

Article:

Determination of Groundwater Quality for Irrigation Use in Agricultural Systems

J.P. Mogollón^{1,2*} , T. Fernández C.¹ , H. Garrido¹ , A. Cordero¹ ,
D.A. Quintero¹ , Y. Castillo¹ , Y. Colmenares¹ 

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

²Departamento 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_3^{2-}) 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 fisicoquímicos 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 km². El sector se caracteriza por tener un clima entre árido e hiperárido [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 (Minc). 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.

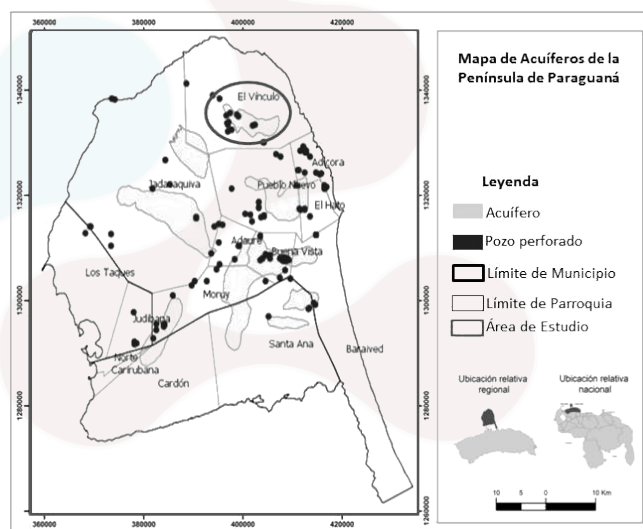


Figura 1: Mapa de acuíferos de la península de Paraguaná y delimitación del área de estudio

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 $0,45 \times 47$ 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 turbidimetría 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)

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

b) Salinidad efectiva (SE)

$$\text{Si } [\text{Ca}^{2+}] > [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{=}],$$

$$SE = [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+] - [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{=}]. \quad (2)$$

$$\text{Si } [\text{Ca}^{2+}] < [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{=}]$$
$$\text{y } [\text{Ca}^{2+}] > [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-]$$

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

$$\text{Si } [\text{Ca}^{2+}] < [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-]$$
$$\text{y } [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}] > [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-]$$

$$SE = [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+] - [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-]. \quad (4)$$

$$\text{Si } [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}] < [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-]$$

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

c) Relación de adsorción de sodio (RAS)

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

d) Carbonato de sodio residual (CSR)

$$CSR = [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-] - [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]. \quad (7)$$

e) Porcentaje de sodio posible (PSP)

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

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

Nombre del Pozo	pH $\pm 0,01$	T $\pm 0,01$ ($^{\circ}\text{C}$)	STD $\pm 0,01$ (mg l^{-1})	CE $\pm 0,01$ (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 $\text{Na}^+ \leq \text{Cl}^-$,

$$IS = 2040/\text{Cl}^-; \quad (9)$$

Si $\text{Cl}^- < \text{Na}^+ \leq \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$,

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

Si $\text{Na}^+ \geq \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$,

$$IS = 662/(\text{Na}^+ - 0,32 \text{Cl}^- - 0,42 \text{SO}_4^{2-}). \quad (11)$$

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 pérdida 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 $27,80 \pm 0,01$ $^{\circ}\text{C}$ y $31,30 \pm 0,01$ $^{\circ}\text{C}$, 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] $\pm 0,01$ meq l ⁻¹							
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO 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 $288 \pm 0,01$ a $928 \pm 0,01$ 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 $0,45 \pm 0,01$ a $1,45 \pm 0,01$ 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 de los acuíferos de *El Vínculo* están resumidos en la Tabla 3.

Calcio

El 100 % de las muestras estudiadas presentaron valores de Ca²⁺ 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, indica 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 $(12,40 \pm 0,01$ a $17,55 \pm 0,01)$ 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 $0\text{-}5 \text{ meq l}^{-1}$) y el resto presentaron valores promedio de $6,95 \pm 0,01 \text{ meq l}^{-1}$.

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 $7,95 \pm 0,01 \text{ meq l}^{-1}$. En el caso de aguas subterráneas, el contenido de K^+ no debe sobrepasar los $0,39 \text{ meq l}^{-1}$, 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 $7,27 \pm 0,01 \text{ meq l}^{-1}$ con mínimos y máximos entre $2,60 \pm 0,01 \text{ meq l}^{-1}$ y $12,50 \pm 0,01 \text{ meq l}^{-1}$ 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 $12,50 \pm 0,01 \text{ meq l}^{-1}$, 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 (SO_4^{2-}) mostró valores de concentración que oscilaron entre $1,10 \pm 0,01 \text{ meq l}^{-1}$ y $11,10 \pm 0,01 \text{ meq l}^{-1}$, 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^{2-}). Este hecho se relaciona con los valores de pH de las muestras de agua analizadas, los cuales varían entre $7,51 \pm 0,01$ a $8,20 \pm 0,01$. 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 $\text{pH} > 9$.

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 = $(\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}) / (\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}) \times 100$, 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 $1,15 \pm 0,01$ °F y $3,49 \pm 0,01$ °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

Nombre del Pozo	Indicador					
	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:	muy blandas < 7
Fuente: FAO [35]	
SE 0-15:	< 1,25 apto para uso;
Fuente: FAO [36]	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 CaCO₃. 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 Ca²⁺ y Mg²⁺. 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 $CSR < 1,25 \text{ meq l}^{-1}$), mientras que un 50 % no están recomendados para uso agrícola (valores de $CSR > 2,5 \text{ meq l}^{-1}$), 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*

Pozo	Indicador			
	RAS ± 0,01	CE* (μmhos/cm) ± 10	Clase por salinidad	Clase por 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]

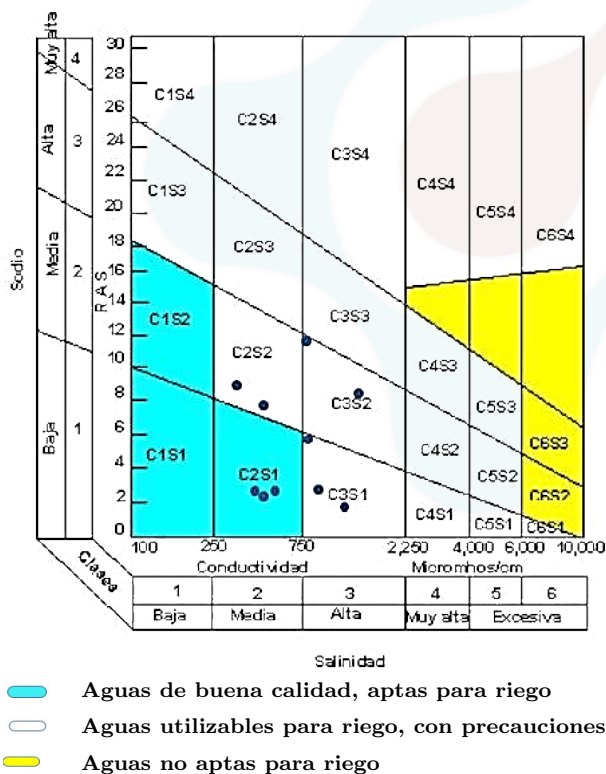


Figura 2: Clasificación del agua de los pozos del acuífero de *El Vínculo* de acuerdo con las Normas de *Riverside*

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

<i>RAS</i>	<i>CE</i> 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-Diéquez 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 Toglahuayco. *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. Jeon, 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 Malariaología 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. Quintão 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.