



Universidad Nacional del
Nordeste
Facultad de Ciencias Agrarias



**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
MODALIDAD PASANTÍA.**

**“ADIENTRAMIENTO EN TÉCNICAS DE
LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS FÍSICO-
QUÍMICO DE AGUAS Y SU
INTERPRETACIÓN”**

Alumno: Rodolfo Exequiel Ortega

Director: Ing. Agr. Martín Miguel Michellod

Año: 2017

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es importante no sólo desde el punto de vista de la población, como agua para consumo humano, sino también como agua de riego para alcanzar una adecuada producción de cultivos (Baccaro *et al.*, 2006).

La agricultura es el sector que mayor demanda del agua supone a nivel mundial. El riego de tierras agrícolas requiere la utilización de un 70% de los recursos hídricos en el mundo. En los países en vías de desarrollo, muchas veces el agua utilizada para regadío representa más del 95% del total de usos del agua, y juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos (Dell'Amico Rodríguez *et al.*, 2011).

El uso de agua salina afecta más en la etapa de germinación que en el desarrollo de las plántulas, por lo cual se recomienda una aplicación secuencial de agua dulce durante las etapas sensibles. Sin embargo, es de vital importancia determinar guías de manejo que minimicen el efecto adverso del uso del agua salina sobre el suelo y las plantas (Cortés-Jiménez *et al.*, 2009).

El contenido químico del agua puede hacer indeseable el uso de esta para el riego, pero en algunos casos es posible tomar ciertas providencias para utilizarla. Toda el agua que se utiliza en el riego contiene cierta cantidad de sales disueltas. La aptitud de las aguas para riego depende en general de los tipos y cantidades de sales que contienen. Todas las sales de las aguas de riego tienen un efecto sobre las relaciones agua-suelo-planta y las propiedades de los suelos, e indirectamente en la producción de las plantas (California Fertilizer Association, 1995).

OBJETIVOS

- 1- Adquirir destreza en el análisis físico y químico de muestras de agua.
- 2- Determinar concentración de iones.
- 3- Realizar interpretación de los datos obtenidos y comparar con parámetros sanitarios establecidos de calidad de agua por el Código Alimentario Argentino para consumo humano.
- 4- Realizar interpretación de los datos obtenidos para uso agrícola de las aguas.

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo el análisis de 30 muestras de agua procedentes de diversos puntos geográfico de la Provincia de Corrientes. Todas las muestras son de origen subterráneo, utilizadas para riego y consumo humano. Las mismas fueron suministradas por el Plan Aguas dependiente del Ministerio de Producción.

Los parámetros determinados son 12, los cuales se detallan a continuación:

- 1- Conductividad por conductímetro estandarizado a 25 °C expresado en $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Rice *et al.*, 2012).
- 2- pH (Potencial Hidrogeno) por potenciómetro estandarizado a 25 °C, (Rice *et al.*, 2012).
- 3- Calcio por Complexometria EDTA expresado en mg L^{-1} (Rice *et al.*, 2012).
- 4- Magnesio por Complexometria EDTA expresado en mg L^{-1} (Rice *et al.*, 2012).

- 5- Dureza por Complexometria EDTA expresado en mg L^{-1} (Rice *et al.*, 2012).
- 6- Sodio por Fotometría de llama expresado en mg L^{-1} (Rice *et al.*, 2012).
- 7- Potasio por Fotometría de llama expresado en mg L^{-1} (Rice *et al.*, 2012).
- 8- Cloruro por método de Morh expresado en mg L^{-1} (Rice *et al.*, 2012).
- 9- Sulfato por Turbidimetría expresado en mg L^{-1} (Severiche y Gonzáles, 2012).
- 10- Amonio método de azul de indofenol expresado en mg L^{-1} (Rice *et al.*, 2012).
- 11- Nitritos método de la sulfanilamida expresado en mg L^{-1} (Rice *et al.*, 2012).
- 12- Nitratos método del salicilato de sodio expresado en mg L^{-1} (Molina Guevara, 2010).

LUGAR DE TRABAJO

Las tareas se llevaron a cabo en el Laboratorio Provincial de Calidad Agropecuaria, que se encuentra ubicado en el Centro Tecnológico de Producción, dependiente del Ministerio de Producción. Ubicado en Ruta Nacional N° 12, Km 1032. Corrientes Capital Argentina. C.P. 3400.

DESAROLLO DEL TRABAJO

Determinación de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Se colocó utilizando una pipeta graduada 50 ml de cada muestra en diferentes vasos de precipitado.

Luego, con un conductímetro se tomó las medidas de conductividad eléctrica a cada muestra, siempre con la precaución de lavar el electrodo del instrumento con abundante agua destilada para utilizarlo en la siguiente medición.

Las determinaciones se realizaron en condiciones normales de temperatura y humedad ambiente. Cada lectura obtenida en la pantalla del conductímetro, luego de estabilizarse, se corrige automáticamente por temperatura (Figura 1).



Figura 1: Lectura de la conductividad eléctrica en muestra de agua con el equipo para dichas mediciones.

Tabla 1: Valores de conductividad eléctrica de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	Conductividad $\mu\text{S cm}^{-1}$	MUESTRA Nº	Conductividad $\mu\text{S cm}^{-1}$	MUESTRA Nº	Conductividad $\mu\text{S cm}^{-1}$
1	447	11	177	21	101
2	516	12	113	22	223
3	90	13	171	23	159
4	164	14	514	24	145
5	563	15	376	25	166
6	444	16	376	26	152
7	330	17	494	27	126
8	535	18	400	28	351
9	85	19	494	29	286
10	62	20	581	30	364

Determinación de pH:

Se procedió a medir pH, de cada una de las muestras obtenidas, utilizando un potenciómetro (peachímetro) digital.

Para poder realizar las lecturas primero se procedió a la calibración del equipo utilizando soluciones buffer de pH 4 y 7.

Se procedió a colocar en un vaso de precipitado cantidad suficiente de agua para cubrir el electrodo y de esa forma esperar que se estabilice el equipo y tomar la lectura (Figura 2).



Figura 2: Equipo y toma de datos de potencial hidrogeno (pH).

Determinación de Cloruros (Cl^-) método de Mohr.

Materiales y Reactivos:

Bureta

Erlenmeyer

Solución de AgNO_3 0.014 N

Solución de K_2CrO_4 1 %

De cada muestra tomada anteriormente, extraje con una pipeta automática un volumen de alícuota de acuerdo a los valores de conductividad, dado que la misma está relacionada con la cantidad de este ion presente en la muestra. Debido a que los valores no superaban los $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ se procedió a tomar una alícuota para todas las muestras de 5 ml. Luego se agregó 1 ml de cromato de potasio para que actuase como indicador de punto final de la titulación.

Se colocó el erlenmeyer sobre un agitador magnético con una base de color blanco para facilitar la observación del color y luego se tituló utilizando una bureta con nitrato de plata (AgNO_3) 0.014 N.

Antes de comenzar a titular, se enrasó la bureta en cero y luego girando el robinete, se dejó caer gota a gota el nitrato de plata sobre la muestra.

La plata reacciona con el cloruro formando cloruro de plata AgCl , precipitado blanco. Cuando se consume todo el cloruro, el cromato reacciona con la plata en exceso formando cromato de plata y se produjo un viraje de amarillo a un color ladrillo (rojizo) y es momento del final de la titulación (Figura 3).

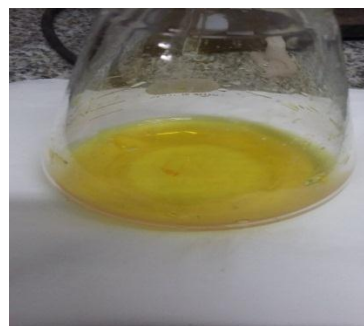
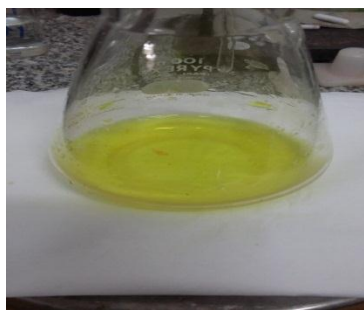


Figura 3: Determinación de cloruros, el primer erlenmeyer sin el agregado de nitrato de plata y el segundo ya visualizándose el punto final por la reacción de la plata con el cromo dando el color típico rojo ladrillo.

En cada titulación de las muestras se registró el volumen de nitrato de plata consumido y se calculó mediante la siguiente formula:

$$\text{mg L}^{-1} \text{Cl}^{-} = \frac{\text{ml AgNO}_3 * N * 35,45}{\text{Alicuota}} * 1000$$

DETERMINACIÓN DE SULFATOS (SO_4^{2-})

Materiales y Reactivos:

Tubos de ensayo con tapón de goma

Gradilla

Pipetas graduadas

Soluciones acondicionadora acida para sulfatos

Soluciones patrones de sulfato

Cloruro de bario puro

Preparación de las muestras:

Para la siguiente determinación se utilizó una pipeta graduada, se extrajo de cada muestra 10 ml y se colocó en tubos de ensayos enumerados.

Se preparó un blanco con la misma cantidad de agua destilada.

Utilizando una pipeta graduada se tomó 10 ml de las soluciones patrones de sulfato al 10, 20 y 30 ppm respectivamente en diferentes tubos de ensayo.

Tanto a todas las soluciones patrones, blanco y a las muestras, se agregó 1 ml de solución acondicionadora ácida. Luego con una cucharilla metálica se

procedió a pesar 0.5 g de cloruro de bario puro y se colocó en todos los tubos que contenían muestra, blanco y patrones. Luego se agito con un vortex hasta completa disolución del cloruro de bario (Figura 4).

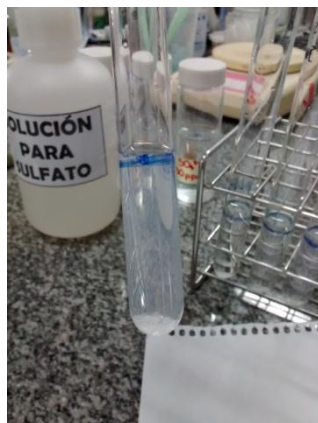


Figura 4: Turbidez presente en el tubo debido a la presencia de sulfato que se forma por el agregado del cloruro de bario con consiguiente formación de sulfato de bario.

Una vez terminado se procedió a la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm. Se llevó a cero el instrumento con el blanco.

Se registró las absorbancias de los patrones y las muestras problema, para el cálculos de las concentraciones se realizó una curva de calibrado.

Luego de obtenidos los valores de absorbancia en función de la concentración se construyó una curva de calibrado para verificar la linealidad del método (Gráfico 1).

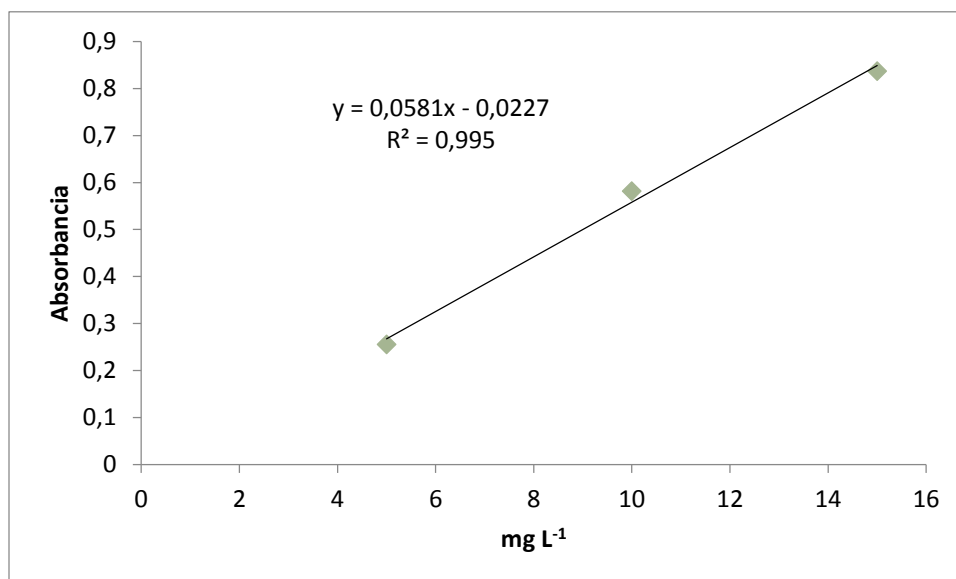


Gráfico 1: Valores de absorbancia en función de la concentración.

Para el cálculo de las concentraciones de sulfatos en la muestra se halló el factor para convertir los valores de absorbancia en concentraciones mediante la curva de calibrado y su respectiva ecuación de la recta.

$$\text{Factor} = \frac{1}{\text{Pendiente}} = \frac{1}{0,0098} = 102,04$$

Luego de calculado el factor se multiplico dicho factor por todas la absorbancia de cada muestra dando esta operación directamente los resultados en mg L⁻¹ de sulfato.

DETERMINACIÓN DE AMONIO (NH_4^+) POR ESPECTROFOTOMETRÍA.

Materiales y reactivos:

Tubos de ensayo

Gradilla

Pipeta graduada

Erlenmeyer

Solución de amonio (A): Compuesta por citrato de sodio, nitroprusiato de sodio e hipoclorito de sodio.

Solución de amonio (B): Compuesta por fenol e hidróxido de sodio.

Solución patrón de amonio 1 mg L^{-1}

Preparación de las muestras:

Se colocó 10 ml de muestra obtenida en un tubo de ensayo con una pipeta graduada identificándola con un número, luego con una pipeta automática de volumen variable se agregó 0,5ml solución de amonio(A) y 0,5 ml de la solución de amonio (B), se cerró con un tapón de goma dicho tubo y se pasó por el vortex para asegurar la homogenización de la muestra con el reactivo.

El siguiente paso fue la preparación de las soluciones patrones, en 3 tubos de ensayo enumerados, agregue 1,2 y 3 ml a cada tubo de la solución patrón de amonio 1ppm respectivamente, lleve a 10 ml con agua destilada, y luego se agregó solución de amonio 0,5 ml de reactivo (A) y 0,5 ml de la solución de amonio (B), y se procedió de la misma manera que las muestras.

Preparación del blanco, en un tubo de ensayo agregue 10 ml de agua destilada libre de amonio, 0,5 ml de solución de amonio (A) y 0,5 ml de la solución de amonio (B), con un tapón de goma cerré los tubos y lo lleve al vortex para homogeneizar la solución.

A las muestras, los patrones y el blanco los lleve a baño maría (60° C) para que la reacción se catalice más rápido, ya que la misma es muy lenta, las llevo sobre una gradilla porta tubos y controlo 15 min con un cronómetro (Figura 5).

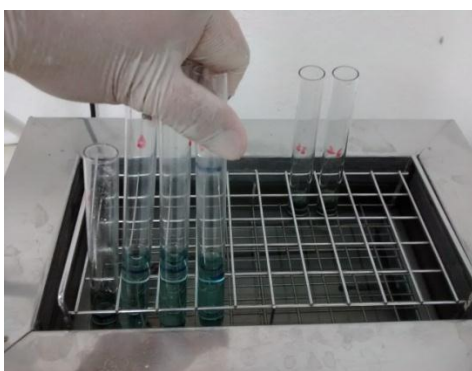


Figura 5: Color azul de indofenol, color típico de esta reacción en la determinación de amonio.

Primero se encendió el espectrofotómetro, se seleccionó la longitud de onda a 630 nm, llevando a cero el equipo con el blanco (Figura 6).



Figura 6: Espectrofotómetro llevado a cero de absorbancia con el blanco.

Luego se procedió a la lectura de los patrones y las muestras, los valores de absorbancia se registraron para todos los casos, se construyó una curva de calibración con los tres patrones, se calculó el factor mediante la inversa de la pendiente por medio de la técnica estadística de mínimos cuadrados de la cual se obtuvo la pendiente de la recta (Gráfico 2). Luego se calculó el factor y posteriormente la concentraciones de cada muestra como ya se mencionó para la técnica de sulfato.

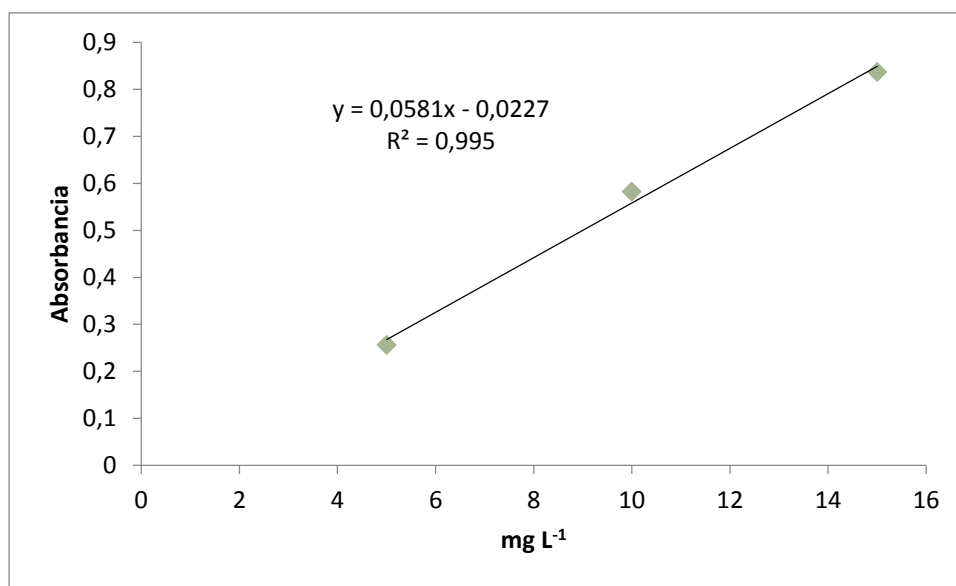


Gráfico 2: Valores de Absorbancia en función de la concentración de amonio.

Para determinar la concentración de amonio en el agua se procedió al cálculo del factor el que luego se multiplico por los valores de absorbancia obtenidos en las muestras.

$$\text{Factor} = \frac{1}{\text{Pendiente}} = \frac{1}{1,625} = 0.6153$$

DETERMINACIÓN DE NITRITO (NO_2^-) POR ESPECTROFOTOMETRÍA.

Materiales a utilizar:

Tubos de ensayo

Gradilla

Pipeta graduada

Solución nitrito (A): Compuesta por sulfanilamida

Solución de nitrito (B): Compuesta por N-(1-naftil)-etilendiamina en medio ácido con ácido clorhídrico.

Solución patrón de nitrito 1 mg L^{-1}

Preparación de las muestras:

Se colocó 10 ml de las muestras obtenidas en diferentes tubos de ensayos con una pipeta graduada identificándolas con un número, luego se procedió a agregar 0,5 ml con una pipeta automática de volumen variable una solución de nitrito (A), con un tapón de goma cerré los tubos, los lleve al agitador para homogeneizar la solución. Luego con una pipeta automática de volumen variable agregué 0,5 ml de solución de nitrito (B), lo mismo se hizo para el blanco y los patrones, se esperó 15 minutos antes de la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de 545 nm. Observándose el típico color rosa que desarrolla esta reacción en presencia de nitritos (Figura 7).



Figura 7: Desarrollo del color en la reacción de cuantificación de nitritos en agua.

Para los patrones se tomó 1, 2 y 3 ml de la solución patrón de 1 mg L^{-1} , correspondiendo a 0,1, 0,2 y 0,3 mg L^{-1} respectivamente.

Para el blanco se tomó 10 ml de agua destilada libre de nitritos y se agregó 0.5 ml de reactivo A y 0.5 ml de reactivo B.

Se construyó una curva de calibración y calculó el factor mediante la inversa de la pendiente por medio de la técnica estadística de mínimos cuadrados de la cual se obtuvo la pendiente de la recta (Gráfico 3).

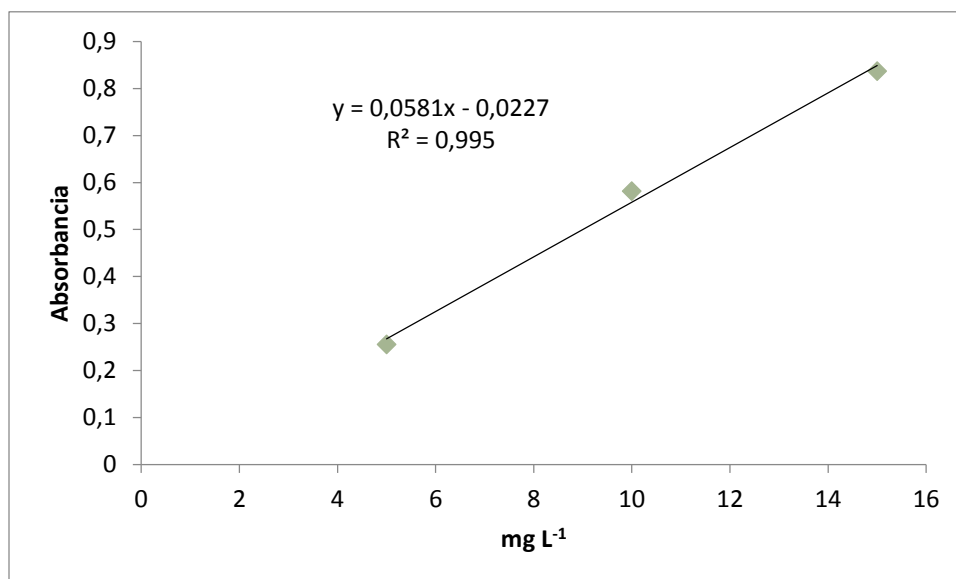


Gráfico 3: Valores de Absorbancia en función de la concentración de nitrato.

Para determinar la concentración de nitratos en el agua se procedió al cálculo del factor el que luego se multiplico por los valores de absorbancia obtenidos en las muestras.

$$\text{Factor} = \frac{1}{\text{Pendiente}} = \frac{1}{0,695} = 1.4388$$

DETERMINACIÓN DE NITRATO (NO₃) POR ESPECTROFOTMETRÍA

Materiales y reactivos:

Pipeta graduada

Vasos de precipitado

Solución patrón de nitrato 5ppm

Solución patrón de nitrato 10ppm

Solución patrón de nitrato 15ppm

Salicilato de sodio al 0,5 %

Ácido sulfúrico concentrado

Hidróxido de sodio al 25 %

Preparación de las muestras:

Con una pipeta de vidrio graduada se tomó 10 ml de cada muestra, 10 ml de los patrones de 5, 10 y 15 mg L⁻¹, y se colocó en vasos de vidrios, luego se agregó 0,5 ml de salicilato de sodio. Para el blanco solo se agregó 0,5 ml salicilato de sodio.

Preparación del blanco, con la pipeta de vidrio graduada se agregó unos 10 ml de agua destilada en un vaso de precipitado identificado, luego con una pipeta automática de volumen variable unos 0,5 ml de salicilato de sodio al 0,5%.

Una vez terminado se llevó a estufa 24 horas para disecar la muestra.

Luego se sacó de la estufa y se agregó 1 ml de ácido sulfúrico concentrado asegurándose de cubrir todo el residuo que se generó de la desecación y se esperó 10 min.

Con una pipeta graduada de vidrio se agregó 20 ml de agua destilada y usando otra pipeta de vidrio graduada 10 ml de hidróxido de sodio al 25%, luego una vez agregado el hidróxido se observa el color amarillo de la reacción que indica la presencia de nitratos (Figura 8).



Figura 8: Desarrollo de color amarillo de la reacción colorimétrica indicando la presencia de nitratos.

Una vez terminado la reacción se procedió a leer las absorbancias en el espectrómetro a 420 nm.

Los valores de absorbancia se registraron para todos los casos, se construyó una curva de calibración y se calculó el factor mediante la inversa de la pendiente por medio de la técnica estadística de mínimos cuadrados de la cual se obtuvo la pendiente de la recta (Gráfico 4).

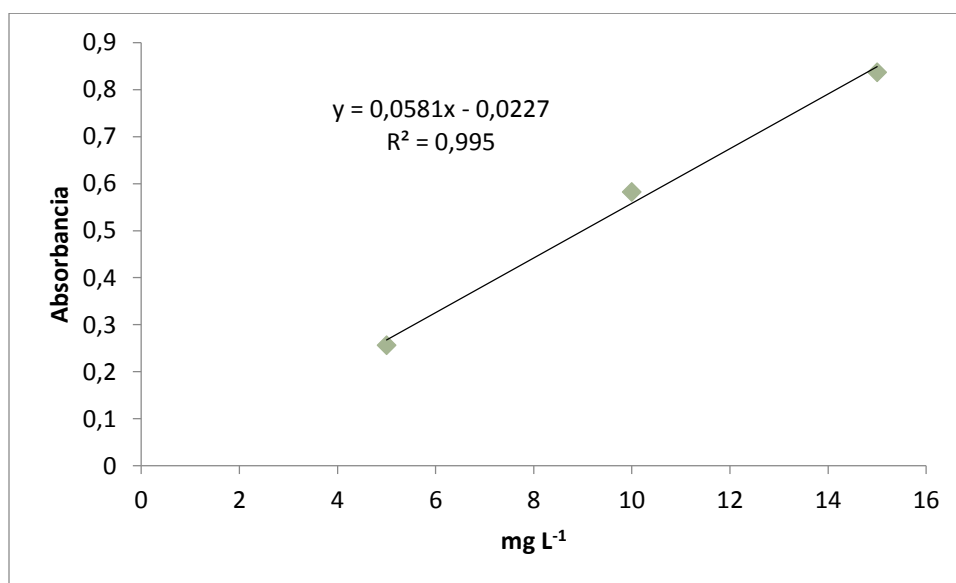


Gráfico 4: Valores de Absorbancia en función de la concentración de nitrato.

Para determinar la concentración de nitratos en el agua se procedió al cálculo del factor, el que luego se multiplico por los valores de absorbancia obtenidos en las muestras.

$$\text{Factor} = \frac{1}{\text{Pendiente}} = \frac{1}{0,0581} = 17.217$$

Determinación de calcio (Ca y Mg).

Materiales y Reactivos:

Pipeta graduada

Bureta

Espátula de metal

Erlenmeyer

Solución reguladora pH 10

Negro eriocromo T (NET)

Solución de EDTA 0.02 N

Calcón

Hidróxido de sodio al 10 %

Procedimiento

Determinación de Ca + Mg

Para la determinación de calcio más magnesio se procedió a tomar una alícuota de 5 ml de agua, se agregó 5 ml de solución reguladora pH 10 y luego una pizca de negro de eriocromo T, la solución en estas condiciones toma un color rojo vinoso, se empieza a titular lentamente con EDTA 0.02 N hasta que se produzca el viraje del indicador a azul, momento en el que culmina la titulación y se toma el dato del volumen gastado, eso correspondería a V_1 .

Para la determinación de calcio se tomó la misma cantidad de alícuota (5 ml) y se agregó 5 ml de hidróxido de sodio al 10 %, luego una pizca de calcón. Esto al momento del agregado del indicador toma un color rojo vinoso, luego una vez iniciada la titulación con EDTA el mismo virará a azul momento en el que se procede a finalizar la titulación tomando este volumen como V_2 (Figura 9).

Para el cálculo de las concentraciones de calcio, magnesio y dureza se procedió de la siguiente manera:

$$\text{Mg (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{(V_1 - V_2) * fc * 0.00024}{\text{Alicuota}} * 1.000.000$$

$$\text{Ca (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{V_2 * fc * 0.00040}{\text{Alicuota}} * 1.000.000$$

$$\text{Dureza (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{1.009 * V_1 * 1000}{\text{Alicuota}}$$

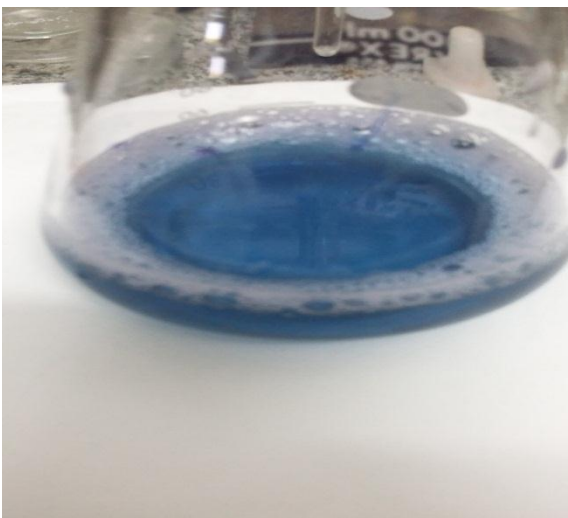


Figura 9: Colores que presentan los indicadores al momento de iniciar la titulación se observa el color rojo vinoso para luego virar a azul momento en el cual se corta la titulación, ambos indicadores presentan los mismos colores de viraje.

DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD

Materiales y Reactivos:

Pipeta graduada

Bureta

Erlenmeyer

Ácido Sulfúrico 0,02 N

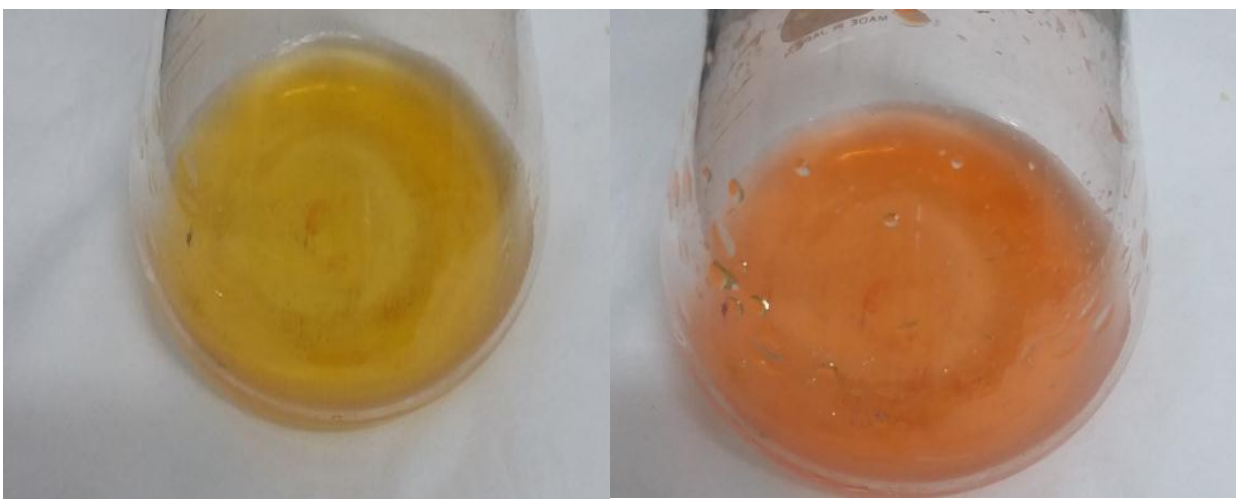
Heliantina 0,5 %

Fenolftaleína

De las muestras a analizar se extrajo con una pipeta 10 ml y se colocó en erlenmeyer con distintos números para diferenciarlos a cada uno, luego se

agregó unas gotas de fenolftaleína para observar la presencia de carbonato si la misma viraba a rosado, pero para todas las muestras estudiadas, ninguna viro a rosa. Luego se procedió al agregado de unas gotas de heliantina (naranja de metilo) y se tituló con ácido sulfúrico 0,02 N hasta el viraje de naranja a un rojo anaranjado momento en el cual se finalizó la titulación (Figura 10).

Figura 10: El color amarillo del indicador es el que adopta la heliantina antes de empezar la titulación, el momento de finalización de la titulación estará marcado por el color rojo-naranja del indicador.



Fórmulas para determinación de alcalinidad:

H= ml gastado de ácido 0.02 N en la titulación con heliantina.

F= ml gastado de ácido 0.02 N en la titulación con fenolftaleína.

Si solo da positivo para heliantina se utiliza la siguiente fórmula:

Alcalinidad por bicarbonatos= $100 * H$

Si da positivo para fenolftaleína y heliantina se utiliza la siguiente fórmula:

Alcalinidad por bicarbonato= $100 * (H - F)$

Alcalinidad por carbonatos = $100 * 2F$

Como para ninguna muestra de aguas analizadas dio positivo para fenolftaleína solo se procedió a utilizar la fórmula:

Alcalinidad $\text{mg CaCO}_3\text{L}^{-1} = 100 * H$

DETERMINACIÓN DE POTASIO Y SODIO (K Y Na) POR FOTOMETRÍA DE LLAMA.

Materiales y Reactivos:

Tubos de ensayo

Pipeta graduada de vidrio

Fotómetro de llama

Soluciones patrones de potasio y sodio (K-Na) a 1mg L^{-1}

Soluciones patrones de potasio y sodio (K-Na) a 3mg L^{-1}

Soluciones patrones de potasio y sodio (K-Na) a 5mg L^{-1}

Preparación de las muestras:

Se procedió a realizar las diluciones de las muestras de agua para las determinaciones de sodio, dado que su concentración de dicho ion es muy alta y la lectura del equipo se va fuera de la capacidad de lectura del mismo, como así también del rango lineal de respuesta a las concentraciones de sodio. Se realizó una dilución de 1/100, tomando $100\ \mu\text{L}$ de la muestra y llevándolo a 10 ml en un tubo enrasado en dicha medida.

Para lectura de potasio se realizó directamente de la muestra sin diluir, dado que este ion se encuentra en menor concentración que el sodio en agua, y todas las

lecturas entraron dentro del rango de lectura del equipo. Para empezar con las lecturas se procedió al encendido del equipo, se abrió la llave de gas, al mismo tiempo se encendió la llama con un descarga eléctrica automática que genera una chispa y el encendido de la misma. Se llevó a cero de lectura de emisión del equipo con agua destilada. Como se observa la misma cuenta para realizar las lecturas tanto de sodio y potasio al mismo tiempo (Figura 11).



Figura 11: Fotómetro de llama para lectura de sodio y potasio al mismo tiempo.

Una vez que se llevó a cero la lectura de emisión, se procedió a las lecturas de los diferentes estándares de 1, 3 y 5 mg L⁻¹ de sodio y potasio. Luego se construyó la curva de calibrado para ambos iones como se muestra en el gráfico 5, para luego calcular el factor y así poder calcular las concentraciones de las muestras, teniendo en cuenta las respectivas diluciones realizadas.

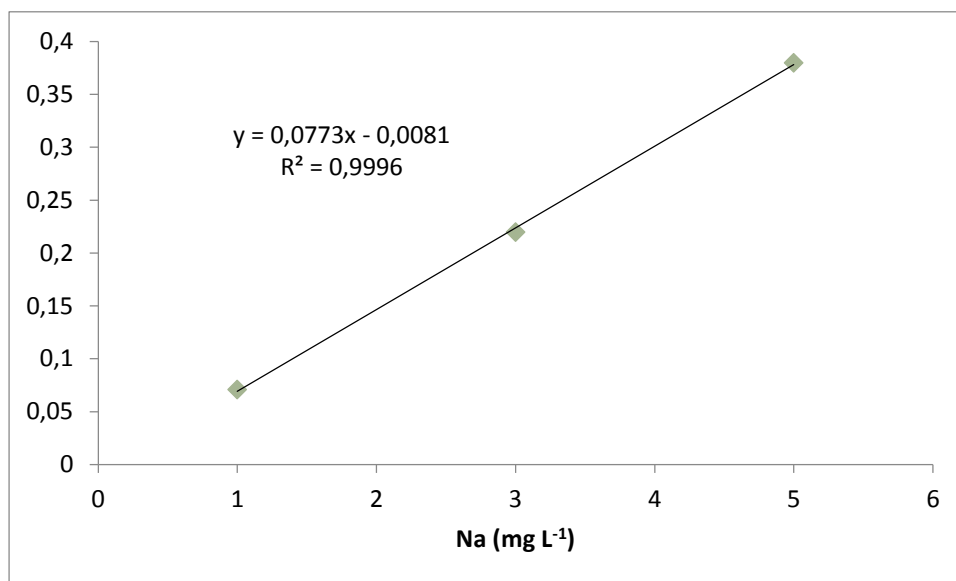


Gráfico 5: Curva de calibrado para el ion sodio valores de emisión en función de la concentración

Como se observa en el gráfico 5 la respuesta lineal del aumento de la respuesta del equipo traducido a valores adimensionales de emisión en función de los valores crecientes de concentración. Se obtuvo la ecuación de la recta lo que permitió calcular el factor para calcular la concentración y luego multiplicar por las lecturas de las muestras teniendo en cuenta su factor de dilución correspondiente para todas las muestras y para el caso del ion sodio fue de 1/100.

$$\text{Na mg L}^{-1} = \frac{1}{0,0305} = 32,78 * \text{Lectura de emisión Muestra} * \text{Factor Dilución}$$

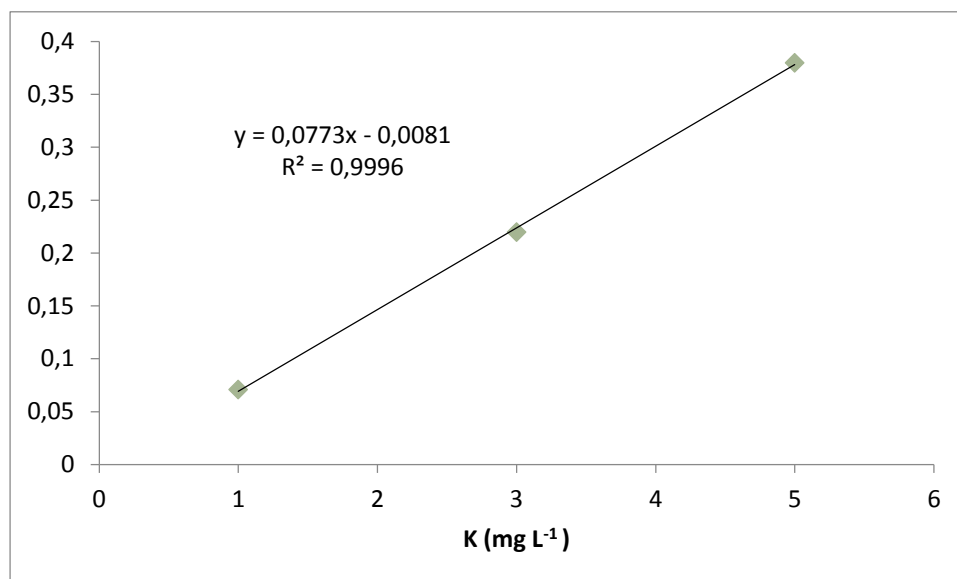


Gráfico 6: Curva de calibrado para el ion potasio valores de emisión en función de la concentración

En el gráfico 6 vemos la respuesta lineal de las lecturas de emisión del instrumento en aumento de la concentración de los patrones.

$$K \text{ mg L}^{-1} = \frac{1}{0,0772} = 12.95 * \text{Lectura de emisión Muestra}$$

Para el cálculo de la concentración del ion potasio, se multiplicó las lectura de emisión de la muestra por el factor calculado a partir de la curva de calibrado.

CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Para la clasificación de las aguas para consumo humano nos basamos en lo que establece el Código Alimentario Argentino para BEBIDAS HÍDRICAS, AGUA Y AGUA GASIFICADA, Artículo 982 - (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007).

Amonio

Máximo permitido para aguas de consumo 0.20 mg L⁻¹

PARAMETROS SANITARIO	% de Muestras
Mayor de 0.20 mg L ⁻¹	6.66
Menor de 0.20 mg L ⁻¹	93.34

Tabla 2: Valores de Amonio de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	NH ⁺ ₄ (mg L ⁻¹)	MUESTRA Nº	NH ⁺ ₄ (mg L ⁻¹)	MUESTRA Nº	NH ⁺ ₄ (mg L ⁻¹)
1	0,04	11	0	21	0
2	0,03	12	0,04	22	0
3	0,03	13	0,02	23	0
4	0,03	14	0	24	0
5	0	15	0,01	25	0
6	0	16	0	26	0
7	0	17	0,13	27	0
8	0,2	18	0,13	28	0
9	0	19	0,29	29	0,03
10	0,02	20	0	30	0

Nitritos

Máximo permitido para aguas de consumo 0.10 mg L^{-1}

PARAMETROS SANITARIO	% de Muestras
Mayor de 0.10 mg L^{-1}	6.66
Menor de 0.10 mg L^{-1}	93.34

Tabla 3: Valores de Nitritos los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	$\text{NO}^{-2} \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$	MUESTRA Nº	$\text{NO}^{-2} \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$	MUESTRA Nº	$\text{NO}^{-2} \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$
1	0,04	11	0,03	21	0,01
2	0,02	12	0,02	22	0,01
3	0,01	13	0	23	0,02
4	0,04	14	0	24	0,01
5	0,01	15	0	25	0,01
6	0	16	0	26	0
7	0	17	0	27	0
8	0,1	18	0,7	28	0,05
9	0	19	0,02	29	0,01
10	0,02	20	0	30	0

Nitratos

Máximo permitido para aguas de consumo 45 mg L⁻¹

PARAMETROS SANITARIO	% de Muestras
Menor de 45 mg L ⁻¹	100

Tabla 4: Valores de Nitrato de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	NO ⁻³ (mg L ⁻¹)	MUESTRA Nº	NO ⁻³ (mg L ⁻¹)	MUESTRA Nº	NO ⁻³ (mg L ⁻¹)
1	6,64	11	19,4	21	1,96
2	29,59	12	4,38	22	1,4
3	2,04	13	3,26	23	25,87
4	1,05	14	3,53	24	27,83
5	7,66	15	3,11	25	9,88
6	10,47	16	3,35	26	8,76
7	2,46	17	1,88	27	10,74
8	3,47	18	2,15	28	1,95
9	4,9	19	3,2	29	0,05
10	3,03	20	9,03	30	1,76

Cloruros

Máximo permitido para aguas de consumo 350 mg L⁻¹

PARAMETROS SANITARIO	% de Muestras
Menor de 350 mg L ⁻¹	100

Tabla 5: Valores de Cloruros de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	MUESTRA Nº	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	MUESTRA Nº	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)
1	12	11	22,5	21	9,5
2	14	12	8,5	22	9,5
3	17,5	13	12,5	23	13,5
4	26,5	14	9,5	24	11,5
5	26	15	10	25	14,5
6	18	16	9	26	12
7	67	17	10	27	9,5
8	15	18	7	28	25
9	16	19	12,5	29	23
10	6	20	7	30	30

Sulfatos

Máximo permitido para aguas de consumo 400 mg L⁻¹

PARAMETROS SANITARIO	% de Muestras
Menor de 400 mg L ⁻¹	100

Tabla 6: Valores de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	SO ₄ ⁻² (mg L ⁻¹)	MUESTRA Nº	SO ₄ ⁻² (mg L ⁻¹)	MUESTRA Nº	SO ₄ ⁻² (mg L ⁻¹)
1	14,66	11	9,56	21	3,83
2	23,03	12	19,25	22	7,24
3	4,89	13	6,59	23	8,62
4	11,57	14	5,47	24	3,3
5	4,36	15	3,8	25	6,71
6	3,93	16	3,8	26	6,6
7	11,93	17	2,34	27	3,3
8	18,07	18	2,46	28	75,39
9	8,93	19	0,56	29	64,63
10	3,19	20	8,04	30	74,77

Dureza Total (expresada en CaCO_3)

Máximo permitido para aguas de consumo 400 mg L^{-1}

PARAMETROS SANITARIO	% de Muestras
Menor de 400 mg L^{-1}	100

Tabla 7: Valores de Dureza, Calcio y Magnesio de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	Dureza (mg L^{-1} $^1\text{CaCO}_3$)	Ca^{2+} (mg L^{-1})	Mg^{2+} (mg L^{-1})	MUESTRA Nº	Dureza (mg L^{-1} $^1\text{CaCO}_3$)	Ca^{2+} (mg L^{-1})	Mg^{2+} (mg L^{-1})	MUESTRA Nº	Dureza (mg L^{-1} $^1\text{CaCO}_3$)	Ca^{2+} (mg L^{-1})	Mg^{2+} (mg L^{-1})
1	368,33	123,2	14,63	11	50,05	12	4,88	21	100,09	12	17,07
2	368,33	110,4	22,44	12	70,06	24	2,44	22	120,11	28	12,2
3	104,09	19,2	13,66	13	300,27	72	29,27	23	110,1	28	9,76
4	340,31	46,4	54,63	14	290,26	68	29,27	24	110,5	20	14,73
5	364,33	120	15,61	15	210,19	60	14,63	25	110,1	28	9,76
6	288,26	99,2	9,76	16	210,19	60	14,63	26	100,09	28	7,32
7	88,08	16	11,71	17	300,27	140	12,2	27	110,1	20	14,63
8	356,32	113,6	17,56	18	260,23	84	12,2	28	152,14	44,8	9,76
9	80,07	16	9,76	19	330,3	92	24,39	29	124,11	35,2	8,78
10	50,05	8	7,32	20	390,35	120	21,95	30	156,14	46,4	9,76

pH

Límites establecidos por la CAA para aguas de consumo 6,5 – 8,5.

PARAMETROS SANITARIO	% de Muestras
Menor de 6.5	23.3
Mayor de 6.5	76.7

Tabla 8: Valores de pH de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	pH	MUESTRA Nº	pH	MUESTRA Nº	pH
1	6,77	11	6,04	21	6,91
2	7,1	12	6,36	22	6,92
3	7,18	13	6,56	23	6,5
4	6,04	14	6,88	24	6,7
5	7,72	15	6,89	25	6,6
6	7,51	16	6,9	26	6,37
7	6,96	17	7,27	27	6,74
8	7,51	18	7,38	28	6,42
9	7,77	19	7,38	29	6,66
10	5,9	20	7,4	30	6,44

Si bien se encontraron muestras con pH menor de 6.5, las misma no presentaban una acidez extrema como para considerarla inadecuada para el consumo, debiéndose evaluar otros parámetros químicos para descartarlas para el consumo humano. No se encontró ninguna muestra fuera del límite superior pH 8.5, encontrándose 76.7% de las muestras dentro del rango establecido por Código Alimentario Argentino.

CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA USO AGRÍCOLA

Clasificación de las aguas según las normas Riverside:

Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (U.S. Soll Salinity Laboratory).

Porcentaje de Muestras	Clasificación Según Riverside
53.3%	C2S1
46.7%	C1S1

C1S1: Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad. Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

C2S1: Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad. Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

Determinación de dureza del agua.

El grado de dureza se refiere al contenido en carbonato de calcio de las aguas.

Se expresa en grados hidrotimétricos franceses (G.H.F.)

$$\text{G.H.F} = \frac{([\text{mg L}^{-1} \text{Ca}^{2+}] * 2,5 + [\text{mg L}^{-1} \text{Mg}^{2+}] * 4,12)}{10}$$

1GHF equivale a una cantidad tal de calcio que originaría 1 centigramo de carbonato de calcio por cada litro de agua.

Tabla 9: Clasificación de las aguas en función de la dureza expresada en grados hidrotimétricos franceses.

Tipos de agua	Grados hidrométricos franceses
Muy blanda	Menor a 7
Blanda	7-14
Semiblanda	14-22
Semidura	22-32
Dura	32-54
Muy dura	Más de 54

Fuente: Canovas Cuenca (1978).

Se clasificó todas las aguas estudiadas de acuerdo a los grados hidrotimétricos franceses que se calculó para cada una, y se realizó el cálculo del porcentaje que corresponde a al tipo de agua.

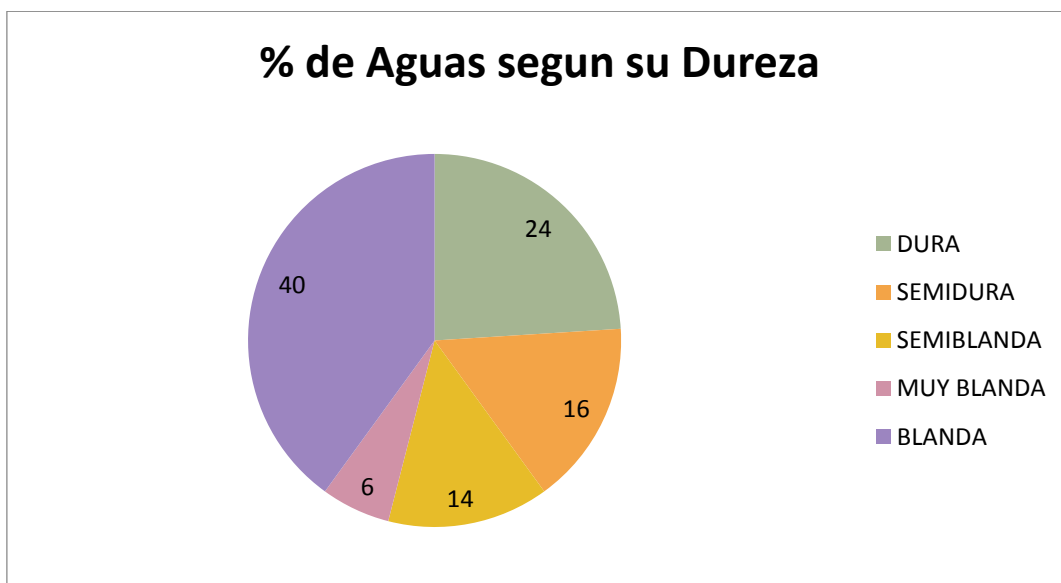


Gráfico 7: Porcentaje de las aguas analizadas según su dureza de acuerdo a grados hidrotimétricos franceses.

En el gráfico 7 vemos que del total de muestras analizadas, el que mayor porción mostro según la clasificación fue el correspondiente a aguas blandas, lo que indicaría que las pertenecientes a esta clase son aptas para uso agrícola sin ningún riesgo en caso de la aplicación por ejemplo de riego por aspersión a que se produzca incrustaciones.

CONCLUSIONES

- Como resultado de este trabajo adquirí experiencia y destreza en el análisis físico y químico de aguas, he aprendido a interpretar los regímenes establecidos por ley para su uso y los he comparado con los datos obtenidos de las muestras analizadas. Además de estar en contacto con los instrumentos de laboratorio, las leyes de la química y la física que rigen para los análisis de agua.
- Todo esto fue muy enriquecedor para desenvolverme en la vida profesional y colaborar en las actividades emprendidas por los productores en el campo, ya que el agua es un líquido vital para el consumo y uso de los seres vivos, por lo que su calidad es primordial.
- Según la clasificación de Normas Riverside todas las aguas analizadas en este trabajo, pueden ser utilizadas sin problemas en el futuro, con el ion sodio.
- En lo que respecta a la salinidad, el 46,7 % de las muestras son aguas de salinidad media, aptas para riego. En ciertos casos puede ser necesario no emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
- En referencia a la dureza de las aguas: el 40 % de las mismas son blandas sin ningún problema para ser usadas para riego, y el 24 % son duras lo cual podría acarrear problemas por incrustación en cañerías y aspersores.
- En lo que respecta a la ley vigente de los parámetros que fija el Código Alimentario Argentino, solo el ion amonio y el nitrito fueron los que presentaron una concentración mayor a la admisible para consumo

humano en un porcentaje de 6.66 % del total de las muestras analizadas para ambos iones.

BIBLIOGRAFÍA

- Baccaro, K.;M. Degorgue; M. Lucca; L. Picone; E. Zamuner; Y. Andreoli, 2006. Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de mar de plata. Rev. Invest. Agropec. 35: 95-110.
- California fertilizeraassociation and soilimprovementcommittee: manual De fertilizantes para horticultura, uteha-noriega editores, méxico, 1995, 297 p.
- Cortés-Jiménez,J.;E.Troyo-Diéguez; B. Murillo-Amador; J. García-Hernández;J.Garatuza-Payán;S. Suh Lee. 2009. Índices de calidad del agua del acuífero del valle del yaqui, sonora. Terra Latinoam. 27: 133 – 141.
- Canovas Cuenca J., 1978. Calidad Agronómica de las agua de riego. Publicaciones de extensión agraria. Madrid (España). 55 páginas.
- Dell’Amico Rodríguez J.; D. Morales Guevara; J.Calaña Naranjo. 2011. Monitoreo de la calidad del agua para riego de fuentes de abasto subterráneas en la parte alta del nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento. Cult.Trop. 32: 71 – 81.
- Molina Guevara, S. 2010. Estandarización de métodos de análisis para la determinación de nitratos, nitritos, compuestos fenólicos y, aceites y grasas utilizadas como indicadores de contaminación en aguas naturales y residuales industriales. Trabajo de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 226 p.
- Severiche, A.; H. Gonzáles. 2012. Evaluación analítica para la determinación de sulfato en aguas por método turbidimétrico modificado. Rev. Fac. Ing. USBMed.3: 6 – 11.

- Rice, E.W.; R.B. Baird; A.D. Eaton; L.S. Clesceri. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22^{da} ed. APHA, AWWA y WEF. Washington, EUA. 1496 p.

Anexos

Tabla 10: Valores de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	pH	Conductividad $\mu\text{S cm}^{-1}$	Alcalinidad mg L^{-1} $^1\text{CaCO}_3$ (Expresado en bicarbonatos)	Na^+ mg L^{-1}	K^+ mg L^{-1}	Ca^{2+} mg L^{-1}	Mg^{2+} mg L^{-1}
1	6,77	447	326	23,07	10,89	123,20	14,63
2	7,10	516	240	13,67	4,53	110,40	22,44
3	7,18	90	32	8,26	3,37	19,20	13,66
4	6,04	164	38	5,70	5,78	46,40	54,63
5	7,72	563	370	20,50	5,53	120,00	15,61
6	7,51	444	296	10,23	6,32	99,20	9,76
7	6,96	330	100	15,23	10,23	16,00	11,71
8	7,51	535	360	12,32	2,35	113,60	17,56
9	7,77	85	70	6,36	6,39	16,00	9,76
10	5,90	62	20	3,33	2,72	8,00	7,32
11	6,04	177	30	25,55	6,40	12,00	4,88
12	6,36	113	50	7,40	6,08	24,00	2,44
13	6,56	171	260	34,91	6,14	72,00	29,27
14	6,88	514	260	38,71	6,59	68,00	29,27
15	6,89	376	190	22,52	6,04	60,00	14,63
16	6,90	376	190	24,29	7,14	60,00	14,63
17	7,27	494	250	15,68	4,49	140,00	12,20
18	7,38	400	200	6,07	4,21	84,00	12,20
19	7,38	494	250	7,34	1,92	92,00	24,39
20	7,40	581	290	11,64	34,80	120,00	21,95
21	6,91	101	80	38,54	7,07	12,00	17,07
22	6,92	223	110	38,54	11,85	28,00	12,20
23	6,50	159	30	10,56	2,61	28,00	9,76
24	6,70	145	10	5,99	3,59	20,00	14,73
25	6,60	166	60	22,84	7,39	28,00	9,76
26	6,37	152	60	20,84	7,50	28,00	7,32
27	6,74	126	50	11,99	1,30	20,00	14,63
28	6,42	351	146	43,30	5,61	44,80	9,76
29	6,66	286	120	33,94	4,24	35,20	8,78
30	6,44	364	146	45,70	4,24	46,40	9,76

Tabla 11: Valores de los parámetros estudiados en las muestras de agua.

MUESTRA Nº	Dureza	NH ⁺ ₄	NO ⁻ ₂	NO ⁻ ₃	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
	mg L ⁻¹ CaCO ₃	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
1	368,33	0,04	0,04	6,64	14,66	12,00
2	368,33	0,03	0,02	29,59	23,03	14,00
3	104,09	0,03	0,01	2,04	4,89	17,50
4	340,31	0,03	0,04	1,05	11,57	26,50
5	364,33	0,00	0,01	7,66	4,36	26,00
6	288,26	0,00	0,00	10,47	3,93	18,00
7	88,08	0,00	0,00	2,46	11,93	67,00
8	356,32	0,20	0,10	3,47	18,07	15,00
9	80,07	0,00	0,00	4,90	8,93	16,00
10	50,05	0,02	0,02	3,03	3,19	6,00
11	50,05	0,00	0,03	19,40	9,56	22,50
12	70,06	0,04	0,02	4,38	19,25	8,50
13	300,27	0,02	0,00	3,26	6,59	12,50
14	290,26	0,00	0,00	3,53	5,47	9,50
15	210,19	0,01	0,00	3,11	3,80	10,00
16	210,19	0,00	0,00	3,35	3,80	9,00
17	300,27	0,13	0,00	1,88	2,34	10,00
18	260,23	0,13	0,70	2,15	2,46	7,00
19	330,30	0,29	0,02	3,20	0,56	12,50
20	390,35	0,00	0,00	9,03	8,04	7,00
21	100,09	0,00	0,01	1,96	3,83	9,50
22	120,11	0,00	0,01	1,40	7,24	9,50
23	110,10	0,00	0,02	25,87	8,62	13,50
24	110,50	0,00	0,01	27,83	3,30	11,50
25	110,10	0,00	0,01	9,88	6,71	14,50
26	100,09	0,00	0,00	8,76	6,60	12,00
27	110,10	0,00	0,00	10,74	3,30	9,50
28	152,14	0,00	0,05	1,95	75,39	25,00
29	124,11	0,03	0,01	0,05	64,63	23,00
30	156,14	0,00	0,00	1,76	74,77	30,00

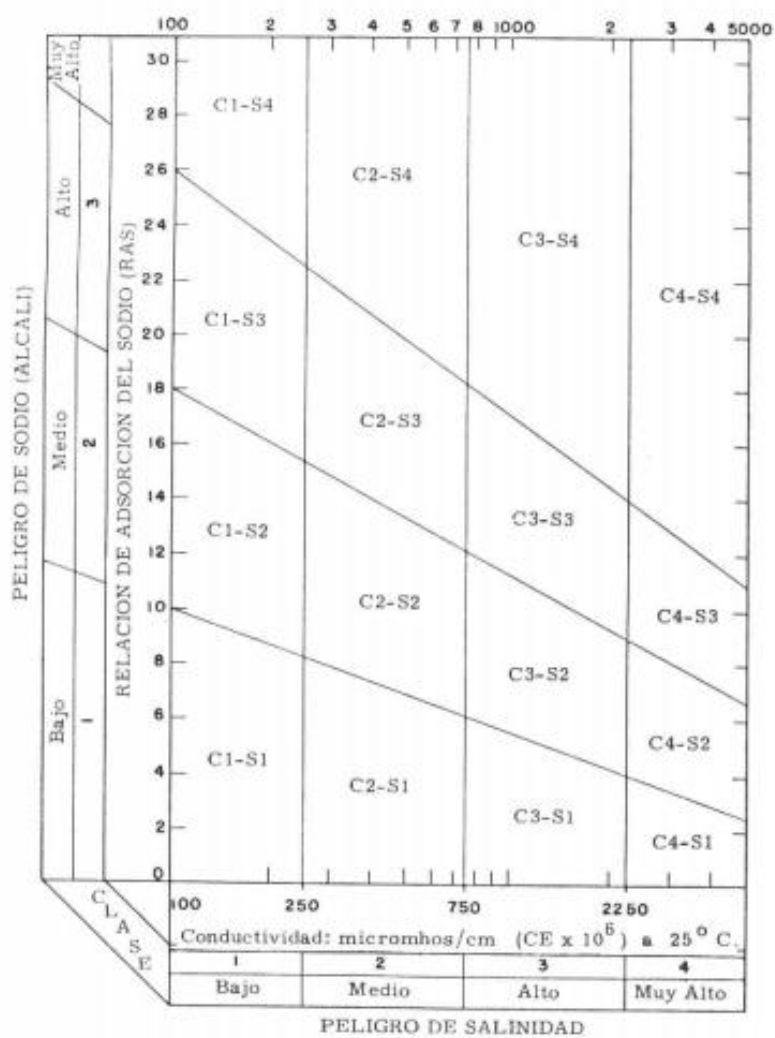
Tabla 12: Clasificación de las agua para uso agrícola según normas Riverside

RAS	Conductividad $\mu\text{mho cm}^{-1}$	Clasificación de las Aguas
0.52	447	C2S1
0.31	516	C2S1
0.35	90	C1S1
0.12	164	C1S1
0.46	563	C2S1
0.26	444	C2S1
0.70	330	C2S1
0.28	535	C2S1
0.30	85	C1S1
0.20	62	C1S1
1.58	177	C1S1
0.38	113	C1S1
0.87	171	C1S1
0.98	514	C2S1
0.66	376	C2S1
0.72	376	C2S1
0.24	494	C2S1
0.16	400	C2S1
0.17	494	C2S1
0.15	581	C2S1
2.08	101	C1S1
1.75	223	C1S1
0.43	159	C1S1
0.24	145	C1S1
0.95	166	C1S1
0.90	152	C1S1
0.51	126	C1S1
1.46	351	C2S1
1.32	286	C2S1
0.79	364	C2S1

Tabla 13: Clasificación de la dureza de las aguas de acuerdo a los grados hidrotimétricos franceses correspondientes a cada muestra.

MUESTRA N°	Ca mg L ⁻¹	Mg mg L ⁻¹	Grados Hidrotimétricos Franceses	CLASIFICACIÓN
1	123,20	14,63	37,39	Dura
2	110,40	22,44	37,70	Dura
3	19,20	13,66	10,95	Blanda
4	46,40	54,63	36,19	Dura
5	120,00	15,61	37,02	Dura
6	99,20	9,76	29,19	Semidura
7	16,00	11,71	9,27	Blanda
8	113,60	17,56	36,30	Dura
9	16,00	9,76	8,39	Blanda
10	8,00	7,32	5,29	Muy blanda
11	12,00	4,88	5,20	Muy blanda
12	24,00	2,44	7,10	Blanda
13	72,00	29,27	31,17	Semidura
14	68,00	29,27	30,17	Semidura
15	60,00	14,63	21,59	Semiblanda
16	60,00	14,63	21,59	Semiblanda
17	140,00	12,20	40,49	Semidura
18	84,00	12,20	26,49	Semidura
19	92,00	24,39	33,98	Dura
20	120,00	21,95	39,88	Dura
21	12,00	17,07	10,68	Blanda
22	28,00	12,20	12,49	Blanda
23	28,00	9,76	11,39	Blanda
24	20,00	14,73	11,63	Blanda
25	28,00	9,76	11,39	Blanda
26	28,00	7,32	10,29	Blanda
27	20,00	14,63	11,59	Blanda
28	44,80	9,76	15,59	Semiblanda
29	35,20	8,78	12,75	Blanda
30	46,40	9,76	15,99	Semiblanda

Figura 12: Diagrama para clasificación de aguas según normas Riverside.



Normas Riverside: Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).

Figura 13: Clasificación de las aguas según normas Riverside para uso agrícola.

Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside	
Tipos	Calidad y normas de uso
C ₁	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C ₂	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C ₃	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₄	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₅	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C ₆	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S ₁	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S ₂	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S ₃	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S ₄	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Referencia.
1. http://www.infogro.com/riegos/diagnostico_aguas2.asp