acuerdo con su dependencia de adscripción:

Dirección General de Desarrollo e Investigación

- Laboratorio de Fotónica.
- Laboratorio de Medios Guiados y Antenas.
- Laboratorio de Prototipado de Tarjetas Electrónicas.

Dirección General de Servicios de Telecomunicaciones

- Laboratorio de Ensayos de Compatibilidad Electromagnética Radiada.
- Laboratorio de Ensayos de Condiciones Ambientales.
- Laboratorio de Ensayos de Compatibilidad Electromagnética Conducida.

3. *Cayapa heroica*

En el contexto histórico y social del momento, el *Cendit* en el año 2018 propone como iniciativa local la creación de equipos multidisciplinarios conformados por jóvenes profesionales conocidos como *Cayapa Heroica*. Su tarea principal es la reactivación de equipamiento médico indispensable para atender de forma gratuita la salud de la población (ver Figura 2), ofreciendo una solución innovadora, transgresora de pactos con transnacionales de la industria de equipos médicos cuyo interés no es el bienestar de las personas sino su capacidad de venta.

[a] https://www.cendit.gob.ve/

Moncada, Vol. 7, Nro. 21, X–XIV, mayo–agosto, 2021.



Figura 2: La mística y dedicación son parte del equipo de la *Cayapa Heroica*



Figura 3: Expertos del *Cendit* en acción en los *Hospitales Centinelas* para la reparación y puesta a punto de equipos médicos

Desde el año de su fundación a junio del 2021 las brigadas de la *Cayapa Heroica* han dejado huella en 12 estados del país sumando más de 1850 equipos 100 % operativos, distribuidos en los sectores priorizados del Sistema Público de Salud, Telecomunicaciones, Agrícola, Sistema Eléctrico Nacional y Minería; con una efectividad de recuperación del 78 % de los instrumentales revisados, ahorrando al Estado venezolano la impactante cifra de más de 15 mil trescientos setenta millones de Euros.

Actualmente, en pandemia las brigadas de la *Cayapa Heroica* han redirigido su accionar hacía la lucha contra el COVID-19, enfocándose en los *Centros Centinelas*, hospitales especializados en la atención de pacientes con insuficiencia respiratoria leve, moderada y grave (Figura 3). Donde se enfatizó la labor de recuperación de dispositivos de ventilación mecánica, rayos X, tomógrafos, desfibriladores, puntos y sistemas de oxígeno, nebulizadores y monitores de signos vitales, equipos de uso indispensable en pacientes afectados por el virus.

Como un hito memorable, la *Cayapa Heroica* participó en la adecuación del primer y único laboratorio de virología molecular móvil (Figura 4) para el procesamiento de las pruebas de *Reacción en Cadena de la Polimerasa* (PCR) para la detección del coronavirus, a fin de atender la emergencia sanitaria ante el regreso masivo de connacionales a través de la frontera colombo-venezolana en el estado Táchira, garantizando además su funcionamiento en el estado Bolívar ante la aparición de las variantes P1 y P2 del virus en Manaos, Brasil con la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo realizado por profesionales criollos.



Figura 4: Mantenimiento y rescate de instrumentos necesarios para la lucha contra el COVID-19

4. Compromiso y dedicación

Durante el 2020, año de confinamiento mundial lejos de detener sus tareas la *Fundación Cendit* las multiplicó, así como aumentó las necesidades de resolver los problemas de las comunidades. Innovó con la confección nacional de filtros de aire para incubadoras neonatales cuya importación se detuvo debido al bloqueo y que son indispensables ya que de su cambio periódico depende el óptimo

Moncada, Vol. 7, Nro. 21, X–XIV, mayo–agosto, 2021.

funcionamiento del equipo y más aún la salud del bebé atendido en su interior.

El personal de la Unidad de Coordinación de Diseño Mecánico ejecutaron el proyecto y construcción de un modelo de paraban y atril (mobiliario médico) partiendo de dos elementos básicos, uso de materia prima nacional y de fácil construcción, con el objeto de multiplicar la construcción de elementos indispensables para la separación de las áreas para pacientes con COVID-19 y los espacios para la colocación de tratamientos médicos intravenosos respectivamente.



Figura 5: Labores de control de unidades electrónicas

La Unidad de Fotónica adaptó su modelo de enseñanza para mantener la formación y especialización en fibra óptica, conectorización, reflectometría, empalmado y diseño de redes ópticas. Propagación y antenas ejecutó el diseño y construcción de herrajes utilizados como base de sujeción de elementos en las líneas de comunicación telefónica de Cantv hechos con materiales nacionales adicionando una solución libre de sanciones e imposiciones extranjeras. El *Cendit* tiene 16 años aplicando el conocimiento profesional de hombres y mujeres al servicio del país, enfrentando dificultades con la convicción del trabajo colectivo (Figura 5) y dando ejemplo de que los problemas solo superan a los individuos aislados. *¡Juntos y juntas, todo es posible!*

5. Publicaciones científicas

Dentro de este orden de ideas el *Cendit* desde sus inicios ha trabajado en pro de la independencia tecnológica. Sus trabajos han dado resultados significativos con múltiples publicaciones en revistas científicas y en congresos nacionales e internacionales.

Entre las publicaciones del *Cendit* destacan

- Iacutone y colaboradores en *Alimentaciones capacitivas para antenas tipo PIFA's* [2] plantean el diseño y construcción de dos configuraciones de antenas planares F invertidas. Donde concluyen que el modelo de cavidad arroja buenos resultados en la obtención de los valores preliminares de las estructuras. La alimentación que presentó mejores características en cuanto a rigidez mecánica, punto de alimentación y acoplamiento de impedancia, fue la alimentación por sonda en forma de L.

- Cabrera y colaboradores en *Experimental determination of trapping efficiency of optical tweezers* [3] estudian la determinación experimental de la eficacia de captura de pinzas ópticas para los campos que actúan sobre partículas esféricas diluidas en fluidos viscosos. Demostraron que la relación de eficiencias está muy cerca de la relación de los radios de las partículas.

- Cruz y colaboradores [4] presentan un prototipo industrializable del reflector parabólico para el servicio de TDH (CANTV) en banda KU.

- Nuñez y colaboradores [5, 6] muestran los resultados de una herramienta computacional basada en SciLab que permite simular el comportamiento de arreglos de celdas fotovoltaicas bajo el modelo físico de dos diodos. La alta precisión y lo económico de la herramienta facilita la evaluación de la eficiencia del arreglo para todos los valores de irradiación solar y temperatura.

6. Cursos y servicios

El *Cendit* busca la formación y capacitación de nuevos talentos venezolanos mediante la batería de cursos:

- Reflectometría sobre fibra óptica (OTDR).
- Empalmado de fibra óptica.
- Conectorización de fibra óptica.
- Fundamentos de sistemas de telecomunicaciones.
- Fundamentos de sistemas de comunicaciones ópticas.
- Diseño de circuitos impresos (PCB).
- Fundamentos de FPGA y de programación VHDL.
- Fundamentos de sistemas fotovoltaicos.

Además la institución ofrece a las empresas públicas y privadas servicios de asesoría en materia tecnológica; ensayos y pruebas correspondientes a verificación metrológica, susceptibilidad electromagnética, interferencia electromagnética, condiciones climáticas, caracterización de antenas, televisión digital abierta (TDA) en diferentes aspectos; certificación de equipos de telecomunicaciones, basados en los esquemas establecidos en la norma internacional ISO/IEC 17067:2013. Para mayor información consultar su página web[b].

7. Conclusiones

El trabajo meritorio de la *Fundación Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones*, *Cendit*, durante sus 16 años de trayectoria queda expuesto mediante hechos tangibles que se proyectan no solo en el ámbito de las telecomunicaciones, sino que abarcan otros campos donde las experticias de su valioso capital humano sirve con mística y compromiso a través de las brigadas de la *Cayapa Heroica*. Para hacer frente a uno de los principales problemas confrontados por Venezuela ante la aplicación ilegal de medidas coercitivas unilaterales desde el imperio norteamericano y el bloqueo genocida en la disponibilidad de una atención sanitaria de calidad, que impide el acceso a bienes y servicios históricamente importados y que toca sensiblemente el bienestar de los ciudadanos profundizándose ante el impacto por la pandemia del SARS-CoV-2.

[b] https://www.cendit.gob.ve/

Referencias

[1] Decreto Presidencial N° 3.714. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.216, 27 de junio 2005.

[2] J. Iacutone, H. Moy, F. Brito, R. Rodríguez, and F. Martínez. Alimentaciones capacitivas para antenas tipo PIFA's. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 25(2):93–97, 2010.

[3] H. Cabrera, J.J. Suárez-Vargas, A. López, H. Núñez, G. Carvalho, G. Coceano, and D. Cojoc. Experimental determination of trapping efficiency of optical tweezers. *Philosophical Magazine Letters*, 93(11):655–663, 2013.

[4] Y. Cruz, G. Carvalho, D. Di Rosa, H. Núñez, and Y. Gamboa. Diseño y construcción de un prototipo industrializable del reflector parabólico para el servicio de TDH (CANTV) en banda KU. In *Jornadas de Investigación, Encuentro Académico Industrial, JIFI2018*. Coordinación de Investigación. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, 2018.

[5] H. Núñez, G. Carvalho, F. Brito, Y. Gamboa, L. Santos, and C. Gavidia. Highly accurate and inexpensive computational tool for improving photovoltaic arrays performance and efficiency measures. In *Open Innovations Conference (OI) 2018*, Johanesburg, South Africa, October 2018. IEEE technically-sponsored.

[6] H. Núñez, G. Carvalho, F. Brito, Y. Gamboa, L. Santos, C. Gavidia, O. Villarroel, and D. Di Rosa. Low-cost and accurate computational system for efficiency measures over photovoltaic arrays. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 4(5):39–45, 2019.

Ciencia y Tecnología

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

Grima et al, Vol. 7, Nro. 21, 37–45, mayo–agosto, 2021.

Article:

Synthesis, X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Differential Thermal Analysis and Magnetic Susceptibility of the alloy $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ with $x = 0.5$

P. Grima-Gallardo[1,2,3]*, A. Velásquez[2,3], G.E. Delgado[4] E. Pérez-C.[5],

[1]Centro de Estudios en Semiconductores, Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

[2]Centro Nacional de Tecnologías Ópticas, Mérida, Venezuela

[3]Centro de Investigaciones de Astronomía, Mérida, Venezuela

[4]Laboratorio de Cristalografía, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

[5]Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana, Vedado, Cuba

Recibido: mayo 2021
Aceptado: julio 2021
Autor para correspondencia: P. Grima-G. e–mail: peg1952@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5721457

Abstract

Polycrystalline samples of the alloy $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ with $x = 0.5$ were prepared by the melt and anneal method and characterized by X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Differential Thermal Analysis (DTA), and Magnetic Susceptibility (MS) techniques. It was found that this alloy is composed of two main phases, one poor and another rich in Ta, and traces of $TaSe_2$. The sample shows a weak ferromagnetic behavior with $T_c > 300$ K, a characteristic that can be useful for room-temperature ferromagnetic devices.
Keywords: semiconductors; alloys, crystal structure, RT-ferromagnetism.

Artículo:

Síntesis, difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido, análisis térmico diferencial y susceptibilidad magnética de la aleación $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ con $x = 0.5$

Resumen

Muestras policristalinas de la aleación $x = 1/2$ del sistema $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ fueron preparadas por el método de fusión y recocido, caracterizándolas por las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Susceptibilidad Magnética (SM). Se encontró que las muestras contienen dos fases principales, una pobre y otra rica en Ta, y trazas de $TaSe_2$. La muestra presenta un comportamiento ferromagnético débil con $T_c > 300$ K, característica que puede ser útil para dispositivos ferromagnéticos a temperatura ambiente.

Palabras claves: semiconductores; aleaciones; estructura cristalina; ferromagnetismo a temperatura ambiente.

1 Introduction

(I-III-VI_2)/(TM-VI) alloys have been studied in recent years [1]-[26] to create new materials for spintronics and room temperature ferromagnetism applications, in analogy with parent II-IV-V_2/III-V alloys [28]-[37]. In addition, an unusual superconductor behavior observed in $CuCo_2InS_4$ [25] and $CuInNbTe_3$ [26] has opened a new research perspective for these alloys.

The substitution of I or III cation by a TM-atom in the cationic sublattice of the ordered chalcopyrite crystal structure of I-III-VI_2 compounds (space group $I\bar{4}2d$) produce a gradual disorder that induces a structural transition to the semi-ordered chalcopyrite-like structure (space group $P\bar{4}2c$). This gradual crystal structure transition takes place during a large composition range.

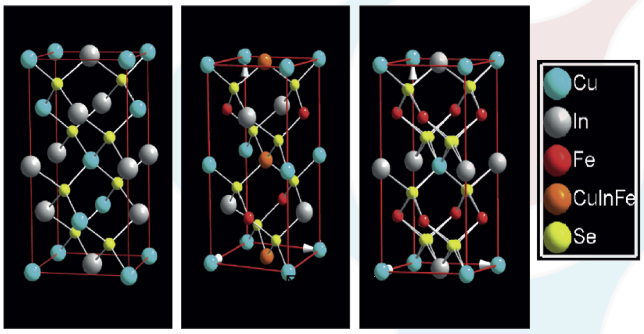


Figure 1: Structural phase transitions for (I-III-VI_2)$_{1-x}$(TM-VI)$_x$ alloys. For better comprehension $(CuInSe_2)_{1-x}(FeSe)_x$ alloys have been taken as an example. At the left side of the figure, the ordered chalcopyrite structure of $CuInSe_2$. At the center, the semiordered chalcopyrite-like structure, for compositions $0 < x < 2/3$; the orange atom represents the crystallographic site which is shared by the three cations. On the right side, the reordered stannite structure; observe the TM layers

(I-III-VI_2)/(TM-VI) alloys can be represented by the equation (I-III-VI_2)$_{1-x}$(TM-VI)$_x$ where x is the composition range. If that is the case, for $x = 2/3$, the number of TM-atoms equals the number of I and III-atoms. It had been observed that, at this composition value, a new reordering occurs [21, 22, 23], then, the $P\bar{4}2c$ structure transits to the ordered stannite $I\bar{4}2d$ crystal structure. Figure 1 is a representation of the crystal structure sequence, taken $(CuInSe_2)_{1-x}(FeSe)_x$ alloys as an example.

An exception to this general behavior has been observed in alloys where Ta is the TM-atom. In the $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ and $(CuGaSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ alloy systems, an intermediate hexagonal phase (space group) analogous to the $Cu_{0.52}TaSe_2$ phase but with the Cu site shared with Al (Ga), merges at $x > 0.2$ due to the low solubility of Ta in the ternary alloy [22, 23, 24]. (Cu-III)$_{0.5}TaSe_2$ (III: Al, Ga) phases are topological 2D-layer types and can be defined as a $TaSe_2$-like phase. $TaSe_2$ is a rather complex system, with many polytypic forms. It has been investigated due to the interest because of the presence of charge density wave phenomena (CDW) encountered in this compound [27].

From the magnetic point of view, I-III-VI_2 compounds are diamagnetic; the exchange of I and/or III-atoms for TM-atoms in the ternary chalcopyrite matrix induces a variety of magnetic effects. Because of their electronic structure (Ar $3d^5$ $4s^2$), Mn^{2+} has been used extensively as TM for (I-III-VI_2)/(TM-VI) alloys; at low concentrations (less than 5 %) Mn substitution is paramagnetic with a little coupling of Mn^{2+} moments but at higher Mn^{2+} concentration appears antiferromagnetic coupling [38, 39, 40]. However, for the $CuGaTe_2$/MnTe system, the magnetic character could be accounted for the formation of Mn^{2+}-containing superparamagnetic clusters [41] corroborated by EPR measurements [14]. A similar superparamagnetic behavior has been observed in Cu(In,Ga)$FeTe_3$ [42], $(CuInSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ [43], $(CuGaSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ [24], $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ [22] and $(CuInTe_2)_{1-x}(TaTe)_x$ [44] alloy systems.

In this work, we are reporting the synthesis and characterization of the alloy $x = 1/2$ that belongs to the $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ alloy system with emphasis on the identification of the intermediate hexagonal phase and the magnetic behavior.

2 Experimental Procedure

2.1 Synthesis

Samples have been produced by the melt and anneal method as is described below. Starting materials (Cu, Al, Ta, and Te with nominal purity of

99.99 wt. %) in the stoichiometric ratio were mixed in an evacuated (10^{-4} Torr) and sealed quartz tube with the inner walls previously carbonized to prevent the chemical reaction of the elements with quartz. The ampoule was heated until 490 K (melting point of Se) keeping this temperature for 48 h and shaking all the time using an electromechanical motor. This procedure guarantees the formation of binary species at low temperatures avoiding the existence of free Se at high temperatures, which could produce Se deficiency in the ingot. Then the temperature was slowly increased until 1423 K, with the mechanical shaker always connected for better mixing of the components. After 24 h, the cooling cycle begins descending the temperature down to 800 K (the annealing temperature) with the mechanical shaker off. The ampoule is keeping at the annealing temperature for 30 days to guarantee a good thermal equilibrium for X-ray diffraction measurements and then the furnace is switching off to room temperature.

2.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-ray powder diffraction data were collected employing a diffractometer (Siemens D5005) equipped with a graphite monochromator (CuK_α, $\lambda = 1.54059$ Å) at 40 kV and 20 mA. Silicon powder was used as an external standard. The samples were scanned from 10 – 100° 2θ, with a step size of 0.02° and a counting time of 20 s. The Bruker analytical software was used to establish the positions of the peaks from the $CuK\alpha_2$ component and to strip mathematically the $CuK\alpha_1$ components from each reflection. The peak positions were extracted employing a single-peak profile fitting carried out through the Bruker DIFFRACplus software. Each reflection was modeled utilizing a pseudo-Voigt function.

2.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Stoichiometric relations were investigated by scanning electron microscopy (SEM) technique, using Hitachi S2500 equipment. The microchemical composition was found by an energy-dispersive x-ray spectrometer (EDS) coupled with a computer-based multichannel analyzer (MCA, Delta III analysis, and Quantex software, Kevex). For the EDS analysis, K_α lines were used. The accelerating voltage was 15 kV. The samples were tilted 35 degrees. A standardless EDS analysis was made with a relative error of $\pm(5-10)\%$ and detection limits of the order of 0.3 wt %, where the k-ratios are based on theoretical standards.

2.4 Differential Thermal Analysis (DTA)

Differential Thermal Analysis (DTA) measurements were carried out in a fully automatic Perkin-Elmer apparatus, which consists of a Khantal resistance furnace ($T_{max} = 1650$ K) equipped with Pt/Pt-Rh thermocouples and an informatics system for the automatic acquisition data. The internal standard used was a high purity (99.99 wt. %) piece of gold. The temperature runs have been performed from ambient temperature to 1400-1500 K, which is the recommended operative limit. The heating rate was controlled electronically to 20 Kh^{-1}; the cooling rate was given by the natural cooling of the furnace after switching off. Transition temperatures were manually obtained from the ΔT vs. T graph with the criteria that the transition occurs at the intersection of the baseline with the slope of the thermal transition peak. The maximum error committed in the determination of transition temperatures by this method was estimated to be ± 10 K.

2.5 Magnetic susceptibility

DC magnetic susceptibility as a function of temperature measurements, $\chi(T)$, was performed on a Quantum Design SQUID magnetometer, equipped with a superconducting magnet able to produce fields up to 5 T. Samples in the form of powder were compacted with a piece of cotton inside the sample holder to prevent any movement. Zero-field-cooling and field cooling (ZFC-FC) measurements were carried out in the temperature range 2–300 K using the standard method of cooling the sample to the lowest temperature (usually 2 K) without applied magnetic field, then heating the sample to room temperature applying a little magnetic field

of 100–500 Oe, and finally cooling again to the minimum temperature.

3 Result Analysis and Discussion

In Figure 2, the experimental X-ray diffraction pattern for sample $x = 1/2$ (nominally $CuAlTaSe_3$) is presented. The analysis indicates that the pattern is composed of the following phases: a semi-ordered $P\bar{4}2c$ chalcopyrite-like (labels in red), a hexagonal $P\bar{6}m2$ $Cu_{0.52}TaSe_2$-like and traces of $TaSe_2$ (labels in green).

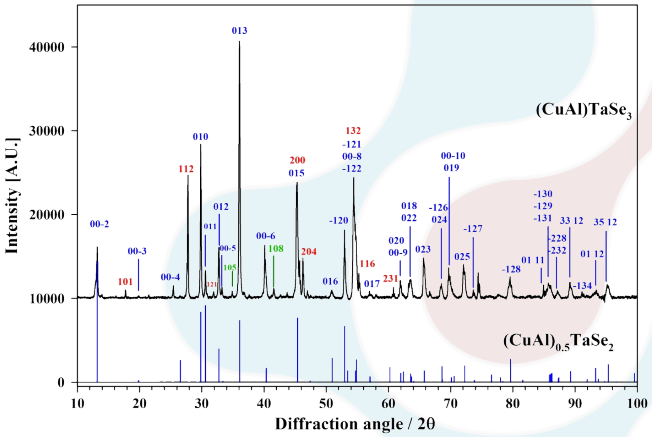


Figure 2: Sample diffraction pattern $x = 1/2$ (nominally $CuAlTaSe_3$). Numbers correspond to hkl-Miller indices: (red) Chalcopyrite-like, (blue) hexagonal $Cu_{0.52}TaSe_2$-like, and (green) traces of $TaSe_2$

The hexagonal phase has been compared with a calculated $(CuAl)_{0.5}TaSe_2$ structure show in Figure 2); the agreement between experimental and calculated is a very good suggesting that the Cu-atomic crystallographic sites are shared with Al, in analogy with the recently reported $(CuGa)_{0.52}TaSe_2$ phase [45]. Rietveld refinements are in course to quantify the occupation factor of Cu and Al in the 2i crystallographic site and will be reported in a specialized journal in the next future. A preliminary indexation using DICVOL06 software [46] gives lattice parameters values of $a = b = 3.455 \pm 0.002$, $c = 13.409 \pm 0.005$, $V = 139.7 \pm 1$ Å^3 for the hexagonal phase and $a = 5.606 \pm 0.001$ Å; $c = 10.904 \pm 0.03$ Å; $c/a = 1.94$; $V = 342.7 \pm 1$ Å^3 for the tetragonal phase.

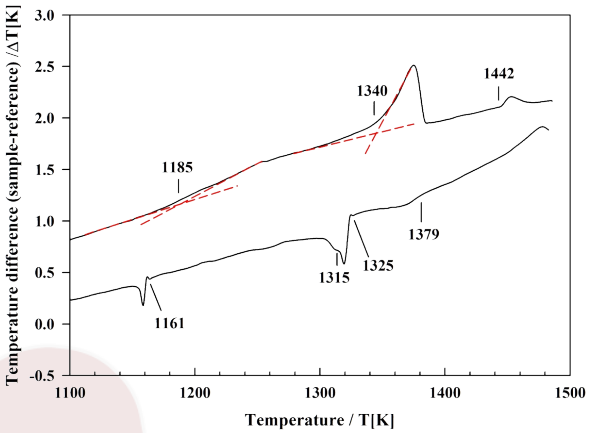


Figure 3: Sample thermogram $x = 1/2$ (nominally $CuAlTaSe_3$). The red dashed lines illustrate the method to obtain the thermal transition temperatures (the crossover of the baseline with the slope of the peak)

In the thermogram of Figure 3, in the heating cycle, the melting point was observed at 1442 K. The peak at 1340 K corresponds to a thermal transition of the type solid-solid + liquid, whereas the peak at 1185 K suggests a slow order-disorder transition. In the cooling cycle, the solidification point is observed at 1379 K, the solid + liquid-solid transition at 1325 K, and the disorder → order transition at 1161 K. The little shoulder at 1315 K indicates the presence of a narrow solid + liquid region.

The stoichiometry of the nominal sample $CuAlTaSe_3$ has been measured by scanning electron microscopy and is given in Table 1. The $CuAlS_2$-like phase contains 5.7 ± 0.5 % atoms of Ta, nearly equal quantities of Cu and Al (19.3 ± 0.3 % and 19.7 ± 0.3 %) atoms, respectively) and 55.3 ± 0.7 % atoms of Se. According to the crystal structure observed by XRD and the measured stoichiometry by SEM, which can be written as $(CuAl)_{1.2}Ta_{0.3}Se_2$, this phase qualifies as a semi-ordered chalcopyrite-like structure with a low solubility of Ta (< 10 %) which is in agreement with previous experimental results observed in analogous alloy systems [22, 23, 43, 44]. The $(Cu_{0.52}TaSe_2)$-like phase contains 9.8 ± 0.3 % atoms of Cu, 7.0 ± 0.5 % atoms of Al,

Table 1: Measured stoichiometry of the alloy $(CuAlSe2)_{1-x}(TaSe)_x$ with $x = 0.5$

Composition (x)	Molecular Weight (g/mol)	Nominal stoichiometry (% Atom)		Experimental stoichiometry (% Atom)	
		$CuAlS_2$-like phase	$(Cu_{0.52}TaSe_2)$-like phase	$CuAlS_2$-like phase	$(Cu_{0.52}TaSe_2)$-like phase
$x = 1/2$	249.18	Cu = 16.67 Al = 16.67 Ta = 16.67 Se = 50.00	Cu = 07.4 Al = 07.4 Ta = 28.4 Se = 56.8	Cu = 19.3 ± 0.3 Al = 19.7 ± 0.3 Ta = 05.7 ± 0.5 Se = 55.3 ± 0.7	Cu = 09.8 ± 0.3 Al = 07.0 ± 0.5 Ta = 29.8 ± 0.4 Se = 53.4 ± 0.6

29.8 ± 0.4 % atoms of Ta, and 53.4 ± 0.6 % atoms of Se which is in good agreement with the calculated nominal stoichiometry for this phase. The Cu atoms represent 58.3 % and Al the 41.7 % of the atoms in the 2i site, in consequence, the stoichiometry of the sample can be written as $(Cu_{0.30}Al_{0.22})TaSe_2$.

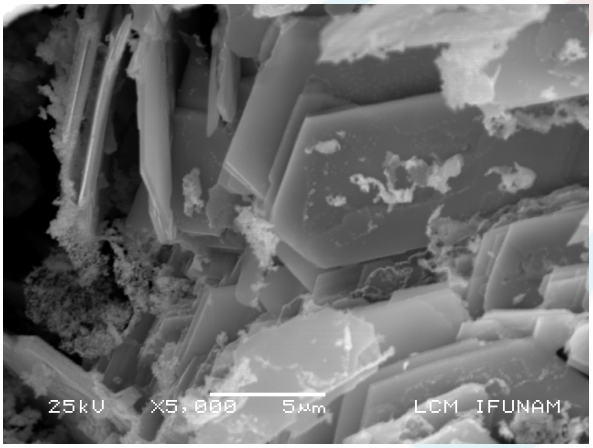


Figure 4: Microphotography of the hexagonal $Cu_{0.30}Al_{0.22}TaSe_2$ phase

The microphotography of the $(Cu_{0.30}Al_{0.22})TaSe_2$ phase in Figure 4 shows the 2D-laminar character of this phase, characteristic of other Ta-rich phases [22].

Finally, in Figure 5, the mass magnetic susceptibility of sample $x = 1/2$ is displayed. The sample is a weak ferromagnetic with a critical temperature $T_c > 300$ K. The hystereses between ZFC and FC curves evidence the presence of magnetic nanoclusters. An additional magnetic contribution at low temperature, for $T < 27$ K, is due to the size of the nanoclusters. In the temperature interval, $2 < T < 27$ K, the nanoclusters unblock at

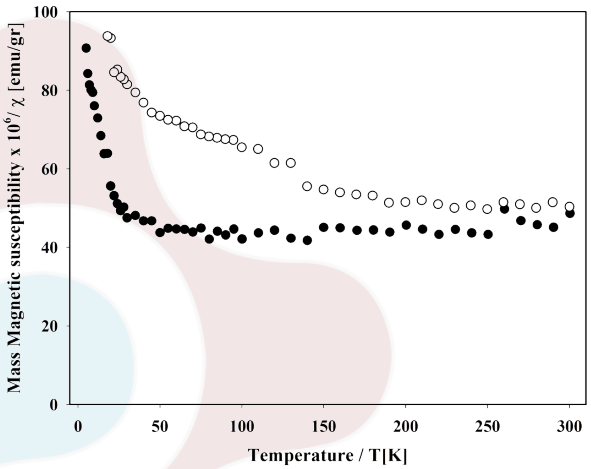


Figure 5: Mass magnetic susceptibility of sample $x = 1/2$ f of the $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ alloy system

different temperatures depending on their size up to $T \sim 27$ K where all the nanoclusters are unblocked. It is not possible, at the stage of this investigation, to elucidate the contribution of each of the two phases in the alloy; the chalcopyrite-like phase has a much less amount of Ta than the hexagonal phase, in consequence, their contribution must be less important. The preparation of the hexagonal $Cu_{0.30}Al_{0.22}TaSe_2$ phase will be a task in the next future.

4 Conclusions

Polycrystalline samples with $x = 1/2$ of the $(CuAlSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ alloy system have been synthesized and characterized by XRD, DTA, SEM, and MS techniques. It was found that the samples contain two main phases, one poor and another rich

in Ta, $(CuAl)_{1.2}Ta_{0.3}Se_2$ and $(Cu_{0.30}Al_{0.22})TaSe_2$ respectively, and traces of $TaSe_2$. The sample shows a weak ferromagnetic behavior with $T_c > 300$ K, a characteristic that can be useful for room-temperature ferromagnetic devices.

Acknowledgments

We are very grateful to Dr. Dwight Acosta, Institute of Physics, Universidad Autónoma de México (UNAM) for SEM measurements.

References

[1] L.J. Lin, N. Tabatabaie, J.H. Wernick, G.W. Hull, and B. Meagher. Optical, Electronic and Magnetic Properties of the Dilute Magnetic Semiconductor Mn:$CuInTe_2$. *Journal of Electronic Materials*, 17:321–324, 1988.

[2] P.M. Shand, P.A. Polstra, I. Miotkowski, and B.C. Crooker. Magnetic Dehavior of $CuIn_{1-x}Mn_{2x}Te_2$. *Journal of Applied Physics*, 75:5731–5733, 1994.

[3] N. Tsuji, H. Kitazawa, and G. Kido. Electric and Magnetic Properties of Mn- and Fe- Doped $CuInS_2$ Compounds. *Physics Status Solidi*, 189:951–954, 2002.

[4] T. Katamani and H. Akai. Magnetic Properties of Chalcopyrite-Based Diluted Magnetic Semiconductors. *Journal of Superconductivityl*, 16(1):95–97, 2003.

[5] T. Katamani and H. Akai. The Magnetic Properties in Transition Metal-Doped Chalcopyrite Semiconductors. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 6:389–301, 2003.

[6] Y.-J. Zhao and A. Zunger. Electronic Structure and Ferromagnetism of Mn-Substituted $CuAlS_2$, $CuGaS_2$, $CuInS_2$, $CuGaSe_2$ and $CuGaTe_2$. *Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics*, 69:104422, 2004.

[7] Y.-J. Zhao and A. Zunger. Site Preference for Mn Substitution in Spintronic $Cu^{miii}x_2{}^{vi}$ Chalcopyrite Semiconductors. *Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics*, 69:075208, 2004.

[8] S. Schorr, M. Tovar, N. Stüβer, and K. Bente. Investigation of Structural Anomaly and Metal Ordering in the Solid Solution 2ZnS-$CuInS_2$ by Neutron Diffraction. *Physica B: Condensed Matter*, 350:e411–e414, 2004.

[9] S. Schorr, R. Höehne, G. Warner, V. Riede, and W. Kockelmann. Investigation of the Solid Solution Series 2(MnX)-$CuInX_2$ (X = S, Se). *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 66:1966–1969, 2005.

[10] S. Schorr, R. Höehne, D. Spemann, Th. Doering, and B.V. Korzun. Magnetic Properties Investigations of Mn Substituted ABX_2 Chalcopyrites. *Physica Status Solidi (a): Applications and Materials Science*, 203:2783–2787, 2006.

[11] S. Schorr, M. Tovar, N. Stuesser, D. Sheptyakov, and G. Geandier. Where the Atoms Are: Cation Disorder and Anion Displacement in $D^{II}X^{VI}$–$A^{I}B^{III}X^{VI}{}_2$ Semiconductors. *Physica B: Condensed Matter*, 385–386(Part 1):571–573, 2006.

[12] A. Pietnoczka, R. Bacewicz, and S. Schorr. Local Structure in $(MnS)_{2x}(CuInS_2)_{1-x}$ Alloy. *Physica Status Solidi (a): Applications and Materials Science*, 203(11):2746–2750, 2006.

[13] V.M. Novotortsev, G.G. Shabuninab, L.I. Koroleva, T.G. Aminov, R.V. Demin, and S.B. Boichuk. Superparamagnetism in Mn-Doped $CuGaTe_2$. *Inorganic Materials*, 43:12–17, 2007.

[14] J. Pérez, P.J. Silva, C.A. Durante-Rincón, J. Primera-Ferrer, and J.R. Fermín. EPR Study of the Diluted Magnetic Semiconductor $CuGa_{1-x}Mn_xTe_2$. *Journal Magnetism and Magnetic Materials*, 320:2155–2158, 2008.

[15] P. Grima-Gallardo, E. Calderón, M. Muñoz-Pinto, S. Durán-Piña, M. Quintero, E. Quintero, M. Morocoima, G.E. Delgado, H. Romero, J.M. Briceño, and J. Fernández. Synthesis and Characterization of $Cu_3TaIn_3Se_7$ and

$CuTa_2InTe_4$. *Physica Status Solidi (a): Applications and Materials Science*, 205(7):1552–1559, 2008.

[16] J. Yao, N. Kline, H. Gu, M. Yan, and J.A. Aitken. Effects of Mn Substitution on the Structure and Properties of Chalcopyrite-Type $CuInSe_2$. *Journal Solid State Chemistry*, 182:2579–2586, 2009.

[17] J. Yao, C.D. Brunetta, and J.A. Aitken. Suppression of Antiferromagnetic Interactions Through Cu Vacancies in Mn-Substituted $CuInSe_2$ Chalcopyrites. *Journal Physics: Condensed Matter*, 24(8):086006, 2012.

[18] P. Grima-Gallardo, O. Izarra, R. Peña, M. Muñoz, S. Durán, M. Quintero, E. Quintero y H. Romero. Comportamiento magnético de la aleación $(CuInTe_2)_{1-x}(TaTe)_x$ con $x = 0.25$. *Revista Cubana de Física*, 32(1):18–25, 2015.

[19] J. Yao, B.W. Rudyk, C.D. Brunetta, K.B. Knorr, H.A. Figore, A. Mar, and J.A. Aitken. Mn Incorporation in $CuInS_2$ Chalcopyrites: Structure, Magnetism, and Optical Properties. *Materials Chemistry and Physics*, 136(2-3):415–423, 2012.

[20] S. Torres-Cuenza, P. Grima-Gallardo, M. Muñoz, S. Durán, M. Quintero, L. Nieves y R.Tovar. Magnetic Behavior of the Alloy $(CuInSe_2)_{1-x}(FeSe)_x$ with $x = 0.5$. *Acta Científica Venezolana*, 66(1):56–59, 2015.

[21] P. Grima-Gallardo, S. Torres, M. Quintero, L. Nieves, E. Moreno, and G.E. Delgado. Phase Diagram of $(CuInSe_2)_{1-x}(FeSe)_x$ Alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 630:146–150, 2015.

[22] S. Torres-Cuenza, P. Grima-Gallardo, M. Muñoz, S. Durán, M. Quintero, L. Nieves y R. Tovar. Magnetic Dehavior of the Alloy $(CuInSe_2)_{1-x}(FeSe)_x$ with $x = 0.5$. *Acta Científica Venezolana*, 66(1):56–59, 2015.

[23] P. Grima-Gallardo, S. Durán, M. Muñoz, D.P. Rai, and G.E. Delgado. $(Cu_{0.4}Al_{0.3})TaSe_2$: Preparation and Crystal Structure Analysis from X-ray Powder Diffraction. *Southern Brazilian Journal of Chemistry*, 28(29):1–6, 2020.

[24] P. Grima-Gallardo, M. Muñoz, S. Durán, G.E. Delgado, E. Pérez-Cappé, and J.A. Aitken. X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy and Differential Thermal Analysis of $(CuGaSe_2)_{1-x}(TaSe)_x$ Alloys System ($0 \leq x \leq 0.5$). *Senhri Journal of Multidisciplinary Studies*, 5(1):1–18, 2020.

[25] P. Grima-Gallardo, G.E. Delgado, E. Pérez-Cappé, J.A. Aitken y D.P. Rai. Synthesis, X-ray Diffraction, and Magnetic Measurements of $Cu(Ni,Co)InS_4$ Alloys: Superconductor Behavior of $CuCo_2InS_4$. *Revista LatinoAmericana de Metalurgia y Materiales*, 40(2):131–141, 2020.

[26] P. Grima-Gallardo, M. Palmera, M. Muñoz, S. Durán, M. Quintero, E. Quintero, L. Nieves, E. Moreno, M.A. Ramos, and H. Romero. Superconductivity Observation in a $(CuInTe_2)_{1-x}(NbTe)_x$ Alloy with $x = 0.5$. *Advanced Materials Science and and Technology*, 7(2):1–11, 2013.

[27] M.-L. Doublet, S. Remy, and F. Lemoigno. Density Functional Theory Analysis of the Local Chemical Bonds in the Periodic Tantalum Dichalcogenides TaX_2 (X = S, Se, Te). *Journal of Chemical Physics*, 113(4):5879–5890, 2000.

[28] A.J. Freeman and Y.-J. Zhao. Advanced Tetrahedrally-Bonded Magnetic Semiconductors for Spintronic Applications. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 64(9–10):1453–1459, 2003.

[29] G.A. Medvedkin, T. Ishibashi, T. Nishi. K. Hayata, Y. Hasewaga, and K. Sato. Room-Temperature Ferromagnetism in Novel Diluted Magnetic Semiconductor $Cd_{1-x}Mn_xGeP_2$. *Japanese Journal of Applied Physics*, 39:L949, 2000.

[30] S. Cho, S. Choi, G.-B Cha, S.C. Hong, Y. Kim, Yu-J Zhao, A.J. Freeman, J.B. Ketterson, B.J. Kim, Y.C. Kim, and B.Ch. Choi. Room-Temperature Ferromagnetism in $(Zn_{1-x}Mn_x)GeP_2$ Semiconductors. *Physics Review Letters*, 88:257203, 2002.

[31] S. Cho, J. Cho, S.C. Hong, and S. Cho. Mn-doped $ZnGeAs_2$ and $ZnSnAs_2$ Single Crystals: Growth, Electrical, and Magnetic Properties. *Journal of the Korean Physical Society*, 42:S739–S741, 2003.

[32] R.V. Demin, L.I. Koroleva, S.F. Marenkin, S. Mikhailov, T. Aminov, R. Szymczak, and M. Baran. Room-Temperature Ferromagnetism in Mn-Doped $CdGeAs_2$ Chalcopyrite. *Journal Magnetism and Magnetic Materials*, 290–291(Part 2):1379–1382, 2005.

[33] L.I. Koroleva, V.Yu. Pavlov, D.M. Zashchirinskiĭ, S.F. Marenkin, S.A. Varnavskiĭ, R. Szymczak, V. Dobrovol'skiĭ and L. Killinskiĭ. Magnetic and Electrical Properties of the $ZnGeAs_2$: Mn Chalcopyrite. *Physics of the Solid State*, 49:2121–2125, 2007.

[34] L. Kilanski, K. Szalowski, R. Szymczak, M. Górska, E. Dynowska, P. Aleshkevych, A. Podgórni, A. Avdonin, W. Dobrowolski, I. Fedorchenko, and S. Marenkin. $Zn_{1-x}(Mn,Co)_xGeAs_2$ Ferromagnetic Semi-Conductor: Magnetic and Transport Properties. *Acta Physica Polonica A*, 114(5):1151–1157, 2008.

[35] A. Kochura, R. Laiho, A. Lashkul, E. Lähderanta, M. Shakhov, I. Zakharov, S. Marenkin, A. Molchanov, S. Mikhailov, and G. Jurev. Synthesis and Magnetic Properties of Mn-doped $Cd_{0.1}Zn_{0.9}GeAs_2$ Solid Solutions. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 20(23):335220, 2008.

[36] L. I. Koroleva, D. M. Zashchirinskiĭ, T. M. Khapaeva, S. F. Marenkin, I. V. Fedorchenko, R. Szymczak, B. Krzumanska, V. Dobrovol'skiĭ, and L. Kilanskiĭ. Manganese-doped $ZnSiAs_2$ chalcopyrite: A new advanced material for spintronics. *Physics Solid State*, 51:303–308, 2009.

[37] V.M. Novotortsev, A.V. Kochura, and S.F. Marenkin. New Ferromagnetics Based on Manganese-Alloyed Chalcopyrites $A^{II}B^{IV}C_2^V$. *Inorganic Materials*, 46:1421–1436, 2010.

[38] L.-J. Lin, N. Tabatabaie, J.H. Wernich, G.W. Hull, and B. Meager. Optical, Electronic and Magnetic Properties of the Dilute Magnetic Semiconductor Mn:$CuInTe_2$. *Journal of Electronic Materials*, 17:321–324, 1988.

[39] P.M. Shand, P.A. Polstra, I. Miotkowski and B.C. Crooker. Magnetic Behavior of $(CuIn)_{1-x}Man_{2x}Te_2$. *Journal Applied Physics*, 75(10):5731–5733, 1994.

[40] S. Schorr, R. Höehne, D. Spemann, Th. Doering, and B.V. Korzun. Magnetic Properties Investigations of Mn Substituted ABX_2 Chalcopyrites. *Physica Status Solidi (a): Applications and Materials Science*, 203(11):2737–2787, 2006.

[41] V.M. Novotortsev, G.G. Shabubina, L.I. Koroleva, T.G. Aminov, R.V. Demin, and S.V. Boichuk. Superparamagnetism in Mn-$CuGaTe_2$. *Inorganic Materials*, 43(1):12–17, 2007.

[42] P. Grima-Gallardo, F. Alvarado, M. Muñoz, S. Durán, M. Quintero, L. Nieves, E. Quintero, R. Tovar, M. Morocoima, and M.A. Ramos. Superparamagnetism in $CuFeInTe_3$ and $CuFeGaTe_3$. *Physica Status Solidi (a): Applications and Materials Science*, 209(6):1141–1143, 2012.

[43] P. Grima-Gallardo, L. Méndez, G.E. Delgado, H. Cabrera, E. Pérez-Cappé, I. Zumeta-Dubé, A. Rodríguez, J.A. Aitken, and D.P. Rai. $(CuInSe_2)_{1-x}$ $(TaSe)_x$ Solid Solutions ($0 < x \leq 0.5$): X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Differential Thermal Analysis and Magnetic Susceptibility. *International Journal Experimental Spectroscopic Technnology*, 3:016, 2018.

[44] P. Grima-Gallardo, O. Izarra, L. Mendez, S. Torres, M. Quintero, H. Cabrera, E. Pérez-Cappé, I. Zumeta-Dubé, A. Rodríguez, J.A. Aitken and D.P. Rai. Preparation and Characterization of $(CuInTe_2)_{1-x}(TaTe)_x$ Solid Solutions ($0 < x < 1$). *Journal of Alloys and Compounds*, 747:178–188, 2018.

[45] G.E. Delgado, S. Durán, J.A. Aitken, M. Muñoz, and P. Grima-Gallardo. The Crystal Structure of the New Layered Alloy $(CuGa)_{0.52}TaSe_2$ Studied by SEM, DTA, and XRPD. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, In press, 2021.

[46] A. Boultif and D. Louer. Powder Pattern Indexing with the Dichotomy Method. *Journal of Applied Crystallography*, 37:724–731, 2004.

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

Sojo y Hernández, Vol. 7, Nro. 21, 46–58, mayo–agosto, 2021.

Review:

Guayana's Diamond Potential

Freddy J. Sojo R., Mauricio E. Hernández F.*

Dirección de Investigación y Exploración Minera, Despacho del Viceministro de Exploración e Inversión Ecominera, Ministerio del Poder Popular de Desarrollo Minero Ecológico, Caracas, Venezuela

Recibido: julio, 2021
Aceptado: agosto, 2021
*Autor para correspondencia: M. Hernández-F. e–mail: mauricioucv@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5721692

Abstract

Venezuela has a long history of diamond mining. However, there have been few prospective and exploratory studies focused on the quantification of this mineral resource. For that reason, it is necessary to carry out the state of the art of this gem in the Guayana region, with special emphasis on the *Orinoco Mining Arc* (north of Bolívar state), taking into account national and international authors, books, periodicals, technical reports, among others. From the present work it can be concluded that there is enough evidence to consider the existence of diamond-bearing kimberlitic bodies in the country. Therefore, they must be duly studied through geomatic prospecting and geological, geophysical and geochemical exploration campaigns. Likewise, there are significant amounts of alluvial diamonds that must be quantified and certified (approximately three billion carats), in order to leverage the national economy, with an ecological conscience.
Keywords: diamond; *Orinoco Mining Belt*; Venezuela.

Estado del arte:

Potencial diamantífero de Guayana

Resumen

Venezuela tiene una larga historia de explotación diamantífera. Sin embargo, pocos han sido los estudios prospectivos y exploratorios enfocados en la cuantificación de este recurso mineral. Es por ello que, se hace necesario realizar el estado del arte de esta gema en la región de Guayana, con especial énfasis en el *Arco Minero del Orinoco* (norte del estado Bolívar), tomando en cuenta autores nacionales e internacionales, libros, publicaciones periódicas, informes técnicos, entre otros. Del presente trabajo se puede concluir que existen suficientes evidencias para considerar la existencia de cuerpos kimberlíticos diamantíferos en el país. Por lo tanto, deben ser estudiados debidamente a través de la prospección geomática y campañas de exploración geológicas, geofísicas y geoquímicas. Igualmente, se cuenta con cantidades importantes de diamantes en aluvión que deben ser cuantificados y certificados (aproximadamente tres mil millones de quilates), a fin de apalancar la economía nacional, con conciencia ecológica.

Palabras clave: diamante; *Arco Minero del Orinoco*; Venezuela.

1. Introducción

El *Escudo de Guayana* está ubicado al sur del río Orinoco, ocupa rocas tan antiguas como las granulitas y charnockitas del *Complejo Imataca* de hasta 3.400 millones de años y tan jóvenes como las kimberlitas eclogíticas de *Guaniamo* no mayor a 711 millones de años, mostrando en buena parte una evolución geotectónica similar a la de otros escudos precámbricos en el mundo, con especial afinidad con el norte de África continental [1].

En la Guayana venezolana, los distritos diamantíferos mayormente están relacionados con la *Formación Roraima* [2]. La cual representa una extensa unidad precámbrica constituida por conglomerados, areniscas, lutitas y cuerpos de diabasas. Ocupa gran parte de la región sur del país [3]. Probablemente, la fuente de diamantes esté directamente asociada con conglomerados basales de esta formación [4]. Igualmente, en la región de *Guaniamo* perteneciente a la provincia geológica de *Cuchivero*, algunas explotaciones diamantíferas están asociadas a mantos kimberlíticos meteorizados, siendo considerado el distrito minero con la mayor información de datos exploratorios, pese a no reunir el mayor potencial geoeconómico del *Arco Minero del Orinoco* (*AMO*), como sintetiza la Tabla 1.

Tabla 1: Recursos hipotéticos del potencial diamantífero en el estado Bolívar por distritos

Distrito	Millones de quilates (MM ct)
Sipao-Nuevo Mundo	200
Guaniamo	275
La Paragua	440
Bajo Caroní	745
Caroní Medio	750
Alto Caroní-Ikabarú	800
Total	3210

Fuente: Ministerio de petróleo y Energía [5]

El distrito de *Guaniamo* ha logrado aportar cerca del 85 % de la producción total de diamantes en Venezuela [6]. Durante los últimos 50 años ha producido más de 20 millones de quilates (20 MM ct) declarados, llegando a reportar una producción mayor a 1,2 MM ct para el año 1974. Durante el período 1969-1997 se registró una producción anual por encima 200 M ct [5]. La cantidad de quilates por tonelada (ct/Tn) de los diamantes, varían desde 0,01 ct/Tn hasta 3,41 ct/Tn, con un promedio para la región de 1,5 ct/Tn [5].

La zona de *Guaniamo* tiene una tradición minera de aproximadamente 35 años, siendo en el año 1992, cuando la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), a través de la Vicepresidencia Corporativa de Minería (VPCM) otorgó más de treinta (30) contratos para el ejercicio de la pequeña minería, ubicados entre *Caracolito* y *Barrial Largo*; en el marco del Decreto 1.409 publicado en Gaceta Oficial N° 34.627 [7], debido a su alta productividad.

La meta primordial de esta investigación consistió en evaluar la viabilidad geológica para la ocurrencia de diamantes en depósitos primarios (kimberlitas) y secundarios (aluvionales). Afín de justificar actividades exploratorias en las áreas de estudio.

2. Marco geológico regional

En la Guayana venezolana está presente una de las más importantes potencialidades de recursos diamantíferos a nivel mundial, ya que datos de la geología aplicada a la minería hablan que la roca fuente, portadora primaria de diamantes, es la kimberlítica [6]. No obstante, cerca del 90 % de estas rocas no son portadoras, por cuanto únicamente un 10 % de ellas se mantienen con una relevante capacidad geoeconómica para todo el estado Bolívar. Las riquezas están distribuidas en varios distritos con una significativa tradición minera; la Figura 1 representa la ubicación de las principales minas del mineral precioso.

Guaniamo es una de las áreas con mayor abundancia diamantífera en Venezuela, representó en el mercado nacional cerca del 65 % de toda la producción durante años. Es importante destacar, que casi el 100 % de esta producción correspondió a explotaciones de libre aprovechamiento informal por parte de las comunidades de la región [8]; a pesar de ser, el distrito con mayor tradición minera comprobada a nivel técnico y con la mayor cantidad de datos exploratorios oficiales en el *Área* 1 del AMO.

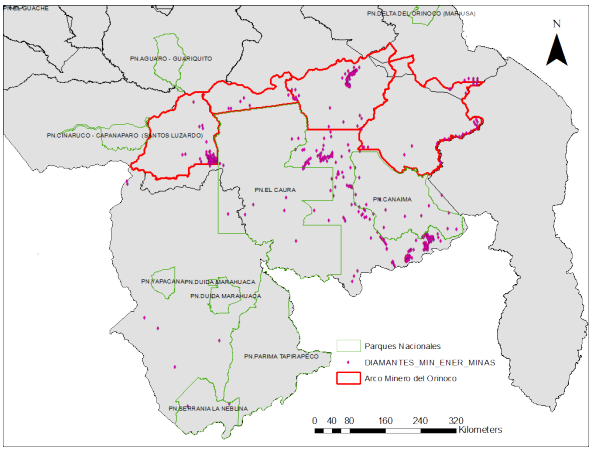


Figura 1: Potencial diamantífero

2.1. Ubicación

La región de *Guaniamo* está localizada al noroeste del estado Bolívar, abarca una superficie de aproximadamente 70.000 ha, situada íntegramente en el municipio *Cedeño* a 157 km al sur de *Caicara del Orinoco* por vía terrestre hasta *El Milagro*, y 172 km hasta *La Salvación*. Geológicamente ubicada en la provincia *Cuchivero* del *Escudo Guayanés*; está considerada como la primera provincia conocida en Suramérica de kimberlitas diamantíferas [9].

El acceso vía aérea se puede realizar directamente en helicóptero, el cual puede aterrizar en la sabana o en las poblaciones aledañas, y recorrer un tramo del curso fluvial de *Quebrada Grande*.

2.2. Estudios geológicos

La investigaciones de Nixon *et al.* [10]; la empresa *Técnica Minera* de la *Corporación Venezolana de Guayana* (*C.V.G TECMIN C.A.*) [11]; Kaminsky *et al.* [9, 12], Channer *et al.* [13] y Neuman [14] indican que se trata de kimberlitas diamantíferas, caracterizadas por un sistema de diques (*sills*) de edad neoproterozoica (0,711 Ga).

Históricamente, la mayor producción registrada en la provincia geológica de *Cuchivero* está presente en los depósitos secundarios de origen aluvional [15]; donde se convierten en los verdaderos yacimientos diamantíferos hasta los momentos, ya que todavía no se posee información sobre la ubicación de las posibles chimeneas kimberlíticas.

Los depósitos de origen primario de magmas kimberlíticos-carbonatíticos están asociados con diabasas que ocurren en forma de diques con espesores muy delgados [16], que estarían intrusionando cuerpos masivos de granodioritas del *Grupo Cuchivero* con tenores bajos. No obstante, las áreas con tradición minera en la explotación son aluvionales.

Posteriormente, a principios de la década los 80 se identificaron presencia de kimberlítas diamantíferas en forma de una red irregular de estrechos y delgados cuerpos geológicos alargados denominados estructuralmente como *sills* o diques subhorizontales con muy bajo buzamiento, convirtiendo al distrito minero de *Guaniamo* en una de las primeras veinte (20) provincias productoras de diamantes del mundo. Con un histórico sin precedentes, durante las décadas de los 70 y 80 que mantuvo un promedio anual estimado en un 1 MM ct/año [17].

2.3. Antecedentes de explotación

Los diamantes existentes en la región de *Guaniamo* son conocidos desde mediados del siglo pasado, cuando a finales de la década de los 60 se descubren las primeras piedras preciosas en los aluviones del cauce del río denominado *Quebrada Grande* [18], tributario del río *Guaniamo*, con sedimentos de granulometría gravosa que presentan un alto índice de contenido diamantífero. Dicho curso fluvial drena sus aguas en sentido sur-norte, desde *El Toco* y *La Salvación* al sur (*Tiro Loco*, *Cordero*, *Candado*, *Ceniza*, entre otros) pasando por *El Milagro* al norte (*La Culebra*, *Bicicleta*, entre otros) hasta llegar al sector *San Antonio* como el más septentrional.

El trayecto con mayor producción de *Quebrada Grande* se encuentra trazado en un tramo de aproximadamente 11 km de longitud desde *El Milagro* hasta *El Toco*.

Los primeros hallazgos efectuados en la región fueron dirigidos hacia los aluviones de *Quebrada Grande* como el principal drenaje del bloque *Las Alicias - San Antonio* descargando sus aguas de sur a norte [19, 20]. La zona ocupa un área mayor a 60.000 ha, donde se han realizado durante los últimos 45 años numerosos reportes por parte de diversas empresas privadas beneficiarias de una serie de antiguos derechos mineros ya extintos.

Mientras los derechos mineros estuvieron operativos, se realizaron diversas actividades de exploración, como es el caso de las compañías mineras denominadas *Canteras El Toco C.A.*, *Minera La Cerbatana*, *Asociación Cooperativa Mixta La Salvación R.L*, entre otras, que ejecutaron importantes trabajos de explotación por décadas, llegando a perforar una importante cantidad de metros lineales en campo y elaborando un modelo geológico de los cuerpos diamantíferos, llamados mantos kimberlíticos. Estas empresas, produjeron varios trabajos científicos, publicados internacionalmente.

El área que cubre los bloques *San Antonio-Las Alicias* y *Quebrada Grande-La Salvación* representó el mejor prospecto para exploración y explotación diamantífera dados los trabajos exploratorios realizados por las compañías mineras privadas, y también por la información que fue después corroborada por el proyecto llevado a cabo por el *Instituto Nacional de Geología y Minería* (*INGEOMIN*) durante el convenio Cuba-Venezuela, donde fueron estimados recursos hipotéticos cercanos a los 50 MM ct sólo para *Quebrada Grande* [14] y casi 17 millones de recursos en cuerpos kimberlíticos certificados por la empresa *Guaniamo Mining Company, C.A.* [21].

En la recopilación y reinterpretación de los trabajos ejecutados por antiguas empresas operadoras subsidiarias de *Guaniamo Mining Company, C.A.*, así como *De Beers*; que estuvieron radicadas en el área (*Canteras El Toco, C.A.*; *Compañía Minera Adamantine, C.A.* [22], entre otras) generaron un volumen considerable de datos, los cuales, algunos estaban registrados en los archivos del antiguo *Ministerio de Energía y Minas* (*MEM*) y otros han sido publicados en simposios y congresos de kimberlítas y diamantes a nivel mundial. Las ocurrencias diamantíferas relacionadas con la presencia de rocas ultramáficas en Venezuela, fueron descubiertas en 1982 por la empresa concesionaria *Canteras El Toco C.A.* [23]. Los últimos artículos publicados sobre el tema se deben a Channer *et al.* [13] y Kaminsky *et al.* [12]. Las investigaciones de trabajos previos, han venido arrojando la posibilidad de que existan varios modelos de emplazamientos de las kimberlítas en Guayana.

Relación con aluviones auríferos

El diamante está en las gravas y arenas de algunos de los ríos de Guayana, en sus llanuras de inundación y en los cauces abandonados. Casi siempre es asociado al oro, debido a que estadísticamente los aluviones auríferos son localizados con presencia de la gema [24]. Las oportunidades de aprovechamiento de ambos minerales simultáneamente pueden incrementarse al disponer de los equipos mineros de procesamiento y concentración (circuito de vibrador-*Scrubber*-*Trommel*-lavadoras).

3. Marco geológico local

Guaniamo pertenece a la provincia geológica de *Cuchivero*, conformada por rocas volcánicas riolíticas y asociadas, comagmáticas con granitos calcoalcalinos del *Grupo Cuchivero* [25].

En la región se encuentran 26 comunidades aproximadamente, las cuales se identifican como: *Quebrada del Medio, Santa Isabel, Guaniamito, Quebrada Onda, Perro de Agua, Los Coquitos, Zumbadora, El Paso, La Culebra, Barrial Largo, Caracolito, Bicicleta, Tiro Loco, El Milagro, La Salvación, El Diamante, Hueso Duro, Santa Inés, Los Esteros, La Laguna, Cerro Pelón, La Perola, Santa Fe, San José de Guasdualito, Cerro Frio* y *Casabe Mojado*.

En términos generales, se pueden reconocer tres tipos principales de depósitos diamantíferos aluviales:

- Los sedimentos y concentraciones secundarias en los lechos de los ríos y quebradas.
- Los aluviones de planadas bajas y los paleocauces de antiguos ríos.
- Los aluviones de terrazas.

La información disponible respecto a *Guaniamo* señala que posee kimberlitas eclogíticas con diamantes del tipo 90 % E y 10 % P, es decir, de altos tenores y calidades variables [26]. Los depósitos secundarios presentes en la zona están relacionados con los sedimentos aluviales de los ríos *Quebrada Grande* y *Guaniamo*; así como en la corteza de intemperismo formada sobre las kimberlitas, tanto en el nivel laterítico, como en el saprolítico.

Las muestras diamantíferas del río *Guaniamo* (captador de *Quebrada Grande*) contienen gran variedad de minerales pesados caracterizados por sedimentos de gravas aluviales de guijarros, cuya inmadurez, sugieren la cercanía con la roca fuente. Entre estos, se tiene los siguientes: oro, ilmenita, magnetita, granate tipo piropo, topacio, circón, piroxeno, magnetita, rutilo, cromita y espinela cromítica.

3.1. Área principal de Guaniamo

Quebrada Grande es un río pequeño, cuya cuenca ha sido impactada debido a más de 35 años de minería artesanal de los yacimientos de aluvión diamantífero asociados a su cause. Se estima que la zona ha producido más de 30 MM ct, lo que representa un valor de mercado en el orden de US$ 1.800 millones (precio estimado del quilate 60 US$).

Los yacimientos que cubren la llanura de la planicie aluvial de *Quebrada Grande* y sus principales afluentes, son el sector más fructífero del distrito, comprendiendo dos tipos esenciales de sedimentos asociados al diamante:

- La grava diamantífera que se asienta sobre el sustrato formado por rocas ígneas (diabasas) como por ejemplo en la mina de *La Salvación*.
- La grava que reposa sobre una arcilla verde azulada proveniente de la descomposición de rocas esencialmente ferromagnesianas, identificadas como kimberlitas.

La producción de este mineral registró 52,81 M ct para el año 2001. Es el caso, que han llegado a reportarse hasta valores máximos de 13 ct/Tn en dicho curso fluvial [27].

3.2. Modelo geológico

Durante 1964, el *Ministerio de minas e hidrocarburos* comienza los estudios geológicos sistematizados sobre los yacimientos de este mineral precioso en Venezuela. En 1982 la empresa minera *Canteras El Toco, C.A.* explora y realiza producción temprana en aluviones diamantíferos relacionados con la presencia de rocas ultramáficas (kimberlitas) en el río *Quebrada Grande*, afluente del río *Guaniamito*, cuenca del río *Cuchivero*. Desde 1990 hasta el año 2000 se establecieron varias empresas mineras en la región, realizando importantes investigaciones geológicas metódicas de las kimberlitas de *Guaniamo*, y finalmente, el *INGEOMIN*, durante 2007 hasta 2009 desarrolla el *Proyecto Guaniamo*, donde se establecen importantes hipótesis sobre los modelos de emplazamiento geotectónicos de estas chimeneas kimberlíticas, como la diagramada en la Figura 2.

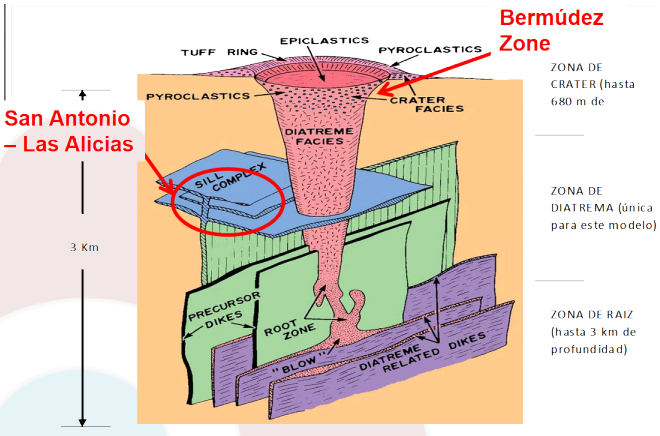


Figura 2: Modelo idealizado de un sistema de emplazamiento kimberlítico tipo 1

Fuente: Modificado de Channer *et al.* [21]

Es importante resaltar que las áreas conocidas como los bloques *San Antonio-Las Alicias* y *Quebrada Grande-La Salvación*, forman parte sustancial del distrito diamantífero de *Guaniamo*, cuya producción más significativa fue de 25 MM ct en 1968. De este valor resulta interesante conocer cuánto recurso corresponde al yacimiento aluvional y cuanto a los depósitos kimberlíticos. Se sabe que casi toda la explotación diamantífera de la nación proviene de los grandes cuerpos aluvionales; por lo tanto, un gran porcentaje de este recurso se le atribuye a estos depósitos de *Quebrada Grande* en primer lugar, y en segundo lugar a la cuenca del río *Guaniamo* donde confluye.

Las investigaciones realizadas en el sur del territorio en estudio durante 1997-1998, en una extensión de 10 Km de largo, por 5 Km de ancho, determinaron 9 sills kimberlíticos meteorizados, con espesores que varían entre 1 m y 10 m. Las riquezas medidas de kimberlita, ascienden a 43 millones de toneladas de mineral diamantífero[28].

Hoy se conocen más de ocho diques y sills de bajo buzamiento, con una inclinación entre 10° - 20°, con rumbo NW, siguiendo el curso de río *Cuchivero* que representa más de ocho cuerpos intrusivos kimberlíticos en rocas graníticas y granodioriticas. Estos sills de kimberlitas se conocen por los nombres de: *Bicicleta*, *Desayuno*, *Los Indios*, *La Peinilla*, *Cordero*, *Hueso Duro-La Ceniza*, *Nueva Bulla-Bulla de Las Mujeres-La Hija*, *Desengaño-El Candado*, *El Tigre* 1 y 2 [29].

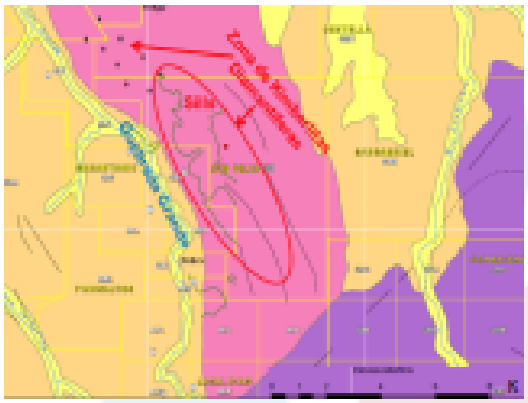


Figura 3: Mapa geológico de *Quebrada Grande* y ubicación de las kimberlitas diamantíferas

Fuente: Modificado de Fermin y Salazar [28]

Los mantos de sills kimberlíticos señalados en la Figura 3 se extienden con rumbo, principalmente NW-SE, acompañada por una dirección secundaria en sentido NE, una inclinación suave que varía entre 10° y 25° en dirección E-SE, emplazados en un área aproximada de 50 km^2, intrusionando granodioritas de la unidad geológica encajante del granito de *Guaniamito*, con espesores promedios desde 10 cm hasta 3,7 m. Además, se reportan diques, con el mismo rumbo y buzamientos de 40° - 50° en la localidad denominada *Comisario*. Todas las capas contienen diamantes con un tenor promedio estimado en 3.000 toneladas de material diamantífero con un promedio de 1,5 ct/Tn [14].

Los sills kimberlíticos de *Guaniamo* se encuentran ubicados en las áreas denominadas: *Bicicleta-Desayuno*, *Los Indios*-024-*La Peinilla-Cordero*, *Hueso Duro-La Ceniza*-039, *Nueva Bulla-Bulla de las Mujeres*, *La Hoya*, *Desengaño-Candado* y *El Tigre* 1 y 2. Estos afloramientos han sufrido una intensa meteorización alcanzando la saprolitización por intemperización, y encontrándose hacia el tope de estos sills reliquias de las fases silicificadas de recristalización de hasta 20 cm de espesor [29].

En el sector denominado *Cordero* se obtuvieron importantes resultados del análisis petrográficos a las kimberlitas silicificadas en la parte superior de los sills, presentando características similares a otros estudios realizados por Channer *et al.* [13], con respecto a las kimberlitas de los niveles superiores del manto.

El contenido de xenocristales de olivino es de un 30 % y en su mayoría son subhedrales a anhedrales, lo que coincide con el rango entre 13 % y 33 % de macrocristales para las kimberlitas hipoabisales establecido por otros investigadores [29].

Dichos resultados conducen a la propuesta de un modelo de emplazamiento de kimberlitas del tipo 1 o surafricano de alto contenido diamantífero, que ocurrió hace unos 710 millones de años, caracterizado por un sistema de sills paralelos entre sí y asociados a una estructura principal de chimenea o zona de diatrema, como muestra la Figura 2, la cual pudo haber sido erosionada depositando grandes cantidades de diamantes en las cuencas de *Quebrada Grande*. Es muy probable que esta kimberlita esté relacionada con otras estructuras ubicadas a distancia relativamente cercana, y que exista una provincia de kimberlitas en las cuencas de los ríos *Guaniamo* y *Cuchivero*. En este sentido, la zona de *Natal-Bermúdez* se propone como prospecto de interés debido a que define una anomalía magnética cercana a los sills kimberlíticos, en su flanco noroeste [5].

En el distrito se tiene una roca kimberlítica diamantífera muy meteorizada que presenta características hipoabisales a partir del análisis petrográfico, de textura porfirítica, macrocristales de olivino redondeados con bordes de reacción, fabrica seriada, tamaño de grano medio a grueso, con presencia de serpentina, flogopita, ilmenita, magnetita, clorita, granates y diamantes. La kimberlita intrusiona el granito de *Guaniamito* como sills subhorizontales con rumbo 45°N-65°W, buzamientos entre 05°N-13°N y espesores de 60 cm a 75 cm [29].

Según sus resultados Méndez [29] concluyó que para los sectores *Cordero* y 024, se tiene una estructura identificada como un sill continuo de unos

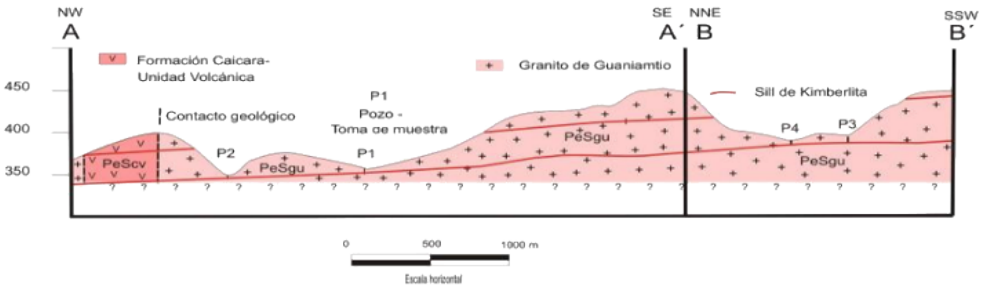


Figura 4: Perfil compuesto de caracterización geológica de los mantos kimberlíticos de los sectores *Cordero* y 024 de *Guaniamo*, estado Bolívar

Fuente: Mendez [29]

4 km de longitud, perteneciente a un nuevo tipo de depósito de diamantes primarios que corresponde a un suelo residual generado por la intemperización laterítica de los sills kimberlíticos, pudiendo estar relacionado con emplazamiento de kimberlitas del tipo surafricano, como muestra el perfil dado en la Figura 4.

En virtud de las características de los sills de kimberlita estudiados, se interpreta que posiblemente se estaría en un terreno de raíz muy erosionada hacia la transición de la zona de diatrema del complejo kimberlítico, lo que sugiere un importante transepto de la columna vertical que pudo haber sido removido por la erosión, desde que las kimberlitas fueron emplazadas hace unos 710 millones de años. Esto podría explicar la gran cantidad de diamantes extraídos de los depósitos aluvionales de la cuenca del río *Guaniamo* y de su principal tributario (*Quebrada Grande*) por la actividad minera durante los últimos 50 años [30, 29].

Basado en el trabajo de Channer y colaboradores [13], Alarcón [31] detalla el perfil estratigráfico de las granodioritas intrusionadas por kimberlitas y diabasas. Dentro del sistema estructural de sills que hospeda granodioritas que pueden cambiar lateralmente a la *facies* volcánica de la *Formación Caicara*, individualmente tienen espesores centimétricos e internamente contienen los cuerpos kimberlíticos con diamantes. Por otro lado, también se tienen reportes relacionados con los tres dominios litotectónicos que controlan el modelo de emplazamiento de las kimberlitas eclogíticas en *Guaniamo*, desde *Natal-Bermúdez* hasta *San Antonio-Las Alicias*, como detalla la Figura 5.

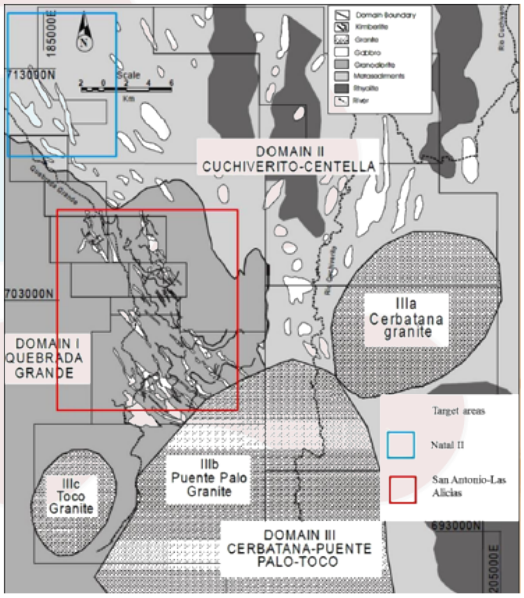


Figura 5: Mapa de distribución de los tres dominios litotectónicos de los sills kimberlíticos en *Guaniamo*, estado Bolívar

Fuente: Mendez [29]

3.3. Estimación de recursos

Los datos exploratorios recopilados de antiguas operadoras como *Cantera El Toco C.A.*, entre otras, fueron verificados en campo por el personal técnico del INGEOMIN [27], la data recogida permitió una estimación de los recursos en las áreas que cuentan

con la mayor información y nivel de estudio, que son consideradas como mejores prospectos mineros, con alta certidumbre geológica sobre el potencial geoeconómico. Las estimaciones son descritas en las Tablas 2 y 3. También se encuentran las comunidades indígenas del pueblo *E'ñepá*: *Santa Inés*, *Hueso Duro*, *Tiro Loco*, *El Diamante*, *Los Esteros*, *Las Lagunas*, *Cerro Pelón*, *La Culebra del Morichal Negro*, *La Perola*, *Casabe Mojado*, *Cerro Frio* y *San José de Guasdualito*.

Tabla 2: Resumen de recursos diamantíferos en MM ct en el sector *Guaniamo*

Comunidad	Indicados	Inferidos	Hipotéticos
La Ceniza	1,64	3,21	
024-Los Indios	2,10	5,78	4,58
Candado-Cordero		6,77	4,98
Total	3,74	15,76	9,56

Fuente: Neuman *et al.* [27]

Para la estimación de los recursos en *San Antonio-Las Alicias*, el espesor promedio fue determinado a partir de la información aportada por 80 pozos perforados entre las comunidades mostradas en las Tablas 2 y 3. La exploración en los pozos alcanzó profundidades de estudio hasta 122 m, la Tabla 3 sumariza los metros de perforación por manto y el total excavado. La profundidad de aparición de las kimberlítas oscila entre 22 y 83 m con un espesor promedio de 2 m, donde pueden alcanzar hasta 10 m como máximo. Los valores estimados en las producciones mineras del área muestra un promedio de tenor de diamante entre 1,17 ct Tn y 1,55 ct Tn, que apunta a un negocio minero de más de 30 MM ct [27]. Además, hasta los momentos, las zonas de diamantes con mayor potencial son depósitos secundarios de tipo aluvional [32].

El principal yacimiento que se constituye como el más productivo en toda la región de *Guaniamo* es la unidad aluvional definida por el amplio valle de la zona de producción diamantífera de *Quebrada Grande-La Salvación*; la cual consta esencialmente de dos niveles litológicos, a saber, gravas arenosas y arcilla basal. La Tabla 4 señala la capacidad geoeconómica del área, en comparación con *Las Alicias-San Antonio* [31].

Por otro lado, *Maripa-Sipao* es considerado un distrito aurífero-diamantífero, ya que en la cuenca del río *Sipao*, tributario del *Caura*, se trabaja tanto oro como diamante del tipo aluvional. Mientras que en la sección norte de río *Caura*, en *Maripa* y *Flor de Carapo*, no se tienen datos confiables, no obstante, se estima que podrían existir recursos de 275 MM ct para los depósitos diamantíferos, primarios en kimberlitas y secundarios de aluviones [33].

3.4. Bloques históricos con derechos mineros

Se encuentran ubicados en el municipio *Cedeño* del estado Bolívar, donde diversas empresas privadas fueron operadoras beneficiarias durante los últimos 40 años. Habiendo realizado diversas actividades de exploración y numerosas investigaciones por parte de las empresas que operaron en su oportunidad con derechos mineros históricos tales como: *San Salvador II, San Salvador VI, San Salvador IX, San Gabriel, Los Arcangeles, San Felix, San Onofre, Centella, Pinos Altos I, Cuaima, Natal I, Natal II, Acoprobol, Pinos Altos II, Guaniamo 1, Guaniamo 2, Guaniamo 3, Guaniamo 4, Guaniamo 5, Guaniamo 6, Guaniamo 7, Cerbatana Uno (Aluvión), Cerbatana Uno (Veta), Cerbatana Dos (Aluvión), Cerbatana Dos (Veta), Cerbatana Tres (Aluvión), Cerbatana Tres (Veta), Cerbatana Cuatro (Aluvión), Cerbatana Cuatro (Veta), Cerbatana Cinco (Aluvión), Cerbatana Cinco (Veta), Cerbatana Seis (Aluvión), Cerbatana Seis (Veta), Cerbatana Siete (Aluvión), Cerbatana Siete (Veta), Cerbatana Ocho (Aluvión), Cerbatana Ocho (Veta), Cerbatana Nueve (Aluvión), Cerbatana Nueve (Veta), Cerbatana Diez (Aluvión), Cerbatana Diez (Veta), Cerbatana Once (Aluvión), Cerbatana Once (Veta), Cerbatana Doce (Aluvión), Cerbatana Doce (Veta), Cerbatana Trece (Aluvión), Cerbatana Trece (Veta), Cerbatana Catorce (Aluvión), Cerbatana Catorce (Veta), Cerbatana Quince (Aluvión), Cerbatana Quince (Veta), Cerbatana Dieciséis (Aluvión), Cerbatana Dieciséis (Veta), El Toco I (Aluvión), El Toco I (Veta), El Toco II (Aluvión), El Toco II (Veta), El Toco III (Aluvión), El Toco III (Veta), El Toco IV (Aluvión),*

Tabla 3: Resumen de recursos diamantíferos en el área de *San Antonio-Las Alicias*

			Antes del estudio		Después del estudio		
Parcela	Manto	Metros de perforación	Recursos indicados (MM ct)	Recursos inferidos (MM ct)	Tenor promedio (ct Tn)	Recursos indicados (MM ct)	Recursos inferidos (MM ct)
San Antonio 2880 Ha	Los indios	2019	4,00	8,00	1,54	6,16	12,32
	Los indios 024			9,00	1,46		13,14
	Desayuno-bicicleta	1010		1,80	1,46	2,63	2,63
Las Acacias 2225 Ha	El Condado	282	1,50	6,00	1,55	2,33	9,30
	Ceniza	2168	2,00	5,50	1,17	2,34	6,44
Total		5479				13,45	43,82

Fuente: Fermin y Salazar [28]

Tabla 4: Estimación de recursos por unidad geológica portadora de diamantes en sectores de *Guaniamo*

Sector	Unidad geológica	Recursos (MM ct)
Quebrada Grande-La Salvación	Grava arenosa	38,61
	Arcilla basal	115,85
	Total	154,46
San Antonio-Las Alicias	Grava arenosa	22,37
	Arcilla basal	67,11
	Total	89,48

Fuente: Alarcón [31]

El Toco IV (Veta), El Toco V (Aluvión), El Toco V (Veta), El Toco VI (Aluvión), El Toco VI (Veta), El Toco VII (Aluvión), El Toco VII (Veta), El Toco VIII (Aluvión), El Toco VIII (Veta), El Toco IX (Aluvión), El Toco IX (Veta), El Toco X (Aluvión), El Toco X (Veta), El Toco XI (Aluvión), El Toco XI (Veta), El Toco XII (Aluvión), El Toco XII (Veta), Salvación 2, Salvación 3, Salvación 4, Salvación 5, Salvación 6, Salvación 7, Las Alicias, Salvación 1, y San Antonio [5].

4. Otros distritos de interés

El distrito diamantífero de la *Gran Sabana* está enclavado en el antiguo eje de desarrollo minero *Ikabarú-Santa Elena* y reúne una de las mayores reservas de oro y diamante del estado Bolívar. Está conformado por dos grandes parroquias *Ikabarú* y *Santa Elena de Uairén* situadas al sur-oeste y sur-este de la zona respectivamente. Posee un histórico de intervención minera menos conocida que la de *Guaniamo*, pero con registros que datan de más de ochenta años.

Entre los sectores que fueron objeto de exploración y explotación de diamantes producto de antiguas concesiones otorgadas se encuentran: *Ikabarú, El Piojo, San Salvador de Paúl, Parkupí, Oris, Urimán, La Lapa Uaiparu* 1, *Codsa* 13 al 16, *Maricutana, Trompa I, Hans I, Cooperativa El Polaco, La Milagrosa, Salva La Patria, Cinco Ranchos, El Infierno, Hasa, Hacha, Belamino, Leoncio Viejo, Casabe, Uaiparú, Santa Elena de Uairén, Guari, La Faisca, Los Arrendajos, Perro Bravo, Chiguao, La California, Quimilol, Leoncio Nuevo, Pemón, Wuariven, Isabel, Pamina, Milieta, Jay I* al *V, Asopolaco, Zapata I y Zapata II, Mezquita I* al *IV, Erepuchi I* al *III, Apreme, Lote C, Mawariton I* al *IV, Candelaria, Mayorca I* al *VI, Uari I, Sabanal, Chiricayen, Migs I al II, Camyc* 1, entre otras. Los datos exploratorios y de producción son de menor confianza geológica en relación con la región de *Guaniamo* [5].

Estudios exploratorios realizados en los ríos *Caura, Cuchivero, Paragua, Caroní, Cuyuni, Ventuari* y *Alto Orinoco*, fueron dirigidos y enfocados a las investigaciones de trabajos de sedimentología y estratigrafía sobre los conglomerados cuarzosos de la unidad basal del *Supergrupo Roraima* y sus derivados aluvionales como principal fuente portadora de los mejores depósitos secundarios de diamantes en toda Guayana [5].

En el año 2001 fueron presentados valores en recursos certificados de diamantes por el orden de 318,71 MM ct, para lo que sería el área influenciada

por la unión de las cuencas *Media del Caroní* y *La Paragua*, la Tabla 5 discrimina las estimaciones.

Tabla 5: Resumen de la estimación de recursos diamantíferos, cuencas *Media Caroní* y *La Paragua* (MM ct)

Probados	Probables	Hipotéticos	Totales
38,72	92,13	187,76	318,71

Fuente: D'Suze [34]

Un punto de particular importancia en cuanto a las características gemológicas de los diamantes procedentes de la *Gran Sabana* es que la mayor parte de ellos presentan la forma cristalográfica de octaedros, con altos porcentajes de talla superiores al 60 %, industriales superiores a 35 % y mayor al 6 % para los tipos gema [34]. Si comparamos con el distrito de *Guaniamo*, donde son de talla cercanos al 35 %, industriales cercanos al 60 %, y tipo gema el 6 %.

Por otro lado, se presentan datos en el río *Carapo*, *La Carolina*, *La Vergareña* y *Danto Manchado-El Grillero*, donde los recursos en diamantes se estiman que podrían ascender a 180 MM ct [35]. Según estudios inéditos se ha comprobado la existencia de diques kimberlíticos de gran expectativa en *Guaquinima*, perteneciente a la provincia geológica de *Roraima*; además, en el área de *Guariche-El Triunfo*, aflora el *Grupo Roraima*, por consiguiente, en el pie de monte es muy posible que existan concentraciones de diamantes económicamente rentables. En todas estas zonas, las condiciones geográficas presentan un drenaje circular muy típico de territorios kimberlíticos a nivel mundial [35].

También se han reportado concentración de diamantes en los ríos *Cuyuní*, *Las Claritas* (esporádicamente), *Chicanan*, *Chivao*, *Uroi*, *Sur de El Dorado*, *Venamo*, *El Diamante*, *Supamo* [35].

Al norte en la *Serranía de Paisapa*, cerca de *El Palmar*, en la cuenca de rio *Grande* que drena sus aguas al norte, también han sido reportados concentraciones de diamantes y rubíes en las antiguas concesiones por denuncio minero denominadas *France* 1 al 9 [35].

El distrito minero *Valle Hondo-Botanamo* posee un considerable potencial geoeconómico en acopios de oro y diamante sobre el río *Venamo* [36]. Las acumulaciones en los aluviones están ubicadas hacia el sur de *Anacoco*, previa a la confluencia con la naciente del río *Cuyuní*.

4.1. Áreas protegidas

Un caso que amerita especial atención son las antiguas concesiones mineras otorgadas para explotación diamantíferas años atrás y que hoy se encuentran prohibidas por formar parte de zonas bajo régimen de administración especial (*ABRAE*), donde se ubica el *Parque Nacional Canaima*, patrimonio histórico de la humanidad decretado por la UNESCO y confluyen tres ABRAE identificados como:

1. Resguardo fronterizo del estado Bolívar;
2. Protectora sur del estado Bolívar; y
3. Reserva nacional hídrica del río *Ikabarú*.

No obstante, dicha realidad no desmerita los esfuerzos que se han alcanzado para la exploración de sus recursos minerales. De tal forma que permitan aumentar las reservas, facilitar la toma de decisiones y mejorar la capacidad de negociación del *Estado venezolano* como principal administrador del sector minero nacional.

4.2. Consideraciones finales

De acuerdo con la literatura analizada, se recomienda efectuar prospección geomática con campañas de exploración geológicas, geofísicas y geoquímicas para identificar, ubicar y cuantificar la kimberlita en el subsuelo.

Finalmente, el aprovechamiento ecológico y consensuado entre las poblaciones mineras e indígenas que hacen vida en las zonas productoras de diamante, deben ser tomadas en cuenta para impulsar la economía nacional desde las perspectivas del desarrollo del minero industrial.

5. Conclusiones

Diversos autores han indicado que Venezuela posee un gran potencial diamantífero. Sin embargo, estos recursos aún no han sido debidamente calculados ni mucho menos certificados. En la región

de Guayana (dentro y fuera del AMO) podemos hablar de más de 3.000 MM ct de diamante, de los cuales, sólo los distritos de *Guaniamo* y *Maripa* se encuentran dentro del AMO y apenas reúnen cerca del 15 % del total.

Referencias

[1] V. Mendoza. Evolución tectónica del escudo de Guayana. En *2do Congreso Latinoamericano Geología*, volumen 7(3), 2237–2270, Caracas, 1977.

[2] A. Reid. A Stratigraphy of the Type Area of the Roraima Group. En *Conferencia Geológica Inter-Guayanas*, 343–363, Caracas, 1974. Ministerio de Energía y Minas.

[3] Ministerio de Enegía y Minas, editor. *Léxico estratigráfico de Venezuela*. Número 12 en Publicación Especial. M.J. Editores C.A, Caracas, 3 edición, 1997.

[4] S. Maziarek. *El Diamante en Venezuela*. Editorial Arte, Caracas, 1975.

[5] Ministerio de Petróleo y Energía. Presentación ejecutiva del diamante al Despacho del Viceministerio de Petróleo y Minería. Informe interno, Ministerio de petróleo y Energía, Caracas, 2015.

[6] G. Sidder and V. Mendoza. Geology of the Venezuelan Guayana Shield and its Relation to the Geology of the Entire Guayana Shield. Report, USGS Numbered Series 91–141, U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, 1995.

[7] Presidencia de la República. Decreto 1.409. Gaceta Oficial N° 34.627, 03 de enero 1991.

[8] D. Zozaya. La industria minera en venezuela, situación y perspectivas para el desarrollo nacional. Informe técnico, División de Información Técnica Geológica-Minera, Direcciones de Minas y de Geología, Ministerio de Energía y Minas, Caracas, 1978.

[9] F. Kaminsky, S. Sablukov, L. Sablukova, and D. Channer. Neoproterozoic 'Anomalous' Kimberlites of Guaniamo, Venezuela: Mica Kimberlites of 'Isotopictransitional' Type. *Lithos*, 76(1–4):565–590, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.035.

[10] P. Nixon, G. Davies, D. Rexr, and A. Gray. Venezuela Kimberlites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59(1–2):101–115, 1992. DOI: https://doi.org/10.1016/0377-0273(92)90039-G.

[11] Gerencia de Estudios Ambientales. Caracterización del medio físico y biológico del área de pequeña minería del sector Guaniamo. Informe técnico, C.V.G. TECMIN C.A, Ciudad Bolívar, Venezuela, 1993.

[12] F. Kaminsky, O. Zakharchenko, W. Griffin, D. DeR Channer, and G. Khachatryan-Blinova. Diamond from the Guaniamo Area Venezuela. *Canadian Mineralogist*, 36(6):1347–1370, 2000. DOI: https://doi.org/10.2113/gscanmin.38.6.1347.

[13] D. Channer, A. Egorov, and F. Kaminsky. Geology and Structure of de Guaniamo Diamondiferous Kimberlite Sheets, South-West Venezuela. *Revista Brasilera de Geociencias*, 31(4):615–630, 2001.

[14] J. Neuman. Informe unificado de la información geológica de Guaniamo. Informe técnico, INGEOMIN, Caracas, Venezuela, 2010.

[15] P. Nixon. Diamond Source Rocks From Venezuelan. *Industrial Diamond Quarterly*, 51:23–29, 1988.

[16] G. Vielma. Estudio de factibilidad técnico económico del proyecto de instalación y funcionamiento de una planta piloto para minería de manto de kimberlita diamantífera de la Parcela San Antonio. Análisis de factibilidad, Consultores y Asociados, Ciudad Bolívar, Venezuela, 2000.

[17] G. Añez. Exploración y evaluación de posibles depósitos diamantíferos en el Distrito Cedeño del estado Bolívar. En *Memoria I, Simposio*

Amazónico, publicado en Boletín de Geología del Ministerio de Energía y Minas (Publicación Especial), volumen X, 443–463, Caracas, 1985.

[18] S. Rodríguez. Recursos minerales de Venezuela. *Boletín de Geología del Ministerio de Energía y Minas*, XV(27):1–228, 1986.

[19] G. Baptista y D. Svisero. Geología de los depósitos diamantíferos de la parte noroccidental de la Guayana venezolana. *Boletín de Geología del Ministerio de Energía y Minas*, XIII(24):3–46, 1986.

[20] G. Añez. Búsqueda de kimberlítas, métodos a usarse en el estudio de concentrados de minerales pesados. Informe técnico, C.V.G. TECMIN C.A, Ciudad Bolívar, Venezuela, 1978.

[21] D. Channer, F. Kaminsky, and A. Egorov. Geological and Tectonic Setting of the Guaniamo Kimberlite Sheets, South-West Venezuela. En *8th International Kimberlite Conference*, volume 8, Victoria, Canada, 2003.

[22] Compañía Minera Adamantine, C.A. Informe anual de las actividades exploratorias Parcela Natal II. Puerto Ordaz, Venezuela, 2011.

[23] H. Meyer and H. McCallum. Diamonds and Their Sources in the Venezuela Portion of the Guayana Shield. *Economic Geology*, 88(5):989–998, 1993.

[24] G. Vielma. Estudio de factibilidad técnico económico de los contratos de exploración de oro y diamante de veta denominados "San Antonio y Las Alicias". Análisis de factibilidad, Consultores y Asociados, Ciudad Bolívar, Venezuela, 1999.

[25] S. Rodríguez. Ubicación tectónica de los cuerpos de kimberlítas de Bolívar occidental, Venezuela. En *VII Congreso Geológico Venezolano, TOMO II*, 335–338, Caracas, 1997.

[26] V. Mendoza. *Evolución geotectónica y recursos minerales del escudo de Guayana en Venezuela y su relación con el escudo Suramericano*. Escuela Ciencia de la Tierra. Universidad de Oriente. Cátedra de Geología de Venezuela, Ciudad Bolívar, Venezuela, 2000.

[27] J. Neuman, E. Sobrino, R. Reyes, R. González, G. Serrano, Y. Bravo, L. Machado y E. Pillhaca. Informe de avance de la primera etapa del proyecto de reconocimiento geológico para diamante en el sector Guaniamo, municipio Cedeño del estado Bolívar. Marco del convenio científico Cuba–Venezuela, INGEOMIN, Caracas, 2008.

[28] F. Fermín y J. Salazar. Mapa geológico estructural y de recursos diamantíferos en San Antonio, Las Alicias y Natal. Proyecto de inventario de los recursos naturales de la región de guayana, CVG TECMIN, Ciudad Bolívar, Venezuela, 2015.

[29] M. Méndez. Caracterización geológica de la kimberlita de Guaniamo, estado Bolívar. En *VI Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. XI Congreso Cubano de Geología*, La Habana, Cuba, 2005.

[30] P.G. Schruben, J.C. Wynn, F. Gray, D.P. Cox, J.H. Sterwart, and W.E. Brooks. Geology and Mineral Resource Assessment of the Venezuelan Guayana Shield at 1:500,000 Scale. Report 46, U.S. Geological Survey, 1997.

[31] F. Alarcón. Estudio de factibilidad geológica en la evaluación del recurso diamante en el Bloque 1 (áreas: Bermúdez-Natal, San Antonio-Las Alicias, Quebrada Grande-La Salvación) del *Arco Minero*, municipio Cedeño, estado Bolívar. Informe técnico, INGEOMIN, Caracas, Venezuela, 2019.

[32] A.J. Toselli. Elementos básicos de petrología ígnea. Informe Académico, Serie Miscelanea 18, Instituto Superior de Correlación Geológica, 2009.

[33] F. Alarcón. Resumen geológico de los Bloques Guaniamo y Maripa para la exploración del recurso diamantes, municipios Cedeño y Sucre, estado Bolívar. Informe técnico, INGEOMIN, Caracas, Venezuela, 2019.

[34] C. D'Suze. Potencial minero en oro y diamantes de las áreas Oro-26, Oro-04, Oro-20, Siembra Minera y Guaniamo-Quebrada Grande. Informe interno, DIEXMIN, Caracas, Venezuela, 2020.

[35] C. D'Suze. Distritos mineros de Imataca. Informe interno, DIEXMIN, Caracas, Venezuela, 2020.

[36] F. Fermín y J. Salazar. Potencial aurífero del escudo de Guayana, Venezuela. Informe interno, CVG TECMIN, Ciudad Bolívar, Venezuela, 2008.

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

Mogollón et al, Vol. 7, Nro. 21, 59–72, mayo–agosto, 2021.

Article:

Determination of Groundwater Quality for Irrigation Use in Agricultural Systems

J.P. Mogollón[1,2*], T. Fernández C.[1], H. Garrido[1], A. Cordero[1], D.A. Quintero[1], Y. Castillo[1], Y. Colmenares[1]

[1]División Control de Aguas, Evaluación y Tratamiento Residuos Agroindustriales, Fundación Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial, San Felipe, Venezuela

[2]Departamento de Química y Suelos, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Cabudare, Estado Lara, Venezuela

Recibido: julio, 2021
Aceptado: agosto, 2021
Autor para correspondencia: J. Mogollón. e–mail: jmogollon15@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5721969

Abstract

The water quality was evaluated for irrigation purposes in ten wells located in the *El Vínculo* parish of Falcón state. Physicochemical parameters such as pH, electrical conductivity, temperature, total dissolved solids, cations and anions of interest were measured. In addition, the secondary salinity indices expressed as hardness, effective salinity, sodium adsorption ratio, residual sodium carbonate, percentage of possible sodium and *Scott's index* were quantified. The *water suitability* for irrigation purposes was established using the guidelines given by the *Riverside Laboratory* and FAO. In relation to the first regulation, half of the underground sources provide water classified as medium salinity, suitable for irrigation; the rest are of high salinity and should be used with restrictions (soils with good drainage and light to medium textures). The second regulation made it possible to classify a tenth of the aquifers in the category *without any restrictions*, another similar proportion *with severe restrictions* and the remainder *with moderate restrictions*.

Keywords: groundwater quality; irrigation; agricultural systems; salinity index; *water suitability*.

Artículo:

Determinación de la calidad de aguas subterráneas para uso de riego en sistemas agrícolas

Resumen

La calidad del agua fue evaluada con fines de riego en diez pozos ubicados en la parroquia *El Vínculo* del estado Falcón. Se midieron los parámetros fisicoquímicos tales como el pH, conductividad eléctrica, temperatura, sólidos totales disueltos, cationes y aniones de interés. Además, se cuantificó los índices de salinidad expresados como dureza, salinidad efectiva, relación de adsorción de sodio, carbonato de sodio residual, porcentaje de sodio posible y el *índice de Scott*. La *aptitud del agua* con fines de riego se estableció utilizando las pautas dadas por el *Laboratorio de Riverside* y la FAO. Con relación a la primera regulación, la mitad de las fuentes subterráneas proveen agua catalogadas como de salinidad media, apta para el riego; el resto son de salinidad alta y deben utilizarse con restricciones (suelos con buen drenaje y de texturas livianas a medias). La segunda normativa permitió clasificar la décima parte de los acuíferos en la categoría *sin ninguna restricción*, otra proporción similar *con severas restricciones* y el remanente *con moderadas restricciones*.

Palabras clave: calidad de aguas subterráneas; riego; sistemas agrícolas; índice de salinidad; *aptitud del agua*.

1. Introducción

Los sistemas agrícolas bajo riego dependen de la disponibilidad de agua de buena calidad. Hasta la década de los 80 no se había considerado la limitación del recurso hídrico con fines de irrigación, porque su suministro no representaba mayores problemas, ya que el mismo había sido abundante y fácilmente disponible, según lo planteado por Tanji y Kielen [1]. Sin embargo, hoy en día existe un panorama completamente distinto en relación con la escasez de manantiales (el desequilibrio entre el suministro y la demanda de agua dulce) y el problema del incumplimiento de parámetros fisicoquímicos fundamentales. Esta situación amenaza cada vez más la seguridad alimentaria, especialmente a los países en vías de desarrollo [2], la cual se ve agravada por el efecto de la crisis ambiental global, pudiendo acrecentar las limitaciones de la reserva de agua para regadío y afectar negativamente la producción agrícola especialmente en las regiones tropicales.

En tal sentido, el conocer la ubicación y la capacidad de explotación de las fuentes de abastecimiento subterráneas resulta una premisa primordial en cualquier propuesta relacionada con la utilización de las mismas, pero su uso final va a depender de la evaluación de su calidad. Para regar, en principio se deberá conocer cuáles son los caudales utilizables de cada pozo a fin de no afectar las condiciones de otros recursos naturales, como por ejemplo el suelo. Por lo tanto es necesario determinar la metodología de suministro y las características del agua para implementar las herramientas adecuadas de manejo y conservación [3].

Para una buena gestión del agua en la agricultura de regadío es importante considerar dos aspectos interrelacionados, el primero representa la sustentabilidad de la producción de cultivos, y en segundo lugar, que las actividades agrícolas no causen deterioro del recurso hídrico con el impacto subsecuente en su uso para otros propósitos [4]. Cuando las técnicas empleadas no son las correctas, particularmente la aplicación de *láminas de agua* al suelo, provocan procesos de salinización de diferente gravedad. Sus altas concentraciones de sales se acumulan directamente en el tierra o en los *mantos freáticos* (producto de un descenso del nivel o por la intrusión en capas más profundas) como consecuencia de la sobre explotación [5].

Por lo general, la *aptitud del agua* es determinada comparando las propiedades físicas, químicas y biológicas de una muestra con las directrices establecidas en cada país o región [6]. De acuerdo con lo anterior, los estándares de calidad variarán dependiendo de la utilización que tendrá el recurso. Al considerar su empleo en el sector agrícola, González *et al.* [7] señalan que las características más relevantes estarían referidas al tipo y cantidad de sales presentes, su efecto sobre el suelo, además del desarrollo y crecimiento de los cultivos.

Los atributos más importantes que determinan el suministro de agua para los cultivos son: el contenido total de sales solubles, la concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes, los niveles de los elementos que puedan ser tóxicos (sodio y cloro) [8], y bajo ciertas condiciones, el porcentaje presente de bicarbonatos con relación al calcio y magnesio. Resumiendo, los principales iones que se evalúan son calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{+}), potasio (K^{+}), sulfatos ($SO_4{}^{2-}$), cloruros (Cl^{-}), carbonatos (CO_32-) y bicarbonatos ($HCO_3{}^{-}$) [9, 10, 11]. Los resultados obtenidos permiten calcular los índices secundarios, que determinan la *aptitud del agua* para sistemas agrícolas bajo irrigación [11]. Estos índices son descritos por varios autores [10, 12, 13, 14] e incluyen la dureza, la salinidad efectiva, la relación de adsorción de sodio, el carbonato de sodio residual, el porcentaje de sodio intercambiable, el porcentaje de sodio posible, el coeficiente alcalimétrico o *índice de Scott*, entre otros.

La meta de la investigación fue caracterizar los acuíferos de la parroquia *El Vínculo* del estado Falcón, tomando en cuenta las condiciones de la zona [15], con base en los parámetros físicoquímicos de mayor relevancia y su impacto en la salinización del suelo. Además, fue evaluada la capacidad de uso del agua con fines agronómicos, según dos de las clasificaciones implementadas en Venezuela: *Laboratorio de Riverside* [9] y FAO [10].

Tabla 1: Identificación de los pozos evaluados en la parroquia *El Vínculo* del municipio Falcón, península de Paraguaná

N° del Pozo	Nombre del pozo	Ubicación geográfica		Perforación (m)	Responsable del funcionamiento
P1	Los Cuadros	12°05'36"N	70°00'04"O	63	Particular
P2	El Vínculo 1	12°04'10"N	69°56'40"O	43	Comunidad
P3	El Vínculo 2	10°04'12"N	70°03'20"O	50	Comunidad
P4	El Vínculo 3	12°04'00"N	70°01'00"O	55	Particular
P5	Escuela Granja	12°04'21"N	70°00'40"O	62	Escuela Granja
P6	Las Carmelitas 1	12°04'40"N	69°58'15"O	48	Comunidad
P7	Las Carmelitas 2	12°04'50"N	70°00'45"O	60	Particular
P8	Agua Linda	12°05'00"N	70°00'30"O	38	Particular
P9	El Vínculo 4	12°04'54"N	69°56'33"O	65	Particular
P10	Hacienda Mauroa	12°04'05"N	69°56'30"O	72	Particular

2. Metodología

2.1. Área de estudio

La parroquia *El Vínculo* está ubicada en el municipio Falcón de la península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. Tiene una población de 3.553 habitantes [16], y una superficie aproximada a 326 km^2. El sector se caracteriza por tener un clima entre árido e híperárido [17], con precipitaciones medias anuales que oscilan entre los 200 mm y 400 mm; evaporaciones medias al año entre 2.700 mm y 3.300 mm. Los suelos presentan valores de bajos a medios de materia orgánica, texturas medias a gruesas, de moderada profundidad, baja pedregosidad, y salinidad de ligera a alta [18]. Las comunidades vegetales que predominan en la zona fueron descritas por Mogollón *et al.* [19] como *cardonal-arbustal* y *arbustal-matorral*, dominadas por las especies *stenocereus griseus*, *prosopis juliflora*, *castela erecta* y *caesalpinia coriaria*.

2.2. Muestreo

La Figura 1 representa la ubicación de los acuíferos de la península de Paraguaná, estado Falcón y corresponde con la base de datos del Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo (Minec). Los pozos muestreados están señalados en el mapa mediante un círculo de línea continua y fueron inventariados en el año 1983, con un total de 19 en la parroquia *El Vínculo*. Para el momento del muestreo (año 2017) se encontraban activos 10, la Tabla 1 recoge las coordenadas de ubicación, nombre, profundidad de perforación y responsable de operación.

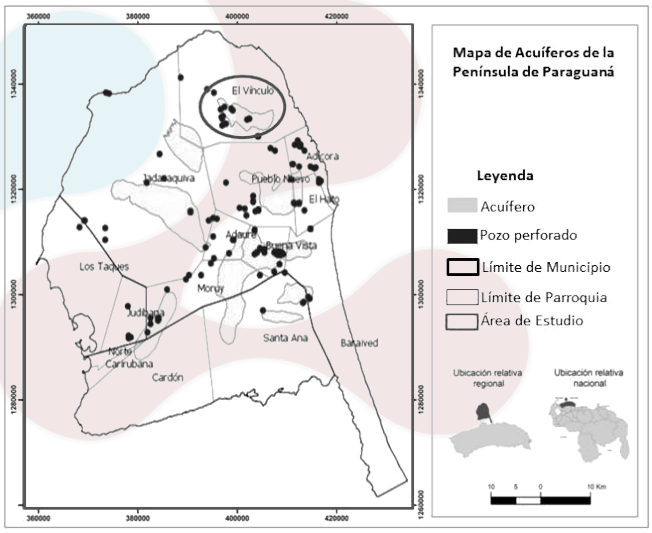


Figura 1: Mapa de acuíferos de la península de Paraguaná y delimitación del área de estudio

La captación de las muestras fue realizada en los pozos equipados con bombas. Para tal efecto, los equipos fueron activados por lo menos 1 hora antes de realizar el muestreo. La alícuota de agua fue colectada en envases de capacidad de 2,5 litros. La ausencia de aire se verificó invirtiendo el recipiente tapado para descartar la presencia de burbujas.

2.3. Reactivos, materiales y equipos

Reactivos

Cloruro de sodio; cloruro de potasio; negro de eriocromo-T; purpurato de amonio (murexida); peróxido de hidrógeno 30 %; fenolftaleína; cloruro de magnesio; acetato de sodio; nitrato de potasio; ácido acético glacial; cloruro de bario; carbonato de sodio; verde de bromocresol; soluciones buffer de pH 4, 7 y 10; ácido sulfúrico 1 N; buffer EDTA; hidróxido de sodio 1 N; solución indicadora de cromato de potasio; solución estandarizada de nitrato de plata 0,0141 M.

Materiales

Matraz *Erlenmeyer* de 125 ml; pipetas volumétricas de 5, 10 y 20 ml; vasos de precipitado de 20, 50 y 100 ml; balones aforados de 100, 200, 500 y 1000 ml; embudos de filtración; papel de filtro *Whatman* N° 42; filtros de membrana de filtración de 0,45 × 47 mm.

Equipos

Equipo multiparamétrico, modelo JW–430; fotómetro de llama modelo PFP7; espectrofotómetro UV-Visible modelo 7315; pH-metro modelo 3510 todos marca *Jenway*; plancha térmica con agitación magnética marca *Velp Scientifica*.

2.4. Métodos empleados

La cuantificación de las variables químicas de interés se realizó siguiendo las pautas establecidas en el manual de *Métodos estandarizados para análisis de aguas y aguas residuales* [20].

Las técnicas analíticas empleadas en el laboratorio fueron fotometría de llama para la determinación de sodio (Na^+) y potasio (K^+); titulación con EDTA (complexometría) para calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}); El cloruro (Cl^-) por titulación con nitrato de plata; el sulfato ($SO_4{}^{2-}$) por turbidimétria con $BaCl_2$ como agente precipitante y los iones carbonato ($CO_3{}^{2-}$) y bicarbonato ($HCO_3{}^-$) por volumétrica ácido-base. Todas las concentraciones de cationes y aniones se expresaron en miliequivalentes por litro (meq l^{-1}).

2.5. Procedimiento para estimar los índices secundarios de salinidad

Para realizar el cálculo de los índices secundarios de la salinidad del agua, como son: dureza (D), salinidad efectiva (SE), relación de adsorción de sodio (RAS), carbonato de sodio residual (CSR), porcentaje de sodio posible (PSP) e *índice de Scott* (IS); fueron empleados los valores de los parámetros químicos previamente determinados. Las ecuaciones utilizadas están descritas en Richards [9], Ayers y Westcot [10], Ortiz [21] y Tanji [22].

Ecuaciones para el cálculo de los índices

a) *Dureza* (D)

$$D = (Ca^{2+} \times 2,5) + (Mg^{2+} \times 4,12)/10. \quad (1)$$

b) Salinidad efectiva (SE)

Si $[Ca^{2+}] > [CO_3^{=} + HCO_3^{-} + SO_4^{=}]$,

$$SE = [Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}] - [CO_3^{=} + HCO_3^{-} + SO_4^{=}]. \quad (2)$$

Si $[Ca^{2+}] < [CO_3{}^{=} + HCO_3{}^{-} + SO_4{}^{=}]$ y $[Ca^{2+}] > [CO_3{}^{=} + HCO_3{}^{-}]$

$$SE = [Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}]. \quad (3)$$

Si $[Ca^{2+}] < [CO_3{}^{=} + HCO_3{}^{-}]$ y $[Ca^{2+} + Mg^{2+}] > [CO_3{}^{=} + HCO_3{}^{-}]$

$$SE = [Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}] - [CO_3^{=} + HCO_3^{-}]. \quad (4)$$

Si $[Ca^{2+} + Mg^{2+}] < [CO_3{}^{=} + HCO_3{}^{-}]$

$$SE = [Na^{+} + K^{+}]. \quad (5)$$

c) Relación de adsorción de sodio (RAS)

$$RAS = Na^{+}/[(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

d) Carbonato de sodio residual (CSR)

$$CSR = [C0_3^{=} + HCO_3^{-}] - [Ca^{2+} + Mg^{2+}]. \quad (7)$$

e) Porcentaje de sodio posible (PSP)

$$PSP = [Na^{+}/SE] \times 100. \quad (8)$$

Tabla 2: Determinación de los parámetros *in situ* en muestras de acuíferos

Nombre del Pozo	pH ± 0,01	T ± 0,01 (°C)	STD ± 0,01 (mgl^{-1})	CE ± 0,01 (dS^{-1})
Los Cuadros	7,61	28,70	364,80	0,57
El Vínculo 1	7,62	29,30	416,00	0,65
El Vínculo 2	7,65	28,60	704,00	1,10
El Vínculo 3	8,20	31,30	928,00	1,45
Escuela Granja	7,65	29,90	576,00	0,90
Las Carmelitas 1	7,51	30,00	288,00	0,45
Las Carmelitas 2	7,55	28,50	499,20	0,78
Agua Linda	7,67	27,80	409,60	0,64
El Vínculo 4	8,10	28,10	352,00	0,55
Hacienda Mauroa	7,83	29,10	505,60	0,79

e) *Índice de Scott* (IS)

Si $Na^+ \leq Cl^-$,

$$IS = 2040/Cl^-; \tag{9}$$

Si $Cl^+ < Na^+ \leq Cl^- + SO_4^=$,

$$IS = 6620/(2,6\ Cl^- + Na^+); \tag{10}$$

Si $Na^+ \geq Cl^- + SO_4^=$,

$$IS = 662/(Na^+ - 0,32\ Cl^- - 0,42\ SO_4^=). \tag{11}$$

2.6. Métodos referenciales para la clasificación del agua de riego

La *aptitud del agua* con fines de riego se evaluó mediante las metodologías desarrolladas por el *Laboratorio de Riverside* [9] y por la FAO [10]. Estos dos sistemas de clasificación de acuíferos consideran la peligrosidad sódica y salina a partir del índice RAS y el valor de conductividad eléctrica (CE) respectivamente, aunque con intervalos y categorías diferentes.

3. Discusión de Resultados

3.1. Medidas de parámetros *in situ*

Las variables determinadas *in situ* mediante un equipo multiparamétrico fueron: pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE) y la concentración de sólidos totales disueltos (STD). La Tabla 2 presenta los valores de los parámetros evaluados para cada una de las muestras.

Valores de pH

Los resultados obtenidos de pH fueron mayores a 7,50; lo cual indica la presencia de bicarbonatos en el agua recolectada del acuífero [11]. Arzola y colaboradores [23] señalan que el uso de aguas con altos valores de alcalinidad (carbonatos y bicarbonatos) con fines de riego agrícola podría conducir a la perdida de la estabilidad estructural de los suelos, producto de la dispersión y el hinchamiento de las arcillas sensibles a este proceso, reduciendo finalmente, la capacidad de infiltración del suelo. En tal sentido, Medina *et al.* [24] plantean que el pH aunque no es un factor principal para establecer la calidad del agua, sirve para determinar las concentraciones relativas de las especies disueltas de carbonato.

Temperatura

Las muestras de agua analizadas mostraron valores que oscilan entre 27,80 ± 0,01 °C y 31,30 ± 0,01 °C, lo cual se corresponde a temperaturas propias de zonas áridas tropicales. La temperatura es una medida del grado de calor del agua, y tiene incidencia sobre diferentes parámetros físico-químicos que, a su vez, pueden afectar la calidad de las aguas de riego. En tal sentido, sus variaciones pueden influir en el incremento o descenso de la solubilidad de las sales presentes. Chirinos y Mogollón [25] señalan que los iones bicarbonatos son inestables y se descomponen con el aumento de la temperatura del agua, dando lugar a carbonatos y dióxido de carbono, generando además una dureza temporal.

Tabla 3: Concentración de iones en las aguas subterráneas muestreadas en la parroquia *El Vínculo* estado Falcón

Nombre del Pozo	Parámetro [concentración del ión] ± 0,01 meq l^{-1}							
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	$S0_4{}^{=}$	$CO_3{}^{=}$	$HCO_3{}^{-}$
Los Cuadros	3,20	6,10	7,60	8,20	6,50	1,10	0,00	17,40
El Vínculo 1	6,20	3,80	7,50	12,20	9,50	10,50	0,00	9,50
El Vínculo 2	3,90	4,90	7,10	10,80	8,50	1,90	0,00	16,40
El Vínculo 3	2,60	1,80	12,80	0,80	2,60	8,40	0,00	7,20
Escuela Granja	5,40	3,55	5,45	4,10	6,50	2,45	0,00	9,50
Las Carmelitas 1	4,20	3,10	17,55	7,10	12,50	11,10	0,00	8,40
Las Carmelitas 2	4,55	3,90	12,40	2,20	6,90	8,50	0,00	7,50
Agua Linda	3,10	3,30	4,45	11,10	8,50	4,80	0,00	8,70
El Vínculo 4	1,10	7,80	16,20	0,80	7,30	2,30	0,00	16,30
Hacienda Mauroa	2,30	1,40	16,10	0,20	3,90	7,50	0,00	8,50
Valores de referencia (Ayers y Westcot [10])	**0-20**	**0-5**	**0-40**	**0-1**	**0-30**	**0-20**	**0-0,01**	**0-10**

Sólidos totales disueltos (*STD*)

Los sólidos totales disueltos encontrados en las muestras de agua estuvieron en un rango de 288 ± 0,01 a 928 ± 0,01 mg/l, lo que implica que según la clasificación planteada por Davis y De Wies [26] se catalogan como aguas dulces por presentar valores < 1000 mg/l.

Conductividad eléctrica (*CE*)

La *CE* representa el total de sales disueltas en el agua [27], y es el indicador que se utiliza para estimar el daño producido por la salinidad, especialmente sobre las plantas. Los valores de *CE* encontrados en las muestras analizadas oscilan entre 0,45 ± 0,01 a 1,45 ± 0,01 dS m^{-1}, ubicados en el intervalo de uso para riego (0 a 3 dS m^{-1}), lo que refleja que son aguas con las que se pueden obtener rendimientos agrícolas óptimos, siempre y cuando los suelos tengan buena permeabilidad e infiltración según Llerena-Villalpando [28]. Ayers y Westcot [10] mencionan que una *CE* mayor a 3 dS m^{-1} puede afectar el crecimiento de varios cultivos sensibles o poco tolerantes a las sales. En base con el criterio de estos autores, se podría considerar que tomando en cuenta sólo las medidas de *CE* de los pozos examinados en la zona de *El Vínculo* existen escasas o moderadas restricciones para su uso en sistemas de regadío.

3.2. Determinación de las variables químicas

Los resultados de los análisis realizados a las muestras de agua recogidas en los 10 pozos del los acuíferos de *El Vínculo* están resumidos en la Tabla 3.

Calcio

El 100 % de las muestras estudiadas presentaron valores de Ca^{2+} dentro del intervalo entre 0 – 20 meq l^{-1} concordando con lo reportado por Ayers y Westcot para aguas con aptitud de riego agrícola [10].

Sodio

En el caso del Na^{+}, el 50 % de los pozos arrojaron valores menores a 9,00 meq l^{-1}, por lo tanto, índica que son aceptables para fines de riego. El otro 50 % constituyen un riesgo para su empleo en la actividad agrícola, al presentar concentraciones en el rango de (12,40 ± 0,01 a 17,55 ± 0,01) meq l^{-1}. Los altos niveles de este catión en los acuíferos crean una peligrosidad sódica en función a su incremento en los sitios de intercambio de las arcillas. Ya que destruye la estructura del suelo, debido a la dispersión de las mismas y como resultado, se vuelve relativamente impermeable llegando a ser muy difícil su aprovechamiento [29]. Adicionalmente,

tiene un efecto de tóxico sobre las plantas, es un elemento innecesario para el desarrollo de los cultivos, se ha estimado que medidas superiores a 9 meq l^{-1} podrían acarrear severos problemas en el crecimiento de las mayoría de las especies vegetales [30].

Magnesio

Con respecto al magnesio, el 80 % de las muestras mostraron resultados dentro del rango de aguas con buena aptitud para riego (valor referencial 0-5 meq l^{-1}) y el resto presentaron valores promedio de 6,95 ± 0,01 meq l^{-1}.

Potasio

En cuanto al K^+, el intervalo de referencia óptimo para el agua de riego agrícola es de 0 a 1 meq l^{-1}, el 30 % de los pozos evaluados presentó medidas dentro del rango. El 70 % de los restantes tienen una concentración promedio de 7,95 ± 0,01 meq l^{-1}. En el caso de aguas subterráneas, el contenido de K^+ no debe sobrepasar los 0,39 meq l^{-1}, por encima de este valor, podrían implicar contaminación del acuífero por fertilizantes potásicos o indicios de polución por vertidos de aguas residuales [31].

Cloruro

El anión cloruro (Cl^-) arrojó valores promedio de 7,27 ± 0,01 meq l^{-1} con mínimos y máximos entre 2,60 ± 0,01 meq l^{-1} y 12,50 ± 0,01 meq l^{-1} respectivamente. Un 90 % de los pozos se encontraban aptos para fines de riego [10]. Sólo el reservorio denominado *Las Carmelitas* 1 se reportó por encima del valor permisible, con una concentración de 12,50 ± 0,01 meq l^{-1}, siendo además, el mismo pozo donde se localizaron los contenidos más altos del ión Na^+, lo que implica la posible influencia del agua de mar en las características físico-químicas del mismo a través del proceso de intrusión salina [32].

Sulfato

El ión sulfato ($S0_4^=$) mostró valores de concentración que oscilaron entre 1,10 ± 0,01 meq l^{-1} y 11,10 ± 0,01 meq l^{-1}, de modo que, el 100 % de las muestras se encuentran dentro del intervalo de aguas calificadas para ser usadas con fines de riego.

Carbonato y bicarbonato

En los pozos estudiados no se observaron valores de iones carbonatos ($CO_3^=$). Este hecho se relaciona con los valores de pH de las muestras de agua analizadas, los cuales varían entre 7,51 ± 0,01 a 8,20 ± 0,01. Resultados muy similares fueron reportados en los acuíferos ubicados en la parroquia *Pueblo Nuevo* del municipio Falcón por Chirinos y Mogollón [25]. Tal como señala De Sousa *et al.* [33], el ión bicarbonato predomina en aguas con valores de pH entre 7 y 9, mientras que el ión carbonato comienza a aumentar su concentración a valores de pH > 9.

Adicionalmente, en la Tabla 3 se puede apreciar que el ión bicarbonato (HCO_3^-) fue la especie química predominante en el 100 % de los pozos evaluados, y que además en el 30 %, la concentración de este anión estuvo por encima de los valores máximos recomendados para aguas de regadío. La determinación del ión HCO_3^- es un parámetro importante, dado que puede precipitar con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} formando los carbonatos respectivos, y aumentando la concentración relativa de sodio que produce la dispersión del suelo [24].

Además, cabe destacar que de acuerdo con la función de balance iónico = $(\sum$ cationes $- \sum$ aniones$)/(\sum$ cationes $+ \sum$ aniones$) \times 100$, las medidas realizadas tuvieron una dispersión menor al 1 %, siendo los valores más bajos y más altos de 0,10 y 0,55 % respectivamente, lo cual indica que los errores analíticos fueron muy bajos, y los resultados son altamente confiables desde el punto de vista geoquímico [34].

3.3. Índices secundarios de calidad del agua

Dureza

Los valores de dureza total se exponen en la Tabla 4, las medidas oscilan entre 1,15 ± 0,01 °F y 3,49 ± 0,01 °F (grados hidrotimétricos franceses). De acuerdo con la clasificación de la FAO [35], todos los pozos evaluados presentan niveles por debajo de 7 °F, por lo que sus aguas se consideran

Tabla 4: Índices secundarios de salinidad calculados para los pozos de aguas subterráneas activos ubicados en la parroquia *El Vínculo*, estado Falcón

	Indicador					
Nombre del Pozo	Dureza ± 0,01 (°F)	*SE* ± 0,01 (meq l^{-1})	*RAS* ± 0,01	*CSR* ± 0,01 (meq l^{-1})	*PSP* ± 0,01 (%)	*IS* ± 0,01
Los Cuadros	3,31	15,60	3,52	8,10	47,94	8,84
El Vínculo 1	3,12	20,20	3,35	-0,50	37,13	6,05
El Vínculo 2	2,99	17,90	3,39	7,60	39,66	6,76
El Vínculo 3	1,39	13,60	8,63	2,80	94,12	12,38
Escuela Granja	2,81	9,55	2,58	0,55	57,07	8,84
Las Carmelitas 1	2,33	24,65	9,18	1,10	71,20	4,25
Las Carmelitas 2	2,74	15,55	6,03	-0,95	79,20	7,17
Agua Linda	2,13	15,55	2,50	2,30	28,62	6,76
El Vínculo 4	3,49	17,00	7,68	7,40	95,29	2,72
Hacienda Mauroa	1,15	16,30	12,00	4,80	98,77	9,07
Valores de referencia:						
Dureza: **Fuente**: FAO [35]	muy blandas < 7					
SE 0-15: **Fuente**: FAO [36]	< 1,25 apto para uso; 3-15 uso condicionado; > 15 no recomendado					

muy blandas. La dureza del agua es básicamente la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, expresadas en meq l^{-1} de $CaCO_3$. Ambos metales son nutrientes esenciales para las plantas, por lo tanto, cuando estos elementos se encuentran en proporciones adecuadas resultan beneficiosos para los cultivos [37]. Sin embargo, cuando su contenido es elevado, pueden producir problemas de precipitaciones de sus sales, generando obstrucciones en el sistema de riego [38].

Salinidad efectiva (*SE*)

La salinidad efectiva representa el peligro de las sales solubles del agua al pasar a formar parte del suelo. La *SE* toma en cuenta la formación de especies menos solubles y por ende las más tóxicas [39]. Según la evaluación basada en los criterios de la FAO [36], el 80 % de los pozos de estudio no están recomendados para ser utilizados con fines de irrigación, ya que presentan valores de *SE* mayores a 15 meq l^{-1}; condición propia de los altos niveles de bicarbonatos presentes en sus aguas [40]. Solo el 20 % evidencia una cualidad de uso condicionado para el riego. Además, ninguno de los acuíferos son de buena calidad para uso agrícola.

Relación de adsorción de sodio (*RAS*)

La *RAS* se refiere a la proporción en la que se encuentra el ión Na^+ con respecto a los iones Ca^{2+} y Mg^{2+}. El sodio sustituye al calcio en el suelo y puede dar lugar a la dispersión de los agregados estructurales, por lo cual se manifiestan problemas de infiltración y permeabilidad [11]. El *RAS* calculado para todos los pozos, excepto el ubicado en la hacienda *Mauroa*, se encuentra entre 2,50 ± 0,01 y 9,18 ± 0,01 (dentro del rango permisible). En este sentido, cuando se aplica el criterio establecido por el *Laboratorio de Riverside* [9], el 90 % de los pozos presentan aguas con baja peligrosidad sódica, las cuales son aptas para aplicarlas en forma de riego. Acuíferos, con mediana peligrosidad sódica de acuerdo con su valor de *RAS* [12], podrían utilizarse considerando ciertas precauciones, como son el monitoreo constante del suelo, aplicaciones de *láminas de agua* en exceso con fines de lavado, entre otras.

Carbonato de sodio residual (*CSR*)

El *CSR* es un índice que predice la tendencia del calcio y el magnesio a precipitar en el suelo, cuando se emplean aguas altamente carbonatadas.

En caso de que esto ocurra, aumentará la proporción relativa de carbonato de sodio presente [41]. La Tabla 4 muestra que de acuerdo con el criterio de Richards [9], un 40 % de los pozos evaluados tienen buena calidad para el riego (valores de $CSR < 1,25$ meq l^{-1}), mientras que un 50 % no están recomendados para uso agrícola (valores de $CSR > 2,5$ meq l^{-1}), y un 10 % se podrían utilizar de manera condicionada.

Porcentaje de sodio posible (*PSP*)

Otro de los índices secundarios de sodicidad estimados es el porcentaje de sodio posible (*PSP*), el cual se refiere a la cantidad de sodio que resultaría una vez precipitado $CaCO_3$, $MgCO_3$ y $CaSO_4$ en el suelo, los cuales aumentan relativamente la proporción de sodio sobre los demás cationes. El valor del *PSP* calculado supero el umbral de 50 en un 60 % de las muestras analizadas. El valor indica que si estas aguas son utilizadas para riego agrícola, representan un alto riesgo de volver sódico al suelo, por lo cual se recomienda mezclarlas con mejoradores (yeso), con aguas dulces, y no aplicarlas en suelos arcillosos [32].

Índice de Scott (*IS*)

El coeficiente alcalimétrico o *índice de Scott* evalúa la toxicidad que pueden producir las concentraciones de los iones cloruro y sulfato aportados por el agua de riego, y que permanecen en el suelo luego de formar cloruro y sulfato de sodio respectivamente [42]. Según los valores de referencia del *IS* recopilados en la Tabla 5, un 80 % de las aguas extraídas poseen una calidad tolerable, lo que implica que hay que tener un cuidado especial para impedir la acumulación de sales, a menos que se trate de suelos de textura arenosa con drenaje libre. El 20 % restante son aguas de calidad mediocre, por lo que habría que seleccionar los suelos a ser regados, evitando los de textura arcillosa, y frecuentemente se hace necesario la práctica de desagüe artificial [43].

Tabla 5: Clasificación de las aguas evaluadas según el *Índice de Scott*

Valor de Scott	Calidad del Agua	Pozos estudiados (%)
$IS > 18$	Buena	–
$18 > IS > 6$	Tolerable	80
$6 > IS > 1,2$	Mediocre	20
$IS < 1,2$	Mala	–

Fuente: Casanova [42].

3.4. Clasificación de aguas con fines de riego

Según criterios del *Laboratorio de Riverside*

La Tabla 6 muestra la clasificación de los acuíferos según la metodología propuesta por el *Laboratorio de Riverside* [9]. Los valores considerados corresponden a salinidad (*CE*) y sodicidad (*RAS*); de acuerdo con la normativa, del 50 % de los pozos se extrae agua categorizada como C2, lo que significa que es de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos, podría ser necesaria la aplicación de *láminas de agua* en exceso para el lavado de sales acumuladas y el uso de cultivos tolerantes a las sales. El otro 50 % es considerado como C3, parámetro correspondiente a aguas de salinidad alta y que deben utilizarse con restricciones, tales como, el uso en suelos con buen drenaje, texturas livianas a medias (arenosos a franco arenosos), empleo de volúmenes de agua en exceso para lavar las sales y siembra de especies vegetales adecuadas para estas condiciones.

Con respecto a la sodicidad, el 60 % de los pozos estudiados presentó aguas calificadas como S1, catalogadas con bajo contenido en sodio, aptas para el riego en la mayoría de los casos. Pero habría que considerar que pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio. El 40 % restante se clasificaron como S2, lo que implica que tienen un contenido medio en sodio, y por lo tanto, con peligro de acumulación en el suelo, especialmente los de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. La recomendación es monitorear sus condiciones fisicoquímicas, especialmente el nivel de sodio intercambiable, corrigiendo, en caso de ser necesario, con medidas que atenúen esta situación.

Tabla 6: Clasificación del agua de los pozos del acuífero de *El Vínculo* de acuerdo con los criterios del *Laboratorio Riverside*

	Indicador			
Pozo	*RAS* ± 0,01	*CE** (μmhos/cm) ± 10	Clase por salinidad	sodicidad
Los Cuadros	3,52	570	C2	S1
El Vínculo 1	3,35	650	C2	S1
El Vínculo 2	3,39	1100	C3	S1
El Vínculo 3	8,63	1450	C3	S2
Escuela Granja	2,58	900	C3	S1
Las Carmelitas 1	9,18	450	C2	S2
Las Carmelitas 2	6,03	780	C3	S1
Agua Linda	2,50	640	C2	S1
El Vínculo 4	7,68	550	C2	S2
Hacienda Mauroa	12,00	790	C3	S2

* conversión 1 mmhos cm^{-1} = 1,000 μmhos c^{-1}= 1 dS m^{-1}

Fuente: Richards [9]

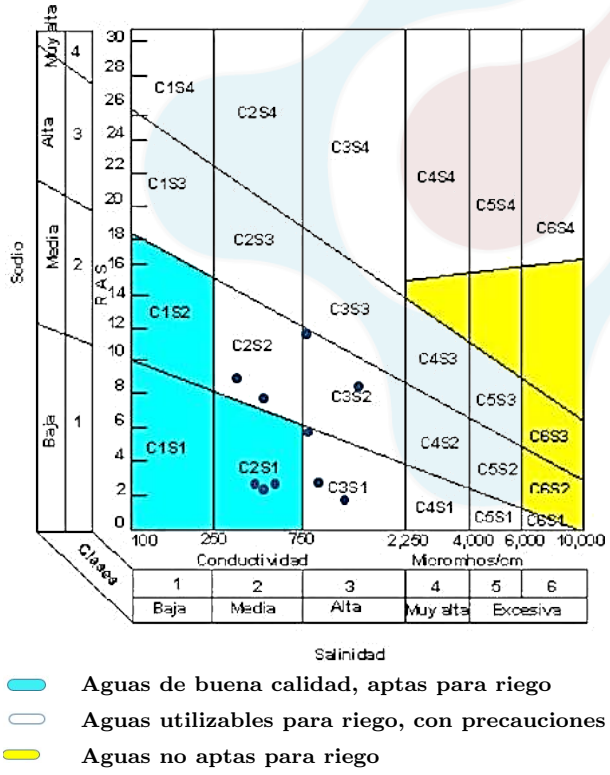


Figura 2: Clasificación del agua de los pozos del acuífero de El Vínculo de acuerdo con las Normas de Riverside

Fuente: Richards [9].

En la Figura 2 se visualiza el diagrama de Richards [9], el cual es empleado para la clasificación de aguas de riego en base con su calidad, y sirve para determinar el nivel de peligrosidad por sodio y por la salinidad presente; como datos de entrada se coloca el *RAS* y la *CE* de las muestras analizadas. Según esta metodología, un 30 % de los pozos evaluados son descritos como de buena calidad, es decir aptos para el riego (clase C2S1), y el 70 % restante se consideran aprovechables para el regadío agrícola (C2S2, C3S1 y C3S2), pero con precauciones en su uso. Esta categorización ha sido criticada debido a que los rangos de conductividad eléctrica para definir las clases de aguas salinas son muy conservadores, y por otra parte, tiene un error conceptual en cuanto a la variación del riesgo de sodificación, en función de los niveles de salinidad del agua, es decir que los límites para definir las distinciones de este parámetro (la conductividad eléctrica) disminuyen al aumentar la salinidad lo que resulta contradictorio [44].

Según criterios de la FAO

Esta metodología permite determinar el grado de restricción en el uso del agua para riego, y presenta un carácter más cualitativo que cuantitativo, lo que supone una ventaja comparativa con respecto a la metodología del *Laboratorio de Riverside* [45]. Clasifica la calidad de los acuíferos mediante grados de limitación para su empleo, es decir, otorgando mayor tolerancia a la salinidad y alta rigurosidad a la relación entre la *CE* y la *RAS* para

evaluar la sodicidad. Además, amplía los límites de permisividad para aguas que contengan valores altos de ambos indicadores [46]. La Tabla 7 refleja los resultados al aplicar los criterios de la FAO, solo un 10 % de las muestras evaluadas presentó condiciones óptimas para riego, sin ninguna restricción. Un 80 % tienen una aptitud de moderada calidad para irrigación complementaria, siendo necesaria la implementación de un manejo especial, como el hecho de ser aprovechadas en suelos con buen drenaje, la aplicación de láminas de lavado de sales, y su aplicación en cultivos tolerantes a las sales. El restante 10 % de las muestras son de mala calidad no aptas para fines agrícolas.

Tabla 7: Clasificación del agua de los pozos del acuífero de *El Vínculo* de acuerdo con el valor del *RAS* y la *CE* según las normas de la FAO

RAS	*CE* dS m^{-1}	Pozos %	Restricción de Uso
0 – 3	Mayor de 0,7	10	Ninguno
	Entre 0,2 y 0,7	10	Ligero o moderado
	Menor de 0,2	0	Severo
3 – 6	Mayor de 1,2	0	Ninguno
	Entre 0,3 y 1,2	30	Ligero o moderado
	Menor de 0,3	0	Severo
6 – 12	Mayor de 1,9	0	Ninguno
	Entre 0,5 y 1,9	40	Ligero o moderado
	Menor de 0,5	10	Severo

Fuente: FAO [10]

4. Conclusiones

La determinación de la calidad fisicoquímica del agua subterránea proveniente de los diez pozos ubicados en la parroquia *El Vínculo*, municipio Falcón de la península de Paraguaná, estado Falcón representa un valioso aporte para los productores de la zona, donde por años se ha desarrollado una actividad agrícola. En función de los resultados obtenidos y de acuerdo con el criterio de la FAO, un 80 % de los pozos tienen aguas aptas para riego con moderadas restricciones (*Los Cuadros*, *El Vínculo 1*, *El Vínculo 2*, *El Vínculo 3*, *El Vínculo 4*, *Las Carmelitas 2*, *Agua Linda* y *Hacienda Mauroa*); un 10 % severas restricciones (*Las Carmelitas 1*) y solo un 10 % no presentan ninguna restricción (*Escuela Granja*). Además, es importante tomar en cuenta, que el sodio es el elemento químico que podría generar mayores problemas relacionados al uso del agua, ya que un 50 % de los pozos evaluados presentó altos valores en su concentración (*Los Cuadros*, *El Vínculo 1*, *El vínculo 4*, *Las Carmelitas 1* y *Agua Linda*), lo que implica un riesgo severo de restricción para su empleo con fines de riego.

Agradecimientos

El presente trabajo es parcialmente soportado por el proyecto estratégico del Fonacit denominado “Delimitación de Áreas Vulnerables a la Desertificación en la Península de Paraguaná, como base para la Planificación de la Gestión Ambiental”, Código 2011000316.

Referencias

[1] K. K. Tanji and N. C. Kielen. Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas. FAO Irrigation and Drainage Paper 61, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italy, 2002.

[2] FAO. Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura. Boletín, Roma, 2020.
DOI: https://doi.org/10.4060/cb1441es.

[3] M. Smith, K. Cross, M. Paden y P. Lavan (éds.). *Acuíferos: Gestión sostenible de las aguas subterráneas*. UICN ORMACC, San Jose, Costa Rica, 2020.
DOI: https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.es.

[4] FAO. Water Quality Management and Control of Water Pollution. Water Report 21, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 2000. Proceedings of a Regional Workshop Bangkok, Thailand 26-30 October 1999.

[5] N.E. Aceves. *El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Identificación, control, combate y adaptación.* Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 1979.

[6] M. Montiel, F. Morales, R. Silva, A. Baez, K. Portillo, C. Reales, y M. Montiel. Caracterización del recurso hídrico subterráneo en una población insular: un aporte al desarrollo de la comunidad de San Bernardo–Venezuela. *Kasmera*, 49(1):e49132183, 1–10, 2021.

[7] Z. González, D. Padilla, and J. Ramos. Quality Assessment of Irrigation Water Related to Soil Salinization in Tierra Nueva, San Luis Potosí, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(3):271–285, 2016.

[8] J. Castellón, R. Bernal y M. Hernández. Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería Revista Académica*, 19(1):39–50, 2015.

[9] C.A. Richards. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.* Number 60 in Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, Manual. Limusa, México, D.F., 1990.

[10] R.S. Ayers y D. Westcot. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1994.

[11] T. Tartabull y C. Betancourt. La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1):47–61, 2016.

[12] T. Palancar. *Compresibilidad y resistencia al corte de suelos salinizados y sodificados por irrigación.* Tesis Doctoral, Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2006.

[13] J.M. Cortés-Jiménez, E. Troyo-Diéguez y E. Murillo-Amador. Índices de calidad del agua del acuífero del valle del Yaqui Sonora. *Terra Latinoamericana*, 27(2):133–141, 2009.

[14] M. Lingaswamy and P.R. Saxena. Water Quality of Fox Sagar Lake, Hyderabad, Telangana State, India. *International Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 4(8):490–404, 2015.

[15] W. Rivas, J.P. Mogollón, B. Muñoz, A. Martínez, L. Lemus, M. Colmenares, Y. Campos, S. Hernández y E. Márquez. Caracterización de la sequía agrícola en el área de producción de cultivos de la Península de Paraguaná período 1971-2000. *Croizatia*, 16(1 & 2):75–84, 2015.

[16] INE. Boletín demográfico 2013. Boletín 1, Instituto Nacional de Estadística, Caracas, 2013.

[17] W. Rivas y J.P. Mogollón. Calidad del clima como indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Croizatia*, 16(1 & 2):25–35, 2015.

[18] J.P Mogollón, W. Rivas, B. Muñoz, A. Martínez, E. Marquez, L. Arrieta, L. Lemus, M. Colmenares, Y. Campos y S. Hernández. Calidad del suelo como indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Croizatia*, 16(1 & 2):7–24, 2015.

[19] J.P. Mogollón, W. Rivas, P. Alvizu, E. Marquez, M. Colmenares, L. Lemus, S. Hernández y A. Martínez. Calidad de la vegetación como indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Ágora De Heterodoxias*, 2(2):72–97, 2016.

[20] E.W. Rice and L. Bridgewater, editors. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, Water Environment Federation, New York, 22 edition, 2012.

[21] M. Ortiz O., editor. *La calidad de las aguas de riego.* Departamento de Publicaciones, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 1997.

[22] K. Tanji. *Agricultural Salinity Assessment and Management (Tanji, K.K., eds.)*, chapter Nature and extent of agricultural salinity, 1–17. Number 71 in ASCE Manual and Reports on Engineering Practice. American Society of Civil Engineers, New York, 1990.

[23] N.C. Arzola, O. Fundora y R. De Mello, editor. *Manejo do solo para uma agricultura sustentável*. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil, 1997.

[24] E. Medina, O. Mancilla, M. Larios, R. Guevara, J. Olguín y O. Barreto. Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia*, 34(6):51–59, 2016.

[25] J. Chirinos y J.P. Mogollón. *Gestión del agua en latinoamérica. Un desafío multidisciplinario, V.J. Inciarte M. (eds.)*, capítulo Evaluación de la calidad del agua subterránea empleada para riego. Parroquia Pueblo Nuevo, municipio Falcón, Península de Paraguaná, estado Falcón, 84–122. Inver-E-Group Venezuela, Caracas, 2017.

[26] S.N. Davis y R. De Wiest, editor. *Hidrogeología*. Ariel, Barcelona, España, 1971.

[27] J. Quinteros-Carabalí, J. Gómez-García, M. Solano, G. Llumiquinga, C. Burgos y D. Carrera-Villacrés. Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra*, 6(2):46–57, 2019.
DOI: https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641.

[28] F. Llerena-Villalpando. *Los problemas de salinidad de los suelos agrícolas bajo riego*. Ediciones del Colegio de Postgraduados, México, 2021.

[29] P. Gangwar, R. Singh, M. Trivedi, and R. Tiwari. *Environmental Concerns and Sustainable Development Shukla V. and Kumar, N. (eds.)*, volume 2: Biodiversity, Soil and Waste Management, chapter Sodic soil: management and reclamation strategies, 175–190. Springer, Singapore, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6358-0.

[30] A. Casas-Castro y E. Casas-Barba. *Análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de cultivos hortícolas en la zona peninsular*. Ediciones de la Caja Rural de Almería, Almería, España, 1999.

[31] H. Hazimah, R. Mohamad, S. Nurhidayu, H. Zulfa, and M. Faradiella. Physicochemical Analysis of Groundwater and Suitability for Domestic Utilization in Kuala Langat, Selangor. In *3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering*, volume 646 of *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 012025, Malaysia, November 2021. IOP Publishing Ltd.

[32] S.W. Jeen, J. Kang, H. Jung, and J. Lee. Review of Seawater Intrusion in Western Coastal Regions of South Korea. *Water*, 13(6):761, 2021.
DOI: https://doi.org/10.3390/w13060761.

[33] C. De Sousa, A. Correia y M.C. Colmenares. Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 50(2):187–196, 2010.

[34] C. Betancourt, T. Tartabull, Y. Labaut y R. Ferradaz. Principales procesos que impactan la calidad del agua para el riego en pozos costeros del centro sur cubano. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(3):541–552, 2019.

[35] FAO. Análisis de aguas, interpretación de datos y clasificación de agua para riego. Reporte, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, 2009.

[36] FAO. FAO-UNESCO Soil Map of the World. World Soil Resources Report 60, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Roma, 1988.

[37] H.C. de Oliveira, J. da S. Martins de A., R.M Quintäu L., R. Castoldi, E.F Alves M., M.R. Franco J., and W. Barbosa S. Changes in Chemical Soil and Corn Yield After Application of Gypsum and Potassium Doses. *Bioscience Journal*, 36(3):810–826, 2020. DOI: https://doi.org/10.14393/BJ-v36n3a2020-42443.

[38] D. Carmenates, Y. Hidalgo, O. Nurse, A. Mujica y P. Paneque. Influencia de la calidad del agua para el riego en las obturaciones de los emisores en Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2):36–38, 2013.

[39] Y. García. Calidad del agua con fines de riego. *Revista digital de Medio Ambiente "Ojeando la agenda"*, 35, 2015.

[40] A. Ávila, M. Cruz, P. Girón y C. Salcedo. Índices de calidad del agua de la laguna de Zupitlán, Municipio de Acatlán, Estado de Hidalgo. En *Memorias en Extenso de la I Semana Nacional y XXII Semana de la Investigación y la Docencia en Química*, 370–379, México, D.F., 2009. Universidad Autónoma Metropolitana.

[41] A. Camacho-Ballesteros, H.M. Ortega-Escobar, E.I. Sánchez-Bernal y Á. Can-Chulim. Indicadores de calidad físico química de las aguas residuales del estado de Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 38(2 Especial):361–375, 2020. DOI: https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.610.

[42] J. Canovas. *Calidad agronómica de las aguas para riego*. Servicio de Extensión Servicio Agraria, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, Madrid, 3ra edición, 1986.

[43] S. Rodríguez, M. Yfran y L. Fogar. Caracterización del agua de riego en explotaciones hortícolas de Saladas, provincia de Corrientes, República Argentina. *Anales Científicos*, 80(1):111–121, 2019.

[44] M. Olías, J.C. Cerón y I. Fernández. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta*, 27(2):111–113, 2005.

[45] F. Méndez y J. González. Evaluación de la calidad del agua de riego usada en los cultivos de arroz de la zona alta de la meseta de la ciudad de Ibagué (Tolima, Colombia). *Tumbaga*, 1(4):73–84, 2009.

[46] J.C. Acosta G. y J.A. Salvadori V. Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados. Trabajo final de graduación para obtener el título de ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de la Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina, 2017.

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

G. Centeno, Vol. 7, Nro. 21, 73–86, mayo–agosto, 2021.

Review:

Solar Photocatalysis: A Promising Technology for the Treatment of Organic Matter and Water Disinfection

Guillermo Centeno-Bordones*

Centro de Investigaciones en Ambiente, Biología y Química, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

Recibido: junio 2021
Aceptado: agosto 2021
Autor para correspondencia: G. Centeno. e–mail: gcenteno1@uc.edu.ve
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.5722065

Abstract

The review describes *advanced oxidation processes* (AOP), based on solar photochemistry and mainly aimed at heterogeneous catalytic processes with titanium dioxide. Various databases were used in the period from 2015 to 2020, to collect the information. Initially, the work addresses the issue of photocatalysts and their mechanism of action in the AOP of organic matter. Also, the experimental conditions of the different treatment systems of the resource for human consumption using this technology are described. In addition, reference is made to its application to the treatment of natural waste, and to the disinfection of rainwater, surface and deep well water with a view to its application in communities with limited drinking water supply.
Key words: drinking water; disinfection; photocatalysis; natural organic matter; solar radiation.

Estado del arte:

Fotocatálisis solar: una tecnología prometedora para el tratamiento de materia orgánica y desinfección de aguas

Resumen

El presente artículo de revisión describe los *procesos de oxidación avanzada* (POA), basados en fotoquímica solar, orientados principalmente a los procedimientos catalíticos heterogéneos con dióxido de titanio. Para la recolección de la información se emplearon diversas bases de datos en el periodo comprendido desde 2015 al 2020. Inicialmente, el trabajo aborda la temática de los fotocalizadores y su mecanismo de acción en los POA de la materia orgánica. También, se describen las condiciones experimentales de los diferentes sistemas de tratamiento del recurso para consumo humano utilizando esta tecnología. Además, se hace referencia a su aplicación al tratamiento de los residuos naturales, y a la desinfección del agua de origen pluvial, superficial y de pozo profundo con miras a su aplicación en comunidades con limitaciones de suministro potabilizado.
Palabras claves: agua potable; desinfección; fotocatálisis; materia orgánica natural; radiación solar.

G. Centeno, Vol. 7, Nro. 21, 73–86, mayo–agosto, 2021.

1. Introducción

El agua potable es esencial e imprescindible para los seres vivos, es más bien, una necesidad, y no un producto de mercadeo, por lo que se le considera un derecho humano [1]. Los esfuerzos de los científicos por mejorar el medio ambiente y el hábitat para elevar la calidad de vida de la población, dependen fundamentalmente de la disponibilidad de manantiales de este recurso; existiendo una estrecha relación entre su cualidad y accesibilidad con la salud y el crecimiento económico [2].

Las políticas públicas de salud y las tecnologías dirigidas a mejorar los sistemas del servicio de agua potable a toda la comunidad contribuyen a una disminución de la morbilidad y la mortalidad por enfermedades entéricas, en especial los colectivos más vulnerables, como son los pediátricos y los geriátricos. Las afecciones en estos grupos etarios están directa o indirectamente relacionadas con un abastecimiento caracterizado por escasos tratamientos fisicoquímicos [3].

Actualmente, el 20 % de los habitantes en el mundo, alrededor de 1.400 millones, no tienen acceso al agua potable, y casi 4.000 millones de personas carecen de su suministro con el saneamiento adecuado, es decir, un 68 % de la población del planeta. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su informe N° A71/28 del 2018 [4], el 80 % de las enfermedades se transmiten a través de fuentes contaminadas [5].

Desde un punto de vista económico, el acceso al agua potable por todos los sectores del país es un factor importante en materia de salud [6]. Se ha comprobado que la inversión en plantas de tratamiento puede ser rentable, ya que, garantiza la prevención de las enfermedades transmitidas por esta vía, lo que influye directamente en la disminución de los costos por asistencia sanitaria [5, 7]. Además, la experiencia ha demostrado que las medidas destinadas a mejorar el suministro del preciado líquido favorecen en particular a la población más pobre, tanto de las zonas rurales como las urbanas y constituye una de las estrategias de mitigación de la pobreza [2, 8].

En un contexto técnico, el tratamiento del recurso hídrico es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de los aspectos no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales [9]. Con respecto al tema, se dispone de una tecnología que permite mejorar los procedimientos de clarificación y desinfección, conocida como, *procesos de oxidación avanzada* (POA).

El mecanismo de actuación implica la formación de radicales hidroxilo (•OH) de potencial de oxidación de 2.8 V. Su valor es mucho mayor, que el de otros oxidantes tradicionales. Estos radicales son capaces de oxidar compuestos orgánicos, principalmente por abstracción de hidrógeno o por adición electrofílica a dobles enlaces, favoreciendo la degradación de la materia orgánica considerablemente [10, 11, 12].

En el caso de los microorganismos, el oxígeno presente en los radicales (•OH) ataca la bicapa lipídica que conforma la pared externa de su célula, generando reacciones de peroxidación letales para el microbio. Los POA abarcan procesos como ozono/luz UV, H_2O_2/UV, ultrasonido, tratamientos electroquímicos, fotocatálisis y fotoquímica [13].

Una de las razones que ha hecho que los POA sean objeto de un creciente interés es la posibilidad de utilizar energía solar como fuente de radiación, con el consiguiente ahorro energético y ventajas medioambientales [14].

Adicionalmente, la fotocatálisis con dióxido de titanio (TiO_2) puede también ser utilizada como alternativa tecnológica para la desinfección primaria de agua, empleando radiación ultravioleta a 254 nm, mediante fuentes de mercurio o diodos emisores de luz [15]. Pero, los costos de instalación y mantenimiento que representa el uso de lámparas germicidas UV, en las instalaciones de tratamiento de potabilización a gran escala son elevados. Por esta razón, las investigaciones en fotocatálisis se han centrado en mejorar el rendimiento de la radiación UV emitida por el sol a fin de hacer rentable la aplicación de esta técnica.

El 7 % del total de la radiación solar corresponde al espectro UV (teniendo en cuenta que un dispositivo de emisión es diseñado para concentrar 80 veces esta cantidad) [16]. No obstante, el estudio realizado por Posso *et al.* [17] afirma en términos generales, que en varias naciones de Suramérica

existe un potencial de uso de esta fuente, que puede ser factible de aprovechamiento como energía alternativa. Se ha observado que un 80 % de los países de la región alcanzan valores promedio superiores a los 5,1 kWh/m^2, el otro restante entre 6 y 8 kWh/m^2. Por lo tanto, el uso de reactores solares representa una opción viable en el manejo de POA como la fotocatálisis en el tratamiento de desinfección primaria de aguas.

La meta de esta investigación fue realizar una búsqueda especializada en fotocatálisis solar basada en sistemas catalíticos heterogéneos con dióxido de titanio, a fin de analizar su eficiencia para la eliminación de materia orgánica natural y la desinfección de aguas destinadas al consumo humano, con la perspectiva de aplicación en ámbitos rurales y zonas con problemas de abastecimiento.

2. Marco conceptual

2.1. Fotocatalizadores

Un fotocatalizador se define como una sustancia que acelera una reacción mediante la acción directa de una fuente de emisión de radiación ultravioleta y visible (UV – visible). Hernández y Prieto [18] afirman que la fotocatálisis puede considerarse como la aceleración de una fotoreacción mediante un catalizador fotosensibilizado. En el caso de los fotocatalizadores heterogéneos, se emplean comúnmente semiconductores (sólidos tipo óxido en suspensión acuosa o gaseosa). Existen múltiples fotosensibilizadores tales como: Al_2O_3, ZnO, Fe_2O_3, CuO, MnO y TiO_2, además, de compositos como Ag–BiVO4 y *perovskita* entre otros [10, 19].

Este tipo de catalizadores tipo óxidos permiten la fotocatálisis heterogénea, que según Castillo [20] es un proceso que se basa en la absorción directa o indirecta de energía radiante de tipo UV – visible, por un sólido semiconductor de banda ancha, es decir, un material con valor de energía de activación mayor respecto a otros materiales; el cual modifica la velocidad de reacción química sin verse involucrado. Adicionalmente, se debe mencionar la presencia fundamental de O_2, debido a que sin su intervención se nota una supresión casi total de la actividad fotocatalítica del material [21, 22].

Clasificación y propiedades

Los semiconductores tipo óxido se pueden dividir en tres grupos con respecto al electrodo normal de hidrógeno (ENH) [10].

- *Reductivos*. Pueden producir la reducción del agua y generar H_2, sin embargo su potencial de oxidación es muy débil para oxidarla, como ejemplos se tienen: CdTe, CdSe y Si.
- *Redox*. En este caso existe la posibilidad de oxidar y reducir el agua, como por ejemplo: CdS, $SrTiO_3$, TiO_2, ZnO, Nb_2O_5.
- *Oxidativos*. Tienen la capacidad de oxidar el agua y generar O_2, ya que la banda de valencia está localizada a un potencial energético suficientemente negativo.

Las propiedades de los fotocatalizadores heterogéneos permiten que las reacciones de óxido-reducción transcurran en la superficie del catalizador, bien sea en una interface de tipo líquido-sólido o gas-sólido, generando radicales libres de oxígeno; facilitando la degradación e incluso la mineralización, de una gran variedad de compuestos orgánicos. En esta clase de reacciones, las condiciones de reacción son muy importantes, porque van a determinar la especiación en la que se encuentra el catalizador y la sustancia a oxidar, por lo que controlar los parámetros de temperatura, pH, tamaño de partícula, concentración del oxidante; es altamente relevante para las reacciones redox orgánicas [10].

Fotocatálisis con dióxido de titanio

La fotocatálisis heterogénea implica la combinación de la fotoquímica con la catálisis. Tanto la luz como el catalizador son necesarios para alcanzar o acelerar una reacción química. En el caso de la fotocatálisis heterogénea, se emplean semiconductores sólidos en suspensión acuosa o gaseosa. El fotosensibilizador más ampliamente usado es el dióxido de titanio TiO_2 *Degussa P25* (nombre comercial), conformado por 99 % de anatasa y 1 % de rutilo. También, se tiene la especie formada por anatasa en un 70 % y por rutilo en un 30 %. Ambos compuestos presentan una alta actividad fotocatalítica; son estables en soluciones acuosas con costos asequibles y baja toxicidad [23]–[26].

Mecanismo de reacción

El proceso de fotocatálisis heterogénea sobre el TiO_2 se basa principalmente, en la iluminación del semiconductor de estructura cristalina (anatasa y rutilo) excitable con luz UV de mayor energía que la de su banda prohibida (Eg); La Eg anatasa TiO_2 tiene un valor de 3,2 eV y la de rutilo TiO_2 de 3,0 eV; los cuales corresponden a longitudes de onda del espectro UV (200 a 400 nm) lo que hace posible la promoción de un electrón (e^-) desde la banda de valencia (*bv*) hacia la banda de conducción (*bc*), dejando un *hueco positivo* (h^+) en la *bv*. Estos portadores de carga, electrón (-) y el hueco (+), pueden migrar hacia la superficie del semiconductor, quedando atrapados sobre las irregularidades de la superficie, reaccionando bien sea con un aceptor o donador apropiado de electrones, ver la Ecuación (1). Existe también la posibilidad que estos portadores de carga puedan recombinarse entre sí disipando el exceso de energía en forma de calor, según Nevárez *et al.* [21] y Centeno *et al.* [10].

$$TiO_2 + hv \rightarrow e^-_{bc} + h^+_{bv}. \quad (1)$$

Los huecos pueden ser atrapados por grupos hidroxilo o moléculas de agua adsorbidas en la superficie, produciendo radicales OH°, Ecuaciones (2) y (3), que poseen un potencial oxidativo alto (∼1.7 mV) y son altamente reactivos con la materia orgánica y tóxicos para los microorganismos, ver Ecuaciones (4) y (5), según Nam *et al.* [27] y Nevárez *et al.* [21].

$$h^+_{bv} + H_2O \rightarrow H^+ + OH^\circ. \quad (2)$$

$$h^+_{bv} + OH^\circ \rightarrow OH^\circ. \quad (3)$$

$$SusOrg/morg + OH^\circ \rightarrow ProdDegr, \quad (4)$$

$$SusOrg/morg + h^+_{bv} \rightarrow ProdDegr, \quad (5)$$

donde *SusOrg* representa a las *Sustancias orgánicas*, *morg* a los *microorganismos* y *ProdDegr* a los *Productos de degradación*.

Actualmente se reconoce que los defectos por vacancias de oxígeno en la superficie del TiO_2 juegan un papel esencial en la adsorción de O_2; la superficie del semiconductor tiene irregularidades que atrapan a los electrones foto-promovidos a la banca de conducción, lo que conlleva a la formación de radicales superóxido ($\bullet O_2$), los cuales en medio acuoso y ligeramente ácido tienden a dismutarse para generar peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que actuará también como aceptor de electrones foto-excitados para finalmente producir radicales OH°, tal como lo afirma Izquierdo [28].

3. Procedimientos fotocatalíticos para el de tratamiento de la materia orgánica natural

La materia orgánica natural (*MON*) (en inglés, *Natural Organic Matter*, *NOM*) deriva de la descomposición de residuos vegetales, animales y la actividad microbiana. Su presencia es común en las aguas superficiales y subterráneas, no representa una amenaza directa para la salud humana. No obstante, puede inducir la formación de otras especies químicas (carcinogénicas y mutagénicas entre otras), cuando entra en contacto con agentes oxidantes como el cloro durante el proceso de desinfección [29, 30]. La estrategia más común para la mitigación de la MON es la coagulación mejorada o ablandamiento con carbón activado granular (*CAG*), o filtración por membrana [9]. Esta práctica es a menudo suficiente para controlarla; sin embargo, también se ha investigado que los POA pueden ser altamente efectivos para su disminución.

3.1. Fotocatálisis utilizando dióxido de titanio con baja energía

Mayer *et al.* [31] evaluaron un procedimiento dirigido a reducir el contenido de contaminantes macro y micro orgánicos naturales utilizando fotocatálisis de dióxido de titanio con baja energía. Los aportes de energía de 1, 2 y 5 kWh/m^3 dieron como resultado la oxidación incompleta de la materia natural macro-orgánica. La tasa de eliminación a 254 nm fue tres veces mayor para la degradación del carbono orgánico disuelto (por sus siglas en inglés, *DOC*).

La metodología empleada mejoró la operación de los procesos de filtración. A 2 kWh/m^3, se observó un aumento de la vida útil del filtro de CAG,

pasando a un rendimiento de 340 % en relación con el pretratamiento de filtración directa. Asimismo, la técnica fotocatalítica actúa disminuyendo la saturación del dispositivo de filtrado. Lo que resultó en tiempos de funcionamiento más largos. Igualmente, los niveles de DOC en el permeado de la membrana se optimizaron notablemente [31].

La fotocatálisis de baja energía no garantiza la eliminación de estrógenos complejos en medios acuosos, más allá de los niveles alcanzados mediante el empleo de fotólisis únicamente. Por esta razón, mientras más altas sean las entradas de energía UV, más elevados serán los niveles de eliminación de materia orgánica microcontaminante. En el caso de las especies macro-orgánicas el proceso también mejora considerablemente [31, 32].

3.2. Fotocatálisis empleando carbón activado modificado con dióxido de titanio

La presencia de sustancias húmicas en el agua es potencialmente peligrosa porque se consideran los principales precursores de los subproductos de desinfección (*SPD*), especialmente de trihalometanos (*THM*), formados durante el paso de cloración para alcanzar su potabilización [33]. La presencia de ácidos húmicos (*AH*) en el sistema de distribución favorece a las bacterias y su crecimiento en la red de abastecimiento, que puede conducir a graves problemas sanitarios. Los procesos habituales de tratamiento que implican filtración de arena, sedimentación y coagulación, generalmente son capaces de eliminar entre el 20 % y el 50 % de estas especies, lo que implica altos costos de operación y posible contaminación secundaria tóxica [33].

Orha *et al.* [34] investigaron el uso de carbón activado modificado con dióxido de titanio para el tratamiento avanzado de potabilización. En el estudio se modificó el carbón activado granular con anatasa. El compuesto (CAG - TiO_2) fue sintetizado por el método hidrotermal asistido por microondas y caracterizado morfo-estructuralmente. Posteriormente, los autores emplearon para la degradación y mineralización de los AH en aguas superficiales mediante fotocatálisis bajo radiación UV – visible. Su acción se comparó con el proceso de sorción tradicional.

La optimización de las condiciones de trabajo para su actividad fotocatalítica fueron alcanzadas a un pH de 7 con una dosis de catalizador de 1 $g.L^{-1}$ para concentraciones entre 10 ppm y 25 ppm de las especies húmicas[33, 34].

También, la capacidad de reuso del material fue verificada. Los resultados muestran un nuevo sistema de filtrado para el tratamiento del agua potable, con propiedades sorbentes y autolimpiantes altamente satisfactorias [34].

3.3. Fotocatálisis con TiO_2-SiO_2

La crisis ambiental global y su influencia en las fuentes naturales evidencian el efecto que tienen las altas temperaturas y los largos períodos de sequía, resultando en la anoxia hipolimnética en lagos y embalses de forma generalizada; evento que conduce a la liberación de fósforo sedimentario, causando floraciones de algas no deseadas [35]. Los materiales orgánicos naturales que aportan sabor y olor son producidos principalmente por formación de cianobacterias como metabolitos secundarios [36].

El umbral del olor esta en el rango de los ng L^{-1}, lo que hace difícil su eliminación efectiva del agua potable. Los estudios demuestran que la mayoría de los compuestos característicos son resistentes a técnicas convencionales como coagulación, sedimentación y filtración para el proceso de potabilización, especialmente a muy bajas concentraciones [9].

La literatura reporta escasos métodos eficaces para eliminarlos a niveles tan bajos [37]. Los oxidantes como Cl_2, ClO_2 y $KMnO_4$ han demostrado ser ineficientes en la degradación de estas especies debido a la resistencia de los alcoholes terciarios a la etapa de oxidación [38]. También, se ha empleado la filtración con carbón activado granular, arena y alumbre durante el proceso de coagulación, pero con resultados infructuosos en la mayoría de los casos [39].

Entre los compuestos orgánicos más comunes producidos por microorganismos en las aguas superficiales se encuentran el 2-metil isoborneol (*MIB*; umbral de olor 15 ng L^{-1})y la geosmina (*GSM*; umbral de olor 4 ng L^{-1}). El MIB es un terpenoide producido por las cianobacterianas, *actinomicetos*, *oscillatoria* y *phormidium*. La GSM es un alcohol terciario bicíclico producido

por *oscillatoria*, *anabaena*, *lyngbya*, *symploca* y *actinomicetos* [40, 41].

Yaparatne *et al.* [42] investigarón la fotodegradación de compuestos típicos del sabor y el olor en presencia de fotocatalizadores de TiO_2-SiO_2 inmovilizados. El experimento se realizó irradiando soluciones acuosas que contenían MIB y GSM con una fuente desde 350 nm a 400 nm, logrando la generación de radicales hidroxilo (•OH), como producto de la actividad del fotocatalizador. Los resultados obtenidos muestran que las películas del catalizador modificado tienen la capacidad de fotodegradar las especies tratadas más eficientemente que el procedimiento con radiación UV – visible solamente. Estas películas catalizadoras pueden usarse para potenciar el efecto de irradiación UV solar, mejorando los sistemas de desinfección para la eliminación de las sustancias estudiadas y otros contaminantes orgánicos en instalaciones de tratamiento de agua potable [43].

4. Desinfección fotocatalítica de aguas pluviales

4.1. Cualidades

La calidad del agua de lluvia o pluvial es implícitamente mejor debido a su composición, ya que a diferencia de las superficiales, no están expuestas constantemente a agentes contaminantes [15, 44].

Si está bien tratada en cuanto a su recolección, distribución y almacenamiento puede ser empleada directamente para algunas funciones domésticas como: aseo sanitario, labores de lavado, limpieza de pisos, inodoros y riego de jardines. Así como también, para diferentes usos comerciales e industriales [45].

Para potabilizarla, se deben realizar purificaciones y desinfecciones más especializadas. Sin embargo, ello representaría un gasto adicional dependiendo del tipo de sistema de purificación que se decida implementar [15, 44, 45].

4.2. Sistema de purificación empleando nanofotocatálisis

Betancur *et al.* [46] comprobaron la purificación del agua de lluvia en un reactor de fotocatálisis heterogénea nanoestructurado. Los investigadores demostraron que mediante la aplicación de técnicas nanofotocatáliticas se pueden generar especies reactivas de oxígeno (•OH, $•O_2$), las cuales degradan contaminantes orgánicos y eliminan microorganismos en el recurso pluvial.

El POA para la purificación del agua de lluvia recolectada y almacenada fue evaluado durante 5 años. Se utilizó un fotorreactor con nano-TiO_2/UVvisible/aire, en un lapso de tiempo de 15 min de tratamiento; posteriormente, los coliformes totales y *E. coli* fueron eliminados completamente [47].

Además, se obtuvo una disminución en la demanda química de oxígeno (DQO) de 44 a 39 mg/L; carbono orgánico total (COT) de 0,7588 a 0,4834 mg/L y de nitrógeno total (NT) de 6,2029 a 4,7385 mg/L. El estudio comprobó que el sistema de nanofotocatálisis es factible para el proceso de potabilizar aguas meteóricas, convirtiéndose en una tecnología alternativa de ser implementada en zonas rurales y de poco acceso a fuentes hídricas [46, 47].

4.3. Sistema de desinfección con fotocatálisis solar empleando dióxido de titanio

Agudelo *et al.* [15] comprobaron que la aplicación de la fotocatálisis heterogénea para la desinfección del agua de lluvia es efectiva utilizando radiación solar. La metodología se propone como una alternativa de potencial implementación y operación, porque busca el aprovechamiento de la radiación solar y las altas temperaturas haciéndola apta para emplearla en múltiples localidades, principalmente donde existan fuentes de abastecimiento pluvial que presenten bajos niveles de turbiedad.

Para verificar la efectividad de la técnica, se dispuso de una unidad compuesta por un sistema de captación de aguas de lluvias, un filtro lento de arena y un sistema de desinfección solar por fotocatálisis, que emplea como catalizador dióxido de titanio en forma de anatasa 99 % en un lecho fijo. La caracterización inicial del afluente mostró valores de turbiedad de 3,29 UNT; pH de 6,4 y presencia de coliformes. Posteriormente, la eliminación de los microorganismos se hizo efectiva

en días con índices de radiación por encima de longitudes de onda de 315 a 400 nm, con clima soleados o parcialmente nublados y medidas de turbidez de 4,00 UNT. La eficiencia del proceso se reflejó en 60 % de remoción de la turbiedad y 100 % de eliminación de coliformes [15]. En base a los resultados obtenidos, el producto pluvial fototratado puede destinarse a usos domésticos, incluyendo el consumo humano en regiones rurales aisladas.

4.4. Consideraciones de la aplicación de la fotocatálisis a las aguas de lluvia

El sistema de tratamiento de fotocatálisis solar solo es eficiente, si la turbiedad del agua es baja; medidas altas de este parámetro impiden la actuación efectiva de los rayos ultravioleta con el fotocatalizador dióxido de titanio [15, 48].

La tecnología depende de las condiciones meteorológicas y climatológicas de la zona donde se implemente el proyecto. Las variables más importantes a tener en cuenta inicialmente son la radiación, la turbiedad, la presencia de coliformes y la temperatura; ya que determinan el diseño de las unidades de captación de agua lluvia, el tratamiento de filtración aplicado y la eficiencia de la desinfección solar. Los materiales adecuados para cada una de las etapas del tratamiento son filtro lento de arena para la carga hidráulica y la turbidez; equipo construido con vidrio Pyrex de cuarzo (100 % de transmitancia) para la incidencia de la radiación; tubo negro y tapa en acrílico para mejorar la absorción de calor (temperatura); y sistema de desinfección por fotocatálisis solar heterogénea con catalizador de dióxido de titanio para el tratamiento de los coliformes [45].

El proceso de desinfección por la fotocatálisis solar heterogénea, da lugar a la generación de radicales •OH en la superficie del fotocatalizador, que aunado a la absorción directa de la radiación UV por los microorganismos promueve la inactivación celular dando lugar a su eliminación [15, 49].

La implementación de un sistema de tratamiento constituido por filtración y desinfección por fotocatálisis solar, para un afluente producto de la captura de aguas de lluvia, puede contribuir significativamente en disminuir la carencia del recurso en una zona de poco acceso al suministro potabilizado; no obstante, si el lugar donde se desea implementar el equipo piloto no cuenta con alta probabilidad de precipitación, se puede buscar otra fuente con bajos niveles de turbiedad para tratarla [15, 48].

El análisis de la etapa de filtración permitió evidenciar que a mayor carga hidráulica, menor eficiencia en cuanto a remoción de turbiedad, factor que influye en el paso de la radiación [46].

5. Desinfección primaria con fotocatálisis solar

En numerosas ocasiones el agua que llega a las viviendas de muchas comunidades rurales proviene de manantiales, ríos, arroyos, ojos de agua, pozos profundos u otros tipos de fuentes naturales casi siempre expuestas a contaminación [50], por lo que se tiene la necesidad de un sistema para su desinfección que sea barato y accesible para reducir la incidencia de las enfermedades transmitidas por esta vía.

5.1. Desinfección solar del agua (SODIS)

El proceso de desinfección solar del agua (por sus siglas en inglés, SODIS) es una tecnología simple, económica y ecológica empleada para mejorar su calidad microbiológica y adaptarla para el consumo humano. Es un tratamiento ideal para pequeños volúmenes y emplea botellas plásticas de tereftalato de polietileno (PET). Los recipientes son expuestos a la luz solar por seis horas, lo que causa un efecto de inactivación en los microorganismos por exposición a la radiación infrarroja y ultravioleta A (UVA, entre 340 y 400 nm). El procedimiento requiere que la turbiedad sea menor a 30 UNT [51].

5.2. Desinfección fotocatalítica – SODIS

Una variación del procedimiento SODIS es la incorporación de un fotocalizador como el dióxido de titanio. Rico *et al.* [52] mejoraron el proceso utilizando un reactor solar fabricado de vidrio Pyrex (borosilicato con 80 % de transmitancia de radiación UV) en forma de botella con TiO_2 inmovilizado en sus paredes, donde se llevó a

cabo la desinfección oxidativa solar. Los resultados comparados con la técnica SODIS no modificada muestran la reducción de la exposición a la radiación solar de seis a dos horas, lo que representa un 66,67 % de ahorro en términos de tiempo de operación; además, se incrementó la eficiencia para la inactivación de coliformes totales y fecales en un 100 %, garantizándose también, que durante un periodo de almacenamiento de siete días no hay recrecimiento de estas especies. La Figura 1 ilustra el montaje del equipo empleado.

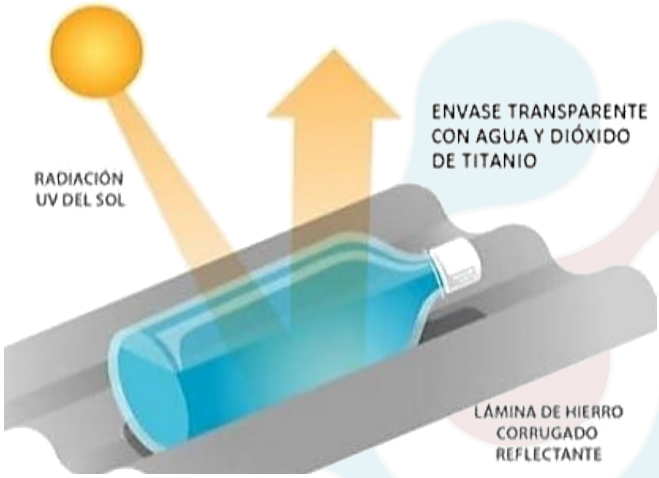


Figura 1: Arreglo experimental para desinfección solar de agua TiO_2 – SODIS.

Fuentes: Rico *et al.* [52] y Porley *et al.* [53].

La tecnología desarrollada se considera accesible y ambientalmente sostenible; el agua obtenida es apta para el consumo humano a nivel doméstico y puede ser implementada donde no hay acceso a la potabilizada [52, 53].

6. Desinfección secundaria con fotocatálisis solar

La inactivación química de los contaminantes microbiológicos presentes en la fuente natural es normalmente uno de los pasos finales de su purificación para reducir los microorganismos patógenos. La combinación de diferentes técnicas fisicoquímicas para la potabilización del agua, bien sea, de origen superficial o de pozo profundo tiene como finalidad brindar un suministro seguro para la salud.

6.1. Desinfección secundaria convencional

Como medida adicional, en muchas plantas potabilizadoras utilizan un método secundario de desinfección, para evitar y proteger el suministro, de la contaminación biológica que pudiera producirse en la etapa de repartición a los consumidores [38]. Normalmente, se utiliza un tipo de desinfectante diferente al que se empleó durante el proceso de purificación primaria. El tratamiento secundario de desinfección se realiza comúnmente con cloro, y su aplicación asegura que las bacterias no se multipliquen en la red de distribución y tanques de almacenamiento.

El procedimiento es necesario, ya que los microorganismos pueden permanecer en el agua a pesar de estar sometida a una desinfección previa, o aparecer posteriormente, como consecuencia de retrolavados, o por mezcla con reservorios contaminados (ejemplo, por inclusión de microbios procedentes de los acuíferos subterráneos, que se introducen debido a grietas en el sistema de tuberías) [54].

La destrucción de los microorganismos se produce por la corrosión de su pared celular, lo que provoca cambios en la actividad del protoplasma celular o enzimático, impidiendo su multiplicación. Los desinfectantes también provocan la oxidación y destrucción de la materia orgánica que es generalmente su nutriente y fuente de alimentación [55].

6.2. Potencial de desinfección de TiO_2

Rosales[56] aplicó desinfección primaria mediante fotocatálisis a base de TiO_2 para tratar microbios en medios acuosos. Su trabajo demostró que el fotocatalizador tiene un gran capacidad para la desinfección e inactivación de patógenos nocivos como *Escherichia coli*. Su poder desinfectante se fundamenta en la generación superficial de especies reactivas de oxígeno (ROS), así como la libre formación de iones metálicos. El autor también expuso que el rendimiento puede ser significativamente mejorado a través de modificaciones en la estructura del material.

Los resultados de las investigaciones concuerdan, que el papel principal del radical hidroxilo es oxidar los componentes externos de la pared celular del microorganismo, seguido por la formación de poros en la membrana citoplasmática y finalmente, el ataque directo de los componentes intracelulares, lo que da como resultado la pérdida de su vitalidad [57, 58, 59].

A diferencia del cloro, la fotocatálisis con TiO_2 no tiene efecto residual [57]. Tras la fotoexcitación del catalizador se forman en la interfaz de la solución y en las partículas semiconductoras radicales hidroxilo (•OH), que según la literatura, es el ion responsable de la inactivación de los microorganismos. Otras especies pueden contribuir en este proceso biocida, como es el caso de los radicales: superóxido ($\bullet O_2$), hidroperoxilo ($\bullet O_2H$) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) [58, 59].

6.3. Material fotocatalítico a base de TiO_2–RGO

Diversos materiales compuestos con TiO_2 han sido empleados en aguas para la desactivación de una amplia gama de microbianos perjudiciales para el ambiente y el ser humano (bacterias, hongos, algas y virus). La energía radiante artificial y natural se emplea para fotoactivar partículas de TiO_2 y nanoTiO_2 bien sea suspendidas o inmovilizadas contra una gran cantidad de microorganismos acuáticos como células bacterianas (*escherichia coli*, *enterococcus faecalis*, coliformes totales, *salmonella*, *seudomonas*) [54]. Partículas virales (fago MS2, ARN, bacteriófagos, phiX-17) [43], esporas de bacterias y hongos (*bacillussubtillis*, *Fusarium*, *candidaalbicans*, *aspergilllusniger*, *phytophthora*) y parásitos acuáticos [14].

Investigaciones recientes de desinfección con TiO_2 se centran en microorganismos más resistentes como *bacillus spp.*, y esporas de *cryptosporidium*, *clostridium*, *ántrax*, entre otros [57].

El uso de nuevos materiales para fotocatalizadores con fotoactividad en el rango visible tiene un gran interés por las aplicaciones con radiación solar. Un ejemplo reciente es el dióxido de titanio con óxido de grafeno reducido (TiO_2–RGO). El compuesto ha demostrado mejorar la eficiencia fotocatalítica en esa región del espectro electromagnético para la inactivación bacteriana y fúngica en comparación con TiO_2 comercial. La alta actividad de TiO_2–RGO se atribuyó a la producción de oxígeno singlete, causada por la excitación por la fuente de luz, conduciendo a la inactivación de *E. coli*; mientras que las esporas de *dusarium* permanecieron resistentes. La membrana de la célula del microorganismo es el objetivo probable para el oxidante (oxígeno singlete) que causa la pérdida de viabilidad celular. Otros estudios con fotosensibilizadores activos en la misma zona de radiación, demostraron que la generación de oxígeno singlete puede inactivar el *E. coli* y *deinococcus radiodurans* para la desinfección primaria de agua potable [57, 60, 61].

6.4. Influencia de la forma y tamaño de las partículas del fotocatalizador

La eficacia de las reacciones fotocatalíticas dependen del material, composición y estructura superficial, pero también de la configuración del catalizador en el reactor, este factor puede alterar significativamente el rendimiento del proceso [57].

La morfología de las nanopartículas del fotocatalizador también puede ser objeto de estudio durante la desinfección fotocatalítica. Malato *et al.* [57] investigaron cuatro formas y tamaños presentes en el dióxido de titanio, nanotubos (NT), nanoplacas (NPL), nanorods (NR) y nanoesferas (NS) para la inactivación de esporas de *F. solani* en agua. Los resultados demostraron que el tratamiento fotocatalítico solar aplicado a las esporas está relacionado con la exposición de las facetas de TiO_2; descubriendo que las NS tienen la mejor actividad de desinfección y eficiencia con respecto a las otras formas.

6.5. Maneras de empleo del dióxido de titanio

Hay dos formas de usar el TiO_2 para purificar el agua: una como partículas suspendidas; y la otra inmovilizado en una superficie apropiada. Los soportes que se usen para tal fin deben ser resistentes a los procedimientos fotocatalíticos y

también a las condiciones hidrodinámicas (flujo y presión) del foto-reactor durante el proceso [62].

El empleo de un tipo u otro de configuración está determinado por la solicitud o necesidad detectada. Si el sistema está diseñado para acondicionar el agua para consumo humano, el uso de partículas de TiO_2 suspendidas puede no ser aceptable debido a los posibles efectos tóxicos de los nanomateriales. Por lo tanto, las partículas del fotocatalizador tendrían que eliminarse por filtración antes de su consumo [62].

Para evitar este problema, se puede utilizar el TiO_2 soportado en el vidrio, plástico o cualquier otro material, pero esto resultará en una disminución de la eficiencia de la desinfección o en arreglos fotocatalíticos más complejos y por ende con mayores costos de ejecución [57, 63, 64].

7. Conclusiones

La fotocatálisis solar es considerada una tecnología sustentable energéticamente, que permite la disminución de la materia orgánica natural y la eliminación de microorganismos patógenos. Es una opción factible de ser aplicada en poblaciones rurales o de difícil acceso al agua potable. Mediante la implementación de la técnica se pueden realizar los procesos de clarificación y desinfección en las fuentes hídricas accesibles para los habitantes de la zona, a fin de asegurar su calidad para el consumo humano y otros usos domésticos.

Referencias

[1] J. González G. *El acceso al agua potable como derecho humano, Su dimensión internacional.* Editorial Club Universitario, San José, Alicante, España, 2015.

[2] J.A. Villena Ch. Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2):304–308, 2018.

[3] E.A. Vega A. Enfermedad de transmisión digestiva y factores riesgo. Aplicación de un método de evaluación rápida. *Gaceta Médica Espirituana*, 9(2):11–26, 2017.

[4] OMS. Informe sobre los resultados de la OMS: presupuesto por programas 2016-2017. Informe A71/28, Organización Mundial de la Salud, París, 2018.

[5] A. Mejía B., O. Castillo y R. Vera. Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina. Resumen ejecutivo, CAF, Banco de Desarrollo de América Latina, Bogotá, 2016.

[6] G. Correa-A. Acceso al agua, pobreza y desarrollo en Colombia. *Revista de la Universidad de la Salle*, 72:27–46, 2017.

[7] P. Bohorquez-A. Aplicación de la metodología costo beneficio para la evaluación económica de proyectos de plantas de tratamiento de agua potable – Camaná. Trabajo de grado de maestría, Unidad de Posgrado de la Facultad de Administración, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2019.

[8] E. Segura-S. Estudio de nuevos fotocatalizadores para la obtención de combustibles solares. Tesis de máster universitario en ingeniería química, Departamento de Química, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2017.

[9] E. Salamanca. Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Modulo Arquitectura CUC*, 17:29–48, 2016.

[10] G. Centeno-B. y Y. Jiménez. Uso de lodos rojos como catalizador en los procesos de oxidación avanzada: una aproximación al estado del arte. *Tekhné*, 21(4):26–40, 2018.

[11] M. Sillanpää, M. Ncibi, and A. Matilainen. Advanced Oxidation Processes for the Removal of Natural Organic Matter from Drinking Water Sources: A Comprehensive Review. *Journal of Environmental Management*, 208:56–76, 2018.

[12] C. Remucal and D. Manley. Emerging Investigators Series: The Efficacy of Chlorine Photolysis as an Advanced Oxidation Process for Drinking Water Treatment. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2(4):565–579, 2016.

[13] M.I. Stefan. *Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: Fundamentals and Applications*. IWA publishing, Londres, II edition, 2017.

[14] Y. Aguas, M. Hincapie, P. Fernández-I., and M.I. Polo-L. Solar Photocatalytic Disinfection of Agricultural Pathogenic Fungi (*Curvularia Sp.*) in Real Urban Wastewater. *Science of the Total Environment*, 607:1213–1224, 2017.

[15] A.C. Agudelo, C.A. Terranova y J.P. Alcantara. Evaluación de un sistema de fotocatálisis heterogénea y pasteurización para desinfección de aguas lluvias. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(1):117–134, 2018.

[16] S. González-L. y K. Pinto-A. Incidencia de la radiación solar, rayos UV y temperatura, en el crecimiento de coliformes totales y fecales en arena de playa puerto mocho en la ciudad de Barranquilla. Trabajo de Grado de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Departamento de Civil y Ambiental, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia, 2018.

[17] J. Posso, F. González, H. Guerra y H. Gómez. Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica. *Revista Geográfica Venezolana*, 55:27–43, 2014.

[18] M. Hernández-L. y G. Prieto-S. El papel de la fotocatálisis en la protección ambiental y química verde. *Investigación Joven*, 4(1):40–44, 2017.

[19] L. Lerici, C. Femanelli, E. Diguilio, L. Pierella y C. Saux. Síntesis y caracterización de fotocatalizadores de hierro soportado sobre zeolitas microporosas. *Revista Matéria*, 23(2), 2018.

[20] A. Ungria-C. Regeneración de aguas depuradas mediante fotocatálisis heterogénea con dióxido de titanio: Análisis de variables influyentes. Trabajo de Grado de Ingeniería, Área de Tecnologías del Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente, Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, 2016.

[21] M.C. Nevárez-M., P.J. Espinoza-M., F. J. Quiroz-C. y B. Ohtani. Fotocatálisis: inicio, actualidad y perspectivas a través del TiO_2. *Avances en Química*, 12(2–3):45–59, 2017.

[22] T. Su, Q. Shao, Z. Qin, Z. Guo, and Z. Wu. Role of Interfaces in Two-Dimensional Photocatalyst for Water Splitting. *ACS Catalysis*, 8(3):2253–2276, 2018.

[23] W. Vallejo, C. Díaz-U., K. Navarro, R. Valle, J. Arboleda y E. Romero. Estudio de la actividad antimicrobiana de películas delgadas de dióxido de titanio modificado con plata. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(154):69–74, 2016.

[24] A. Loaiza, C. Segura, I. Sierra y L. Portela. Evaluación del efecto de la temperatura de calcinación sobre la actividad fotocatalítica de cinco marcas de dióxido de titanio comerciales en la degradación de azul de metileno en presencia de radiación UV. En Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI. Bogotá Colombia, 2016.

[25] V. Mendoza-E., E. Castaño-G., Á. González-G. y R. González-H. Efectos de intercambio y correlación en las propiedades estructurales y electrónicas del TiO_2 en la fase rutilo. *Ciencia en Desarrollo*, 8(1):161–168, 2017.

[26] B. Barber-N. Estudio de la degradación fotocatalítica de naftaleno mediante compositos de óxido de cerio-dióxido de titanio P25. Proyecto de investigación para optar al título de Ingeniero, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, 2018.

[27] S. Nam, H. Cho, J. Han, N. Her, and J. Yoon. Photocatalytic Degradation of Acesulfame K: Optimization Using the Box–behnken Design (Bbd). *Process Safety and Environmental Protection*, 113:10–21, 2018.

[28] M. Izquierdo. Fotocatálisis: nanomateriales para combatir la contaminación y obtener energía. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, 42:9–11, 2016.

[29] M. Lemus-P. *Reacción del cloro con sustancias exopoliméricas provenientes de biopelículas de agua potable-subproductos de desinfección, características y toxicidad*. Tesis doctoral, Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, 2017.

[30] R. Sánchez-P. y K. García-G. Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1):103–111, 2018.

[31] B.K. Mayer, C. Johnson, Y. Yang, N. Wellenstein, E. Maher, and P.J. McNamara. From Micro to Macro-Contaminants: The Impact of Low-Energy Titanium Dioxide Photocatalysis Followed by Filtration on the Mitigation of Drinking Water Organics. *Chemosphere*, 217:111–121, 2019.

[32] E. Rodríguez. *Eliminación de microcontaminantes orgánicos presentes en aguas residuales urbanas mediante MBR combinado con oxidación avanzada y con filtración por membranas*. Tesis doctoral, Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante, Alicante, España, 2018.

[33] J. Gramage-D. Utilización de sustancias tipo húmicas para un proceso de eliminación de contaminantes por membranas-tratamiento fotoquímico. Trabajo de fin de carrera, Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València, Valencia, España, 2018.

[34] C. Orha, R. Pode, F. Manea, C. Lazau, and C. Bandas. Titanium Dioxide-Modified Activated Carbon for Advanced Drinking Water Treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 108:26–33, 2017.

[35] R. Bazán, M. García, J. M. Lozada, M. L. Chalimond, H. Herrero, M. Bonansea y A. Cossavella. Estudio multidisciplinario e interinstitucional de dos fuentes principales de agua potable para la Provincia de Córdoba. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 5:57–64, 2018.

[36] E.A. Cantoral-U., A.D. Asencio-M. y M. Aboal-S. Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención. *Hidrobiológica*, 27(2):241–251, 2017.

[37] A. Arellano y V. Lindao. Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo del agua embotellada. *Novasinergia*, 2(1):15–23, 2019.

[38] A. Campos y P. Vargas. Análisis técnico y ambiental de una planta de tratamiento compacta de agua potable en Villarrica-Tolima. *Boletín Semillas Ambientales*, 13(1):40–51, 2019.

[39] S. Torres-S., I. Tapia-C., L. Goetschel-G. y E. Pazmiño-S. Análisis físico-químico e influencia de los minerales disueltos en el sabor del agua potable, de las principales plantas de tratamiento de Quito. *Enfoque UTE*, 11(4):57–70, 2020.

[40] A. Gamón-O. Estudio de la problemática organoléptica en aguas potables asociadas a proliferaciones de algas en las fuentes de abastecimiento. Aplicación al caso de la ETAP el Realón en Picassent (Valencia). Trabajo de fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de València, Valencia, España, 2017.

[41] L. Rossel-B., R. Bernedo, L. Alberth, F. Mayhua, A. Ferro-G. y R.R. Zapana-Q. Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1):68–77, 2020.

[42] S. Yaparatne, C. Tripp, and A. Amirbahman. Photodegradation of Taste and Odor Compounds in Water in the Presence of Immo-

bilized TiO_2-SiO_2 Photocatalysts. *Journal of Hazardous Materials*, 346:208–217, 2018.

[43] A. De la Cruz y D. Murcia. Eliminación de *E. coli* y *Pseudomona aeruginosa* de agua potable usando sistema de desinfección con luz ultravioleta y óxido de titanio. *Centros: Revista Científica Universitaria*, 8(1):87–100, 2019.

[44] A. Costa-C., M.R. Gomes y P.M. Anco-E. Calidad de las aguas meteóricas en la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, 9(2):336–346, 2015.

[45] M. Waso, S. Khan, A. Singh, S. McMichael, W. Ahmed, P. Fernandez-I., and W. Khan. Predatory Bacteria in Combination With Solar Disinfection and Solar Photocatalysis for the Treatment of Rainwater. *Water research*, 169:115–281, 2020.

[46] C. Betancur-H., V. Hernández-Mo. y R. Buitrago-S. Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(4):387–402, 2016.

[47] N.A.B Ab A., P. Palaniandy, H. Abdul A., and D.A.D Aljuboury. Use of Photocatalysis for Conversion of Harvested Rainwater as an Alternative Source Into Drinking Water. *Global Nest Journal*, 20(2):243–256, 2018.

[48] K. Omar, N. Aziz, S. Amr, and P. Palaniandy. Removal of Lindane and *Escherichia Coli* (*E. Coli*) From Rainwater Using Photocatalytic and Adsorption Treatment Processes. *Global Nest Journal*, 19(2):191–198, 2017.

[49] S. Saran, P. Arunkumar, and S. Devipriya. Disinfection of Roof Harvested Rainwater for Potable Purpose Using Pilot-Scale Solar Photocatalytic Fixed Bed Tubular Reactor. *Water Science and Technology: Water Supply*, 18(1):48–59, 2018.

[50] I. Ramírez y E. Muñoz. Adsorbentes y materiales utilizados para filtración y reducción de contaminantes en aguas potables. *Ciencia, Innovación y Tecnología*, 3:51–61, 2017.

[51] M.B. Keogh, K. Elmusharaf, P. Borde, and K.G. McGuigan. Evaluation of the Natural Coagulant *Moringa oleifera* as a Pretreatment for SODIS in Contaminated Turbid Water. *Solar energy*, 158:448–454, 2017.

[52] C. Rico, F. Dávila, F. Arredondo y L. García. Desinfección foto-catalítica del agua para consumo humano usando luz solar y dióxido de titanio (TiO_2) inmovilizado. Nota Técnica, Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental, Facultad de Química e Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, 2018.

[53] V. Porley, E. Chatzisymeon, B. Meikap, S. Ghosal, and N.Robertson. Field Testing of Low-Cost Titania-Based Photocatalysts for Enhanced Solar Disinfection (SODIS) in Rural India. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(3):809–816, 2020.

[54] L. Sosa y A. Sanjuan. Planta potabilizadora de agua de río con utilización de fotocatálisis heterogénea para desinfección primaria. Trabajo de Grado, Universidad Técnica Nacional, Santa Fe, Argentina, 2018.

[55] A.B. Almendariz-G. Análisis microbiológico de las aguas del Parque de las Fuentes del cantón Guano, perteneciente a la provincia Chimborazo. Trabajo de Grado en Bioquímica Farmacéutica, Escuela de Bioquímica y Farmacia, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2017.

[56] M.C. Rosales-V. *Síntesis controlada de semiconductores metal-óxido nanoestructurados y su efecto en el tratamiento de aguas contaminadas por fotocatálisis heterogénea.* Tesis Doctoral en Ciencias de la Ingeniería, Ciencia de los Materiales, Departamento de Ingeniería Química, Biotecnología y Materiales, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2020.

[57] S. Malato, M. Maldonado, P. Fernandez-I., I. Oller, I. Polo, and R. Sánchez-M. Decontamination and Disinfection of Water by

Solar Photocatalysis: The Pilot Plants of the *Plataforma Solar De Almeria*. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 42(Part 1):15–23, 2016.

[58] M.R. Martínez-G. y M.A.V. Pachés-G. Desinfección del agua: determinación colorimétrica del cloro libre y cloro total con DPD. Master tesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2019.

[59] D.P. Patiño-B., L.V. Pérez-A., M.I. Torres-C., D.A. Rosas-L. y G. Di Filippo-I. Uso de biocidas y mecanismos de respuesta bacteriana. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 37(3), 2018.

[60] J. Pantoja-E., J. Proal-N., M. García-R., I. Cháirez-H. y G. Osorio-R. Eficiencias comparativas de inactivación de bacterias coliformes en efluentes municipales por fotólisis (UV) y por fotocatálisis ($UV/TiO_2/SiO_2$). Caso: depuradora de aguas de Salamanca, España. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(1):119–135, 2015.

[61] L.V. Carvajal-R. y A.C. Quintero-A. Diseño, construcción y evaluación de un sistema piloto multifamiliar de desinfección solar de agua con bajos niveles de turbiedad a partir de fotocatálisis heterogénea y pasteurización como alternativa de suministro en épocas de escasez a la vereda de Los Soches. Trabajo de grado, Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Bogotá, 2016.

[62] G. Medina-P. y F. Fernández-L. Nanotoxicidad: retos y oportunidades. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 11(20):7–16, 2018.

[63] F.DeJ. Silerio V. Determinación de la eficiencia de degradación de DQO de fenol en solución acuosa por fotocatálisis solar heterogénea utilizando TiO_2 soportado sobre cuarzo y calcita. Trabajo de maestría, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, México, 2016.

[64] M. Figueredo-F., S. Gutiérrez-A., A. Acevedo-M., and M.A. Manzano. Estimating Lethal Dose of Solar Radiation for Enterococcus Inactivation Through Radiation Reaching the Water Layer. Application to Solar Water Disinfection (SODIS). *Solar Energy*, 158:303–310, 2017.

Apéndices

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

Rules for Submitting Articles – Section Science and Technology

Editorial Line

Ciencia en Revolución journal will consider for its diffusion original and unpublished works in the scientific – technological scope.

All manuscripts that are received for publication will be submitted to expert referees in the area by external reviewers to the CNTQ, using the double-blind system. The author must accept this arbitration.

Ciencia en Revolución is an open access digital journal, it does not charge for its dissemination, it is maintained by collaboration of members of the scientific community.

Type of Manuscripts

Ciencia en Revolución will accept the following works for publication

1. *Articles of technological trend*, prospective studies of medium and long term R+D+i of high utility in the industrial field with a maximum of eighteen (18) pages long.

2. *Unpublished research articles*, with a maximum of twenty (20) pages.

3. *Technical notes*, with a maximum of five (5) pages long.

4. *Preliminary overview*, initial manuscripts of a project beginning to be developed.

5. *State of the art*, articles of scientific update that summarize a specific area referring to what to do scientific – technological with a maximum of eighteen (18) pages.

6. *Article special invited*, with a maximum of twenty (20) pages.

7. *Articles of scientific disclosure*, with a maximum of five (5) pages.

8. *Letters to the editor*, with a maximum of five (5) pages.

Commitment

Submitting an article to *Ciencia en Revolución*, the author formally declares that the work is original and unpublished, he shows his knowledge of *Ciencia en Revolución* standards and that his work will be arbitrated by peers (experts in the area, external to CNTQ). The author must sign a commitment letter upon receipt.

Article Style

Articles may be sent either in spanish or english. The original work should be written using LaTeX, or in Microsoft Word. Works in Word processor must employ a fount of family Time. The works will be accepted through the e-mail of the journal.

The works in LaTeX must include the files pdf, tex and a folder with the figure in eps (or png).

Objects

The objects in the manuscript are the categories: sections, equations, figures and tables; each and every floating object will be numbered in consecutive Arabic (1,2, ...) for each category throughout the entire manuscript. They must be cited and commented on in the text. The citation will be as the proper name of the object in capital letters (not abbreviated), in accordance with international standards for scientific articles. For example: "in the Section 1", "in the Figure 3", "in the Table 2", "in the Equation (1)", just as if the author cites an internal section it will be cited in the form "in the Section 2". All table or figure must have a wide maximum of 17,5 cm, with following the particular characteristics:

- *Figures* must be preferable in pdf, eps or png format (also admit jpg format, if these are of high quality), the figure must to be added in records separated and numbered. Figures caption or descriptions can not be into these, they must be includes in the text of the work and in a file apart called Figure Caption. Legends or descriptions of the figures can not be embedded in them, they must be included

in the text of the work and in a separate file called Legend of Figures.

- *Tables* can not be protruded by any type of color. Only the texts to be produced by means of "bold type". Also, the table must to be included in others files numerated and it is necessary to include a file with table caption.

Writing Order

The writing must have the following order:

- Title Page,
- Introduction,
- Methodology or Research Development,
- Analysis and Discussion of Results,
- Conclusions,
- References.

Title Page

Title page should contain:

a) *Title of the work* in spanish and english, maximum 20 words, they must obey the grammar rules for the titles of each language.

b) *Full name(s) of author(s).*

c) *Full institutional address(es)*, without abbreviations.

d) *Email* and telephone number of each author (only the author's correspondence email will be published).

e) *Summary* of the work in spanish and english (abstract) with a maximum of 200 words; in a single paragraph, and respect the grammar of each language.

f) *Keywords* at the end of the summary in spanish, and abstract in english three to five (3 to 5) keywords should be added.

Work body

The body of the manuscript begins on a new page, with the sections introduction, methodology or development of the investigation, analysis and discussion of results; and finally the conclusions.

The headings of each section are written as a title, according to grammar of the language (spanish or english), numbered consecutively as is the norm in all scientific articles.

Note: For all articles in english, every section in the manuscript will be numbered as follows. In accordance with the standards of scientific journals.

1 Introducion

In this manuscript part the topic to be discussed and the delimitations will be specified, it will include the variables under study. The author(s) must finish indicating the goal, importance and relevance of the work.

2 Methodology

This section must contain each of the procedures performed separated into subsections.

3 Analysis and Discussion of Results

The author(s) will indicate the products of his research with a detailed study; as a consequence of the proposed methodology.

4 Conclusions

The conclusions should be written briefly in one or two paragraphs, without using numbers or bullets, they will be based on their results.

If the authors wish, they can include between the conclusions and the references the acknowledge to those institutions (or people) that have collaborated and/or financed the development of the research; this acknowledge would go as an unnumbered section.

Note: *The citations of references* in the text are in Vancouver format in strict order of appearance, they must contain the name of the main author followed by the corresponding reference number; for example: Guevara, *et al.* [9], or simply [9] without the author's name.

References

At the end of the conclusions the author(s) will place references; which must follow the following rules:

The references for articles in LaTeX the bibliography style "unsrt" will be used, Vancouver format for works in Word. The bibliographic references will be written in order of citation, they must be complete and contain each and every one of the data to be identified.

The following types of works can be cited:

1. Articles of scientific journals.
2. Articles of conference proceedings.
3. Articles in collections.
4. Books.
5. Chapters in a book.
6. Congresses memories.
7. Doctoral theses.
8. Master theses.
9. Special grade works.
10. Technical reports.
11. Technical manuals.
12. Patents.
13. Norms and laws.
14. It is not allowed to cite electronic addresses or web pages.

In the case of journal articles: they will contain: Author (s) (initial of the name, surname). title. *name of the journal*, volume(number): pages, year of publication.

For example:

[9] J. Guevara, C. Vega and E. Guevara. Stochastic Analysis of a Monthly Flows Time series. Case Study: Río Caroní, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*. 17(1):46–54, 2010.

In the case of books: Author(s) (in caps and lower case). *Title*. Publisher, place, year of publication should be included.

For example:

[10] J.M. Hill and J.N. Dewynne. *Heat Conduction*. Blackell Set. Pub. London, 1987.

Work in an edited collection: Author(s) (in caps and lower case). *Title*. In colection title, volume, Publisher, place and year.

For example:

[11] W.S. Kane. *Thriving in Change*. In The Truth About, 25. FT Press, New York, 2008.

It is recommended to the authors to follow the International Nomenclature Norms (symbols, units and abbreviations).

Final Notes

Articles will be submitted for the reviewing process before they can be published.

Ciencia en Revolución
Centro Nacional de Tecnología Química,
CNTQ
Calle Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda,
Edificio Complejo Tecnológico Simón Rodríguez,
Ofic. Centro Nacional de Tecnología Química,
La Carlota, Chacao, Caracas, Estado Miranda, Venezuela.
Código Postal 1064.
Teléfonos:
(+58-212) 239.81.25,
882.65.61, 555.09.75;
Correo–e:
revistacntq@mppct.gob.ve
revista.cntq@gmail.com

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

Normas para la presentación de artículos – Sección Ciencia y Tecnología

Línea editorial

La revista *Ciencia en Revolución* considerará para su difusión trabajos originales e inéditos en el ámbito científico – tecnológico.

Todos los manuscritos que sean recibidos para su publicación serán sometidos a arbitrajes de expertos en el área por revisores externos al CNTQ, mediante el sistema de doble ciego. El autor debe aceptar este arbitraje.

Ciencia en Revolución es de **acceso abierto**, no cobra por su difusión, es mantenida por colaboración de miembros de la comunidad científica.

Tipos de trabajos

Ciencia en Revolución aceptará para su publicación los siguientes trabajos

1. *Artículos de tendencia tecnológica*, estudios de prospectiva de I+D+i a medio y largo plazo de alta utilidad en el campo industrial con una extensión máxima de dieciocho (18) páginas.
2. *Artículos de investigación*, inéditos una extensión máxima de dieciocho de veinte (20) páginas.
3. *Revisiones preliminares*, manuscritos iniciales de un proyecto que está comenzando a ser desarrollado, con una extensión máxima de dieciocho de doce (12) páginas.
4. *Notas técnicas*, con una extensión máxima de dieciocho de cinco (5) páginas.
5. *Estado del arte*, artículos de actualización científica de un área específica referente al quehacer científico–tecnológico con una extensión máxima de dieciocho de dieciocho (18) páginas.
6. *Artículos invitados*, especiales con una extensión máxima de dieciocho de veinte (20) páginas.
7. *Artículos de divulgación científica*, con una extensión máxima de dieciocho de cinco (5) páginas.
8. *Cartas al editor*, con una extensión máxima de dieciocho de cinco (5) páginas.

Compromiso

Al enviar un artículo a la revista *Ciencia en Revolución*, el autor declara formalmente que el trabajo es original e inédito, manifiesta su conocimiento de las normas de la revista y que su trabajo será arbitrado por pares (revisores externos al CNTQ). Debe firmar una carta compromiso al momento de su recepción.

Estilo

La redacción de los trabajos puede realizarse en idioma español o inglés. El trabajo original debe ser redactado en formato LaTeX o en su defecto en Microsoft Word. Los trabajos en Word deben emplear una fuente de la familia Times. Los trabajos serán aceptados a través del correo de la revista.

Los trabajos en LaTeX deben incluir los archivos pdf, tex y una carpeta comprimida con las Figuras en eps (o png).

Objetos

Son objetos en el manuscrito las categorías: secciones, ecuaciones, figuras y tablas; todos y cada uno de los objetos flotantes serán numerados en arábigos (1,2, . . .) consecutivos para cada categoría a lo largo de todo el manuscrito. Deben ser citados y comentados en el texto. La cita será como nombre propio del objeto en mayúscula (sin abreviar), conforme a las normas internacionales para artículos científicos. Por ejemplo: “en la Figura 3”, “en la Tabla 2”, “en la Ecuación (1)”, al igual si el autor cita una sección interna será citado de la forma “en la Sección 2”. Cada tabla o figura debe tener un ancho máximo de 17,5 cm, siguiendo las características particulares.

- *Las figuras* deben ser en formato vectorizado preferiblemente png o eps (también se admiten los formatos CompuServe gif o jpg, si estas son de alta calidad para trabajos en word). Cada figura debe ser enviada en archivos gráficos independientes y numerados. Las leyendas o descripciones de la figuras no pueden estar embutidas en éstas, deben ser incluidas en

el texto del trabajo y en un archivo aparte llamado *Leyendas de Figuras*.

- *Las tablas* no pueden ser resaltadas por ningún tipo de color. Solamente los textos a resaltar mediante "negritas". También deben incluirse las tablas en archivos aparte numerados y es necesario incluir un archivo con las leyendas de las tablas.

Orden de redacción

El orden a seguir para la redacción del trabajo es el siguiente:

- Portada
- Introducción
- Metodología o desarrollo de la investigación
- Análisis y discusión de resultados
- Conclusiones
- Referencias bibliográficas.

Portada. La portada debe contener las siguientes partes:

a) *Título del trabajo* en español y en inglés, con un máximo de 20 palabras, debe obedecer a las normas gramaticales para los títulos de cada idioma.

b) *Nombre(s) del(de los) autor(es).*

c) *Dirección(es) institucional(es)* completa(s), sin abreviaciones.

d) *Correo electrónico* y número de teléfono de cada autor (únicamente será publicado el correo electrónico del autor para correspondencia).

e) *Resumen del trabajo* en español y en inglés (Abstract) con una extensión máxima de 200 palabras; en un único párrafo, y respetará la gramática de cada idioma.

f) *Palabras clave* al final tanto del resumen como del abstract deben agregarse entre tres (3) y cinco (5) palabras clave.

Desarrollo

El cuerpo del manuscrito comienza en una nueva página, con las secciones introducción, metodología o desarrollo de la investigación, análisis y discusión de resultados; y por último las conclusiones.

Los encabezamientos de cada sección se escriben tipo título, de acuerdo al buen uso de la gramática del idioma en redacción (español o inglés) numeradas consecutivamente como es norma en todos los artículos científicos.

Nota: Para artículos en español, todas las secciones en el manuscrito serán numeradas en concordancia a los estándar de las revistas científicas, como se muestra a continuación.

1. Introducción

En esta parte del manuscrito será especificado el tema a tratar y las delimitaciones, incluirá las variables en estudio. Los autores deben terminar indicando la meta, importancia y pertinencia del trabajo.

2. Metodología

Esta sección debe contener cada uno de los procedimientos realizados separados en subsecciones.

3. Análisis y discusión of resultados

Los autor(es) indicarán los productos de su investigación con un estudio detallado; como consecuencia de la metodología planteada.

4. Conclusiones

Las conclusiones deben ser redactadas brevemente en uno o dos párrafos, sin emplear números ni viñetas, estarán fundamentadas en sus resultados.

Si los autores desean pueden incluir entre las conclusiones y las referencias una sección de agradecimiento a aquellas instituciones (o personas) que han colaborado en el desarrollo y/o financiado la investigación; este agradecimiento iría como una sección sin numeración.

Las *citas de referencias* en el texto debe ser en formato Vancouver, en estricto orden de aparición, contendrán el nombre del autor principal seguido de corchetes con el número correspondiente a la referencia, por ejemplo: Guevara, *et al.* [9], o simplemente el número de la referencia bibliográfica [9], sin citar al autor.

Referencias

Al final de las conclusiones el(los) autor(es) colocaran las referencias; las cuales deben seguir las siguientes normas:

Para los artículos en LaTeX se usará el estilo de bibliografía "unsrt", estilo Vancouver para trabajos en Word. Las referencias bibliográficas se escribirán en orden de citación, deben ser completas y contener todos y cada uno de los datos para identificarla.

Se pueden citar:

1. Artículos de revistas científicas.
2. Artículos de memorias de congresos.
3. Artículos en colecciones.
4. Capítulos en un libro.
5. Memorias de congresos.
6. Libros.
7. Tesis doctorales.
8. Trabajo de grado de maestría.
9. Trabajos especiales de grado.
10. Informes técnicos.
11. Manuales técnicos.
12. Patentes.
13. Normas y leyes.
14. No se permiten direcciones electrónicas ni páginas web.

En el caso de artículos de revista contendrán: autor(es) (inicial del nombre, apellidos). Título. *nombre de la revista*. Volumen(número):páginas, año de publicación.

Por ejemplo: [9] J. Guevara, C. Vega y E. Guevara. Análisis estocástico de una serie cronológica de caudales mensuales. Caso de estudio: Río Caroní, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*. 17(1):46–54, 2010.

En caso de libros ha de incluirse: autor(es). *Título*. Editorial, lugar de publicación, año de publicación.

Por ejemplo: [10] J.M. Hill y J.N. Dewynne. *Conduccion de calor*. Blackell set. Pub., London, 1992.

En caso de colección editada: autor(es). *Título*. En título de la colección, volumen, Editorial, Lugar, año de publicación.

Por ejemplo: [11] W.S. Kane. *Prosperando en el cambio*. En La verdad sobre, 25, FT Press, New York, 2008.

Se recomienda a los autores tener en cuenta las normas internacionales de nomenclatura para la utilización de símbolos, unidades y abreviaturas.

Notas finales

Los artículos se enviarán para el proceso de revisión a doble ciego por árbitros externos antes de publicarse.

Ciencia en Revolución
Centro Nacional de Tecnología Química,
CNTQ
Calle Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda,
Edificio Complejo Tecnológico Simón Rodríguez,
Ofic. Centro Nacional de Tecnología Química,
La Carlota, Chacao, Caracas, Estado Miranda, Venezuela.
Código Postal 1064.
Teléfonos:
(+58-212) 239.81.25,
882.65.61, 555.09.75;
Correo–e:
revistacntq@mppct.gob.ve
revista.cntq@gmail.com

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

Políticas antiplagio

Este documento ha sido aprobado por el comité de editores técnicos y está fundamentado en el trabajo de Vega y Manganiello[2].

El comité de ética en publicaciones (COPE por sus siglas en inglés, *Committee on Publication Ethics*) define plagio:

> "*cuando alguien presenta el trabajo de otros autores (datos, palabras o teorías) como si fuera propio y sin el debido reconocimiento a los autores originales.*"[3].

Herramientas para la detección de similitudes

La revista digital *Ciencia en Revolución* emplea la verificación de similitud de texto, tablas e imágenes mediante herramientas en línea para detectar material no original; para conocer sobre las herramientas en línea, el revisor puede consultar el artículo de Shkodkina y Pakauskas[4]. Pueden utilizar las siguientes:

1. Urkund system
   https://www.urkund.com/
2. Copionic
   https://www.fayerwayer.com/2011/05/copionic-un-software-para-detectar-plagios-en-internet/
   https://copionic.softonic.com/aplicaciones-web
3. Plagiarism scanner
   https://www.plagiarismchecker.net/plagiarism-scanner.php
4. Grammarly
   https://www.grammarly.com/
5. Plagium
   https://www.plagium.com/
   http://www.plagium.com/es/detectordeplagio
6. Plagiarisma
   http://plagiarisma.net/
7. PaperRater
   https://www.paperrater.com/
8. Copyscape
   https://www.copyscape.com/
9. Copyleaks
   https://copyleaks.com/
10. Plagtracker
    https://www.plagtracker.com/
11. Plagiarism checker
    https://www.plagramme.com/

En el caso de las imágenes, las herramientas disponibles en red son

1. CC Search
   https://search.creativecommons.org/
2. Tin Eye
   https://tineye.com/

[2]C. Vega and L. Manganiello. Relevant Aspects of Anti-plagiarism Policies. *Ciencia en Revolución*, 6(19):VII–XI, 2020

[3]COPE. *Guidelines on good publication practice*. Guidelines, Committee on Publication Ethics, United Kingdom, 1999.

[4]Y. Shkodkina and D. Pakauskas. Comparative analysis of plagiarism detection systems. *Business ethics and leadership*, 1(3):27–37, 2017.

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

Adicionalmente, la edición técnica dispone de la herramienta de detección de plagio *Adaptive Algorithm for Plagiarism Detection* (*AAPD*), con licencia GNU/GPL de propósitos académicos, desarrollada en Python, bajo el sistema operativo Linux, la cual puede ser modificada y adaptada a las necesidades del usuario, para asegurar la precisión en la detección.

Los autores que envíen un manuscrito deben saber que su trabajo será verificado de similitud en cualquier momento durante el proceso de revisión por pares o de edición y diagramación. Cuando encuentren una superposición, los responsables de la revista examinarán los resultados de la verificación de similitud para establecer si constituye plagio o si existen razones legítimas para la superposición.

Cualquier detección de plagio o reciclaje de texto en un manuscrito enviado a la revista *Ciencia en Revolución* será investigada por los editores ejecutivos de la revista. Si las acusaciones parecen estar fundadas, el Comité Editorial se pondrá en contacto con el autor para correspondencia y solicitará una explicación por escrito del material superpuesto. Después de recibir la respuesta del autor para correspondencia, el Comité Editorial decidirá cómo proceder, con las siguientes posibles acciones:

- Si un artículo aún está en revisión por pares, puede devolverse al autor con una solicitud de que aborden los problemas mediante las citas adecuadas, el uso de comillas para identificar citas directas o una nueva redacción.
- Si la similitud entre los manuscritos es superior al 25 % debe hacer saltar las alarmas para que los editores realicen una verificación, entonces de acuerdo a su veredicto el Comité Editorial puede rechazar el artículo.
- Si el artículo ya está publicado en línea, se puede publicar una corrección, expresión de preocupación o retractación.
- También se puede informar a la institución de afiliación del autor.

Nota: La revista *Ciencia en Revolución* aplica el procedimiento descrito por el comité de ética en publicaciones (COPE).[5].

Recomendaciones

Para la prevención del plagio la revista recomienda a los autores que cuando citen trabajos anteriores de otros investigadores (o propios), se aseguren de los siguientes aspectos:

- Todo escrito textual citado debe estar claramente marcado en otro tipo de letra y con comillas.
- Debe atribuir y hacer referencia a la fuente de la cita correspondiente claramente dentro del texto y en la sección de referencias.
- Debe obtener el permiso del editor original y el titular de los derechos al utilizar figuras o tablas previamente publicadas.
- Cada autor debe emplear las herramientas de detección de similitudes en su manuscrito antes de postularlo a la revista.

Si algún autor o revisor está interesado en leer más sobre el tema puede consultar el libro de N. Quevedo[6]

[5]COPE. What to do if you suspect plagiarism. Committee on Publication Ethics, https://publicationethics.org

[6]N. Quevedo P., editor. *Citas y referencias. Citar vs plagiar*. Biblioteca de la Universidad de Lima, 2014.

Carta de compromiso

Envíe con su trabajo la siguiente carta al Comité Editorial de Ciencia en Revolución.

Ciudadanos
Editor(a) en jefe y demás
Miembros del Comité Editorial
de la revista Ciencia en Revolución
Presente.

Por medio de esta comunicación envío a Ud. (s) el manuscrito del trabajo titulado:

_____

_____

para que sea sometido a evaluación para la publicación. Manifiesto que este trabajo es original e inédito, no ha sido publicado, no es duplicado, ni redundante; no está siendo sometido simultáneamente a arbitraje para su publicación por ningún medio de difusión, que los datos son originales y verídicos, que el trabajo, tanto en su texto como las tablas y figuras ha sido elaborado de acuerdo a las instrucciones para los autores, publicadas por *Ciencia en Revolución* y que las referencias están directamente relacionadas con el trabajo.

Se designa como autor de correspondencia al autor o coautor que lo indique, con quien el Comité Editorial mantendrá comunicación a través de los correos electrónicos revistacntq@mppct.gob.ve; revista.cntq@gmail.com, quien será responsable ante autores y coautores y dará respuesta rápida a los requerimientos del Comité Editorial. No se conocen conflictos de intereses y de haberlos los autores y coautores están obligados a indicarlo en el original junto a la fuente de financiamiento.

Firma: _____

El autor para correspondencia.

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

El cuerpo de editores académicos

Los editores académicos de Ciencia en Revolución

Los miembros del cuerpo de editores académicos serán designados por el Comité Editorial de la revista digital *Ciencia en Revolución*. Este cuerpo está conformado por el editor en jefe, editores ejecutivos, editores asociados y editores técnicos.

Funciones y responsabilidades de los editores académicos

Los editores académicos de la revista digital *Ciencia en Revolución* evaluarán el alcance y la calidad de cada manuscrito recibido y harán las recomendaciones basadas en las observaciones de los revisores externos.

El consejo editorial junto con el cuerpo de editores académicos son colectivamente responsables de garantizar que la revista digital *Ciencia en Revolución* publique investigaciones de alta calidad que sean coherentes con su alcance y objetivos.

Actual cuerpo de editores académicos

El cuerpo de editores académicos de la revista digital *Ciencia en Revolución* está conformado por:

Editora en jefe:
Dra. Magaly Henríquez González; e-mail: mhenriquez.cntq@gmail.com.

Editores ejecutivos:

- Dr. Samuel Villanueva Velásquez; e.mail: svillanueva.cntq@gmail.com.
- Lcda. Dayana Arreaza; e-mail: darreaza.cntq@gmail.com.

Editora asociada:
Lcda. María Laura Chona; e-mail: mchona.cntq@gmail.com.

Editores técnicos:

- Dra. Lisbeth Manganiello; e-mail: lisbethmanganiello@gmail.com.
- Dr. Cristóbal Vega; e-mail: vega.cristobal@gmail.com.

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

Estrategias de evaluación de los manuscritos

Todos los manuscritos a ser considerados para su publicación deben ser enviados al correo electrónico revistacntq@mppct.gob.ve y/o revista.cntq@gmail.com. El autor para correspondencia será responsable del seguimiento del proceso de evaluación, así como de las sugerencias enviadas a su correo electrónico. Durante todo el proceso de evaluación cualquiera de los autores puede realizar consultas del estatus de su manuscrito.

Evaluación de los manuscritos

Los manuscritos pasaran por diferentes etapas, para verificar que el trabajo cumple con lo exigido en la línea editorial indicada en las normas para la presentación de artículos, así como todas las características de las instrucciones a los autores (ver página 4); también será evaluado lo referido a la ética del trabajo (ver página 13); además son contemplados en la evaluación: la actualidad, importancia y pertinencia del contenido; entre otros aspectos.

Los autores estarán conscientes que sus manuscritos serán evaluados y guiados en las siguientes etapas:

1. Revisión por el Comité Editorial y cuerpo de editores académicos.
2. Arbitraje por pares a doble ciego.
3. Revisión por los editores técnicos.

1. Revisión por el Comité Editorial y cuerpo de editores académicos

El Comité Editorial, junto con el cuerpo de editores académicos realizará una revisión preliminar, donde será verificado que el manuscrito cumple con la línea editorial de la revista.

En caso de que el manuscrito esté en la línea editorial, el autor por correspondencia recibirá la información correspondiente; el cuerpo de editores académicos elaborará una versión anónima (donde son eliminados los nombres de los autores y su afiliación institucional) que será enviada a los revisores externos para el proceso de arbitraje a doble ciego.

Si el manuscrito no está en la línea editorial, se le informará al autor para correspondencia, donde se le notificará en cuales aspectos no cumple con este requisito.

Esta etapa tiene una duración de cinco a ocho días hábiles; en la cual, también se inicia el proceso de verificación de similitudes con otras publicaciones en la web.

2. Arbitraje por pares a doble ciego

La etapa de arbitraje por pares a doble ciego será realizada por expertos en el área de conocimiento. Los revisores o árbitros serán externos al Centro Nacional de Tecnología Química.

Los revisores son seleccionados de los diferentes institutos, centros de investigación y universidades nacionales e internacionales. Su experiencia en el área será verificada por el Comité Editorial; para garantizar la idoneidad de la experiencia, los editores académicos verificarán que el revisor tiene al menos dos publicaciones en los últimos tres años en revistas científicas distintas a la revista digital *Ciencia en Revolución*, de las cuales una es en una revista internacional.

El grupo total de revisores de la revista digital *Ciencia en Revolución* está determinado por factores que incluyen el número de manuscritos que recibe la revista, el tiempo promedio que tarda un manuscrito en procesarse y el compromiso de tiempo de cada revisor individual con el Comité Editorial. Cada manuscrito será enviado a tres revisores externos.

La esencia de la revisión del manuscrito está en la etapa de arbitraje por pares; así que, este escrito explica los pasos involucrados en el proceso de evaluación del manuscrito y ofrece una guía útil para los revisores. En esta etapa son evaluados los siguientes aspectos:

1. *Originalidad del trabajo*, los árbitros como especialistas del área de conocimiento del manuscrito evaluarán que el trabajo sea original, además recibirán de parte del Comité Editorial las herramientas informáticas usuales para verificar las similitudes entre el manuscrito y trabajos ya publicados.
2. *Actualidad*, en esta etapa será evaluado si el problema tratado es un tema de actualidad en el desarrollo científico.
3. *Referencias*, los árbitros verificarán si todas las referencias son importantes para el trabajo y si deben incorporarse nuevas citas. Adicionalmente, evaluarán si las referencias están debidamente actualizadas.
4. *Las tablas y figuras* serán evaluadas para verificar que cada una sea pertinente en el trabajo y además que estén debidamente referenciadas y analizadas en el texto.
5. *El objetivo de la investigación* será evaluado si es claro y preciso en su exposición.
6. *La importancia y pertinencia* será otro tópico a evaluar.
7. *La metodología* del trabajo será evaluada para garantizar que permite el logro de los objetivos o metas.
8. *Concordancia* entre los resultados y la metodología planteada.
9. *La redacción y estilo* será revisada por los árbitros en el buen uso del lenguaje.

Un árbitro puede y debe inhibirse de la revisión de un manuscrito, si existe algún conflicto de intereses; también, se inhibe si supone conocer quiénes son los autores del manuscrito. Aunque la selección de revisores es realizada con cuidado, si un revisor sospecha de un conflicto de intereses (por ejemplo, trabaja en la misma institución que uno de los autores o está trabajando en un proyecto competitivo), debe negarse a manejar el manuscrito.

Es función de los revisores evaluar los detalles técnicos. Sin embargo, si un árbitro encuentra que un manuscrito está demasiado lejos de su área de especialización, debe negarse a manejar el manuscrito.

Una vez que han revisado el manuscrito, los árbitros enviaran su veredicto al Comité Editorial, quienes en base a la evaluación decidirán si el manuscrito puede ser publicado tal como está, debe ser sometido a correcciones menores o a correcciones mayores. En última instancia pueden tomar la decisión de no publicar el trabajo. El proceso de arbitraje a doble ciego tiene una duración entre diez y cuarenta días hábiles.

Conflicto de intereses

El Comité Editorial de la revista digital *Ciencia en Revolución* deben ser consciente del riesgo de conflictos de intereses al manipular un manuscrito. Entre sus atribuciones está evitar la asignación de manuscritos a revisores que puedan incurrir en este aspecto.

Por lo general, no será seleccionado un revisor que trabaja o ha trabajado recientemente en la misma institución, que ha sido coautor de un artículo o que tiene una colaboración reciente o actual con el autor o autores. Si existen dudas al respecto, el Comité Editorial nombrará otro árbitro.

3. Revisión por los editores técnicos

Los editores técnicos verificarán que el manuscrito cumple con todas y cada una de las normas para los autores dadas por la revista. Sus sugerencias son de carácter obligatorio.

Ciencia en Revolución, Vol. 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

Políticas de ética y publicación

Introducción

Ciencia en Revolución (revista digital) es una revista de acceso abierto, como publicación científica cuatrimestral incluye tres números (abril-agosto-diciembre) por cada volumen en un año, alcanza la generación continua de contenidos como principal organismo de difusión académica, científica y tecnológica del Centro Nacional de Tecnología Química. El idioma principal de la revista es el español, manejando el inglés como segundo idioma y todos los artículos incluyen tanto el título como el resumen en ambos idiomas.

El Comité Editorial está comprometido en mantener los más altos estándares éticos, efectúa acciones en contra de cualquier práctica antiética o por negligencia profesional. El plagio está estrictamente prohibido y nuestros autores y demás investigadores expresan formalmente que sus trabajos son originales, inéditos, y no están siendo sometidos a procesos de arbitraje en otras revistas, por otra parte, queda expresamente prohibido la copia o el plagio, parcial o en su totalidad, de otras obras. Todo trabajo para ser publicado cuenta con la exigencia de manera explícita a sus autores de la normativa ética de la revista que está plasmado en la carta de compromiso dada en la página 9.

Prácticas antiéticas y negligencia profesional

Por considerar tanto aspectos científicos como tecnológicos, hay que tomar en cuenta la necesidad de velar por la veracidad de toda información suministrada incluyendo datos técnicos, diagramas, tablas y figuras, diseños experimentales, metodologías, entre otros, siendo de vital importancia la cita a las referencias respectivas indicando con los estándares habituales cuando la información es tomada textualmente. Será considerado como faltas graves y conlleva un proceso sancionatorio:

1. **Copias o plagio:** Presentar datos o ideas como propios, de manera parcial o en su totalidad, provenientes de otras obras.
2. **Falsificación o adulteración:** La modificación y cambio de datos presentados, omitir información de tal forma que la investigación no esté completamente presentada.
3. **Presentación de datos no verídicos:** Fabricación, manipulación y presentación de información que no se desprenden de datos reales derivados de la investigación.
4. **Alteración de autor y coautores:** La inclusión de algún miembro que no ha participado en la investigación, así como, la exclusión de alguno que si lo ha realizado. De igual forma, cualquier modificación relacionada con cambios en autores y coautores, debe estar debidamente justificada; luego de finalizado el proceso de edición no será considerada.
5. **Alteración del proceso de arbitraje:** Cualquier intento que afecte el proceso de arbitraje por pares a doble ciego, se prohíbe de manera tácita la comunicación entre un árbitro y los autores del artículo mientras dure su revisión.

De la responsabilidad de los autores

Los autores serán guiados a través de fases que conllevan a

1. La revisión preliminar, donde será verificado que el manuscrito cumple con la línea editorial de la revista *Ciencia en Revolución*.
2. El proceso de arbitraje por pares (doble ciego), donde serán verificadas, por expertos en el área de conocimiento las características de manuscrito.
3. El proceso de edición y montaje del artículo.
4. Por último, la corrección de redacción y estilo.

La responsabilidad de la comunicación con la revista recae en el autor por correspondencia. Los autores están obligados a

1. Firmar la carta de compromiso, manifestando que el contenido del trabajo enviado a la revista es original e inédito: no ha sido publicado, no es duplicado ni redundante, además no está siendo sometido simultáneamente a arbitraje para su publicación por ningún otro medio de difusión, y por último que los datos presentados son originales y verídicos.

2. Deben evitarse o reconocerse los envíos anteriores del manuscrito a otras revistas o publicaciones, en el caso de haber sido enviado es necesario la presentación de una comunicación de la otra publicación donde se deje sin efecto el proceso de arbitraje y las motivaciones consideradas.
3. Respecto a materiales/datos citados o utilizados de otras investigaciones deben documentarse cuidadosamente y citarse como referencia e indicar cuando son tomados textualmente. No es permitido la duplicación de trabajos anteriores.
4. Respecto a la identificación de autores, hay que indicar el nombre tanto del autor como de los coautores, involucrados en el desarrollo de la investigación, evitando incluir personas no que estén vinculadas a la misma. Hay que indicar además la filiación institucional de todos y cada uno de los autores (institución de educación superior o estructura de investigación reconocida), correo electrónico de contacto, número identificador digital permanente de investigadores (ORCID https://orcid.org/) y cualquier otro elemento que permita su identificación.

De la responsabilidad de los miembros de los revisores – árbitros externos

Una vez recibido el manuscrito, acompañado de las Normas de Publicación y el Formato de Evaluación previsto por la revista digital *Ciencia en Revolución*, los árbitros externos están en la obligación de informar de manera expedita, si se acepta o rechaza la revisión del mismo explicando los motivos. En el caso de que los árbitros tengan interés intelectual o material relacionado al manuscrito bajo revisión, estos deberán inhibirse de manera voluntaria evitando así conflicto de intereses.

Los revisores deberán rechazar la revisión de manuscritos, cuando estos estén fuera de su área de experticia o de especialización técnica y científica.

Por otro lado, los árbitros o revisores deben completar debidamente el *Formato de Evaluación* previsto, así como, también realizar las observaciones que considere pertinentes sobre el manuscrito evaluado, lo cual incluye todas aquellas propuestas tendentes a mejorar cuando sea el caso la presentación y análisis de resultados y la incorporación de investigaciones de referentes de importancia, tomando en cuenta que el envío de dicha información al editor–jefe es de carácter obligatorio y estrictamente confidencial.

De la responsabilidad de los miembros del Comité Editorial y el cuerpo de editores académicos

El editor en jefe con el Comité Editorial de la revista digital *Ciencia en Revolución* realizarán una revisión preliminar al recibir el manuscrito, atendiendo a las características de la línea editorial. Una vez superada dicha revisión, se procederá a proponer a los revisores o árbitros de acuerdo con el área de conocimiento.

El editor en jefe será el responsable de enviar las comunicaciones respectivas a los autores, con respecto a las observaciones emitidas por los revisores, y conducir el proceso para que se tomen medidas correctivas. Así mismo, decidirá sobre la aceptación o no del manuscrito en atención a los comentarios de los árbitros o revisores designados. El Comité Editorial tratará la información relacionada con los artículos con criterios de confidencialidad.

Preservación digital *Ciencia en Revolución* utiliza para la preservación digital de sus artículos, el resguardo con archivos en formato pdf y comprimidos en formato LaTeX; todos los artículos están registrados en el repositorio Zenodo.

Licencia Creative Commons Licencia de Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obras derivadas 4.0 Internacional .

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

Volumen 7, N° 21, mayo–agosto, 2021.

Centro Nacional de Tecnología Química

Autoridades

Consejo Directivo

Dra. Magaly Henríquez González
Presidenta

Dr. Marcos Rosa-Brussin
Universidad Central de Venezuela

Dr. Edgar Ocando
Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

Dr. José Gregorio Biomorgi
Universidad Central de Venezuela

MSc. César Alejandro Basanta
Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo

Lcda. Geraldina Palm de Pulido
Asociación Venezolana de la Industria Química y Petroquímica

Lcda. María Laura Chona
Dirección Ejecutiva

Dr. Samuel Villanueva Velásquez
Dirección Técnica

MSc. Héctor Rodríguez
Gerencia de Proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación

Lcda. Dayana Arreaza
Gerencia de Articulación y Alianza Interinstitucional

Lcda. Adriana Córdoba
Gerencia de Talento Humano

Lcda. Doris Rodríguez
Gerencia de Administración y Apoyo Técnico

Abg. Dilia Romero
Consultoría Jurídica

CIENCIA EN REVOLUCIÓN

La revista *Ciencia en Revolución* es una publicación periódica digital de la fundación Centro Nacional de Tecnología Química, entidad adscrita al Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología. Es arbitrada e indizada. Se publica cada cuatro meses. Se aceptan trabajos en español e inglés. Todos los trabajos son revisados por el Comité Editorial y arbitrados por el revisores externos – especialistas en la materia.

Dirección Postal: Calle Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda, Edificio Complejo Tecnológico Simón Rodríguez, Piso PB, Ofic. Centro Nacional de Tecnología Química, Sector La Carlota, Chacao, Caracas, Miranda, 1064, Venezuela.
Correos – e:revistacntq@mppct.gob.ve; revista.cntq@gmail.com

Página Web: https://cntq.gob.ve/index.php/revista-digital-ciencia-en-revolucion.

Síguenos en nuestras redes

www.cntq.gob.ve

@CNTQ_Vzla

Centro Nacional de Tecnología Química

CNTQ

Ciencia en Revolución, ISSN-2: 2610-8216, CNTQ, Mincyt