

**EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AGUA PROVENIENTE DE LOS POZOS  
DE EXPLORACIÓN DE LAS LOCACIONES DE CAÑO LIMÓN Y CARICARE DE  
OCCIDENTAL DE COLOMBIA (OXY) PARA SU POSIBLE USO COMO AGUA  
DE RIEGO PARA CULTIVO**

**EDERSON JAIMES CUBEROS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
BUCARAMANGA  
2010**

**EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AGUA PROVENIENTE DE LOS POZOS  
DE EXPLORACIÓN DE LAS LOCACIONES DE CAÑO LIMÓN Y CARICARE DE  
OCCIDENTAL DE COLOMBIA (OXY) PARA SU POSIBLE USO COMO AGUA  
DE RIEGO PARA CULTIVO**

**EDERSON JAIMES CUBEROS**

**Directora**

**LUZ YOLANDA VARGAS FIALLO**

**Msc. Química, Especialista en Química Ambiental**

**Laboratorio Químico de Consultas Industriales - UIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE QUÍMICA**

**BUCARAMANGA**

**2010**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Gladys Cuberos Tarazona y Pedro Vicente Jaimes Villamizar por su amor, confianza y apoyo incondicional en todas mis decisiones.

A mis hermanos, Pedro Jesús, Néstor Javier, Ángel Miguel y Edwin Alexis por su amor, confianza, apoyo moral y profesional.

A mis abuelitos, María de la Cruz Tarazona, Tulia Villamizar, Julio Ernesto Cuberos (Q.E.P.D.) y Vicente Jaimes, por todo el apoyo moral y sentimental, y por su aporte en mi formación personal.

A mis sobrinos, Wistom, Sofía, Daniela y Nicolás por el amor y cariño que les tengo.

## **AGRADECIMIENTO**

El autor expresa los agradecimientos a:

La magister Luz Yolanda Vargas Fiallo, por su paciencia, dedicación y por su valiosa contribución en todo momento acerca de sus conocimientos académicos para mi formación profesional y por permitirme desarrollar los análisis en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales para la culminación de la presente monografía.

Mis amigos y compañeros de la Universidad, Jesús Hernando Abaunza, Carlos Enrique Díaz y Carolina Cuchimaque por su cariño, apoyo profesional y moral.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	16
1. ESTADO DEL ARTE. FUNDAMENTO TEÓRICO	18
1.1 ANALISIS FISICOQUÍMICOS	18
1.1.1 pH	19
1.1.2 Temperatura	21
1.1.3 Sólidos	22
1.1.3.1 Sólidos totales:	22
1.1.3.2 Sólidos disueltos	23
1.1.3.3 Sólidos suspendidos	23
1.1.3.4 Sólidos volátiles:	23
1.1.3.5 Sólidos sedimentables	24
1.1.4 Conductividad Eléctrica (CE)	25
1.1.5 Alcalinidad	27
1.1.6 Salinidad Efectiva (SE)	30
1.1.7 Salinidad Potencial (SP)	31
1.1.8 Calidad del Recurso según la concentración relativa de sodio	32
1.1.8.1 Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	32
1.1.8.2 Carbonato de Sodio Residual (CSR)	33
1.1.8.3 Porcentaje de Sodio Posible (PSP)	34
1.1.8.4 Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)	34
1.1.9 Índice de Saturación de Langelier (ISL)	35

1.1.10 Normas Riverside	38
1.1.11 Índice de Scott	41
1.1.12 Normas Greene	42
1.1.13 Normas L.V. Wilcox	44
1.1.14 Elementos Fitotóxicos	45
1.1.14.1 Cloruros.	45
1.1.14.2 Sulfatos	45
1.1.14.3 Hierro.	45
2. OBJETIVOS	47
2.1 OBJETIVO GENERAL	47
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	47
3. PARTE EXPERIMENTAL	48
3.1 INTEGRACIÓN DE LAS MUESTRAS, MEDICIÓN DE pH Y TEMPERATURA	48
Se tomaron 5 muestras de aguas puntuales por piscina de floculación, el cual se llevó a cabo el siguiente procedimiento:	48
3.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DETERMINADOS EN LABORATORIO	51
3.2.1 Calidad del recurso según la salinidad	51
3.2.1.1 Salinidad Efectiva (SE)	51
3.2.1.2 Salinidad Potencial (SP)	52
3.2.2 Calidad del Recurso según la concentración relativa de sodio	53
3.2.2.1 Relación de Absorción de Sodio (RAS) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)	53
3.2.2.2 Carbonato de Sodio Residual (CSR) y Porcentaje de Sodio Posible (PSP)	55
3.2.3 Índice de Saturación de Langelier (ISL)	56

3.2.4 Índice de Scott	58
3.2.5 Normas Greene y Wilcox	59
3.2.6 Elementos Fitotóxicos	62
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
4.1 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA SALINIDAD EFECTIVA (SE)	63
4.2 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA SALINIDAD POTENCIAL (SP)	63
4.3 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA CONCENTRACIÓN RELATIVA DE SODIO	64
4.3.1 Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	65
4.3.2 Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)	65
4.3.3 Carbonato de Sodio Residual (CSR)	66
4.3.4 Porcentaje de Sodio Posible (PSP)	67
4.4 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN EL ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER (ISL)	68
4.5 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LAS NORMAS RIVERSIDE	69
4.6 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN EL ÍNDICE DE SCOTT	71
4.7 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA NORMA GREENE	72
4.8 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA NORMA L.V. WILCOX	73
4.9 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LOS ELEMENTOS FITOTÓXICOS	74
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	79

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Calificación del agua según la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a $25^\circ\text{C}$ .	27
Tabla 2. Calificación del agua según su salinidad efectiva ( $\text{meq}/\text{L}$ )	31
Tabla 3. Calificación del agua según la relación de adsorción de sodio (RAS).	33
Tabla 4. Calificación del agua según la concentración de CSR.	34
Tabla 5. Clasificación de agua según el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).	35
Tabla 6. Indicación de la calidad del agua según el ISL.	37
Tabla 7. Calidad del agua según el ISL modificado por Carrier (CARRIER, 1980).	38
Tabla 8. Clasificación del agua para riego según las normas Riverside.	40
Tabla 9. Calidad del agua de riego según los valores del índice de Scott.	42
Tabla 10. Evaluación del riesgo de inducir toxicidad del agua de riego.	46
Tabla 11. Resultados de SE para la calificación de las muestras compuestas como posibles aguas de riego.	63
Tabla 12. Resultados de SE para la calificación de las muestras compuestas como posibles aguas de riego	64
Tabla 13. Resultados del RAS para la calificación de las muestras compuestas como posibles aguas de riego.	65
Tabla 14. Resultados del PSI para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego	66
Tabla 15. Resultados del CSR para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego	67
Tabla 16. Resultados del PSP para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego	67

Tabla 17. Resultados del ISL para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego	68
Tabla 18. Clasificaciones de las aguas de riego según las normas Riverside (relaciona la conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a $25^\circ\text{C}$ vs RAS).	69
Tabla 19. Resultados del índice de Scott para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego.	71
Tabla 20. Resultados de los elementos fitotóxicos según el riesgo de toxicidad	74

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Curva de titulación con ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) para una mezcla de hidróxido – carbonato.	29
Figura 2. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.	39
Figura 3. Relación entre concentración relativa de sodio y concentración de iones totales (meq/L) para evaluación del índice de Scott.	43
Figura 4. Clasificación de las aguas de riego basada en el riesgo de salinidad.	44
Figura 5. Muestreo en forma de nido utilizado en campo.	48
Figura 6. Evaluación según las Normas de Riverside para la calidad de las muestras como aguas de riego	70
Figura 7. Evaluación según la Norma Greene para la calidad de las muestras como aguas de riego.	72
Figura 8. Evaluación según la Norma Wilcox para la calidad de las muestras como aguas de riego.	73

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Datos condensados de los parámetros fisicoquímicos determinados en campo y en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales a las muestras compuestas	50
Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos indispensables el cálculo de SE (los datos se encuentran en meq/L)	52
Cuadro 3. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el cálculo de SP (los datos se encuentran en meq/L)	53
Cuadro 4. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el cálculo del RAS y PSI (los datos de concentración se encuentran en meq/L).	54
Cuadro 5. Parámetros fisicoquímicos para el cálculo del CSR y PSP	55
Cuadro 6. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el cálculo del pHs.	57
Cuadro 7. Valores de las variables indispensables para determinar el ISL.	57
Cuadro 8. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el evaluar el criterio del índice de Scott.	58
Cuadro 9. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el cálculo del índice de Scott.	59
Cuadro 10. Parámetros fisicoquímicos indispensables para determinar la concentración relativa de sodio (%).	60
Cuadro 11. Parámetros fisicoquímicos indispensables para determinar la concentración de iones totales (meq Sales/L).	61
Cuadro 12. Parámetros fisicoquímicos indispensables para calificar el riesgo del agua de riego según Wilcox.	61
Cuadro 13. Parámetros fisicoquímicos indispensables para establecer el criterio de fitotóxicidad del agua de riego	62

## RESUMEN

**TITULO: EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AGUA PROVENIENTE DE LOS POZOS DE EXPLORACIÓN DE LAS LOCACIONES DE CAÑO LIMÓN Y CARICARE DE OCCIDENTAL DE COLOMBIA (OXY) PARA SU POSIBLE USO COMO AGUA DE RIEGO PARA CULTIVO**

**Autor: Ederson Jaimes Cuberos\*\***

**Palabras Claves:** agua de riego, muestreo, análisis fisicoquímicos, conductividad, alcalinidad, dureza cálcica, sólidos disueltos, cloruros, sulfatos, hierro y boro.

En la localidad de Caño Limón y Caricare (Arauca) se realizaron los estudios de análisis de las aguas, producto de la floculación de aguas provenientes de los pozos de exploración para su clasificación como agua de riego. Para tal fin, se llevó a cabo el muestreo de las piscinas de floculación de las aguas provenientes de los pozos de exploración de las locaciones de Caño Limón y Caricare de Occidental de Colombia (OXY) para su análisis en el laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander. Por tal motivo, se implementó un protocolo de muestreo, en el cual se conformaron 6 muestras compuestas de 2 Litros de agua a partir de las 5 muestras puntuales correspondientes a cada piscina, se rotularon los envases y se almacenaron en la cava con hielo para su transporte al laboratorio.

Así mismo, se realizaron los análisis fisicoquímicos de las muestras No. 1 – 6 y se reportaron los datos correspondientes a 6,80 – 8,15 de pH, 28° - 30°C de temperatura, 1000 – 3110 $\mu$ S/cm de conductividad, 93 – 195mgCaCO<sub>3</sub>/L de alcalinidad, 144 – 242mgCaCO<sub>3</sub>/L de dureza cálcica, 934 – 4537mg/L de sólidos disueltos, 102 – 209mg/L de cloruros (Cl<sup>-</sup>), 224 – 386mg/L de sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 0,70 – 2,71mg/L de hierro (Fe) y 0,90 – 0,21mg/L de boro (B). Según los criterios del departamento de salinidad de EE.UU. (Riverside), estas aguas son altamente salinas (clase C3 y C4) y con niveles bajos de sodicidad (clase S1). Por otra parte, el cálculo del índice de Scott, la norma Greene y Wilcox mostraron que todas las muestras presentan una considerable concentración de sales que podrían imposibilitar el desarrollo normal de especies vegetales sensibles.

---

\*\* Director: Luz Yolanda Vargas Fiallo, Msc. Laboratorio Químico de Consultas Industriales. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Industrial de Santander.

## ABSTRACT

**TITLE: EVALUATION AND CLASSIFICATION OF THE WATER FROM WELLS EXPLORATION OF THE LOCATION OF CAÑO LIMON AND CARICARE OF OCCIDENTAL FROM COLOMBIA (OXY) FOR POSSIBLE USE AS WATER FOR CROP IRRIGATION**

**Author: Ederson Jaimes Cuberos\*\***

**Key Words:** irrigation water, sampling, analysis, physicochemical, conductivity, alkalinity, calcium hardness, dissolved solids, chlorides, sulfates, iron and boron.

In the town of Cano Limon and Caricare (Arauca) studies were carried out water analysis, product of the flocculation of water from exploration wells for classification as irrigation water. For this purpose, it conducted sampling flocculation pools of water from wells for exploration of the locations of Cano Limon and Caricare Occidental of Colombia (OXY) for analysis in the Chemical Laboratory of Industry Consultations of Santander Industrial University. For this reason, we implemented a sampling protocol, which was formed six composite samples from two liters of water from the five spot samples for each pool, were labeled containers and stored in the cellar with ice for transport to the laboratory.

In addition, physicochemical analysis was made of samples No. 1-6 and reported data for 6.80 to 8.15 pH, 28° - 30°C temperature, 1000 - 3110 $\mu$ S/cm conductivity 93 - 195mgCaCO<sub>3</sub>/L of alkalinity, 144 - 242mgCaCO<sub>3</sub>/L of calcium hardness, 934 - 4537mg/L of dissolved solids, 102 - 209mg/L of chloride (Cl<sup>-</sup>), 224 - 386mg/L of sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 0.70 to 2.71 mg/L of iron (Fe) and 0.90 - 0.21 mg/L of boron (B). According to the criteria of the U.S. department of salinity (Riverside), these waters are highly saline (class C3 and C4) and low levels of sodicity (class S1). Moreover, the calculation of the Scott, Greene and Wilcox standard showed that all samples show a significant concentration of salts that could preclude the normal development of sensitive plant species.

---

\*\* Director: Luz Yolanda Vargas Fiallo, Msc. Chemical Laboratory of Industry Consultations. Chemistry Department. Science Faculty. Universidad Industrial de Santander.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Colombia la industria petrolera se encuentra en su auge debido a la constante demanda que se requiere en el mundo de productos derivados del petróleo. Así mismo, este aumento llevó al acelerado incremento de la cantidad de combustible vehicular para su consumo; y a su vez, a un crecimiento de desechos al medio ambiente siendo un contaminante de alto impacto las aguas residuales provenientes de la explotación y tratamiento del crudo en yacimientos por parte de la industria petrolera. Por otra parte, los problemas ambientales asociados al desarrollo hidro-agrícola son claramente notorios e impactan las áreas circundantes a la zona de riego; entre ellos se destacan: los problemas de salinidad del suelo y la contaminación del agua, tanto superficial como subterránea. Por ello, se hace necesaria la evaluación del agua proveniente de los pozos de exploración para su posterior aplicación como posible agua para riego agrícola; la cual, debe estar precedida por un estudio para su clasificación de tal manera que pueda ser aprovechada.

Por sus propias características estructurales, el agua disuelve y mantiene en suspensión un gran número de sustancias. Muchas de esas sustancias son potencialmente tóxicas para las plantas y la acumulación de ellas, sean o no directamente tóxicas, genera problemas para los vegetales por efecto salino (PASTERNAK & De MALACH, 1994).

Así mismo, todas las aguas de irrigación contienen sales disueltas en cantidades variables. La calidad del agua está determinada por la presencia de algunos constituyentes de importancia en el ambiente y por la concentración total iones en ellas. Al encontrarse en solución, las sales están separadas en aniones y cationes

que finalmente serán las formas en que cada constituyente se determinará analíticamente para la clasificación de la calidad del agua. A lo largo del tiempo han sido desarrollados diversos sistemas de clasificación de las aguas para riego. Con pequeñas variaciones, los criterios de clasificación de todos ellos toman en consideración la presencia de constituyentes particulares que pueden ser fitotóxicos, representan riesgos para la calidad del suelo; y la concentración total de los constituyentes solubles en el agua (CARTER, 1975).

En la localidad de Caño Limón y Caricare (Arauca) no hay antecedentes de estudios de análisis de las aguas, producto de la floculación de aguas provenientes de los pozos de exploración para su clasificación como agua de riego; la finalidad de esta monografía fue evaluar la calidad del agua por medio de la determinación analítica de sus constituyentes solubles.

## 1. ESTADO DEL ARTE. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 ANALISIS FISICOQUÍMICOS

El término *calidad del agua* es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria (CASTRO, 1987).

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial (CASTRO, 1987).

Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo, a las unidades y terminología empleadas (CASTRO, 1987).

Para una correcta interpretación de los datos obtenidos, los resultados de los análisis deben manejarse estadísticamente, teniendo en cuenta la correlación de iones, los factores que gobiernan el comportamiento de los componentes del agua, etcétera. El uso de gráficos ayuda a mostrar las relaciones físicas y químicas entre el agua, las fuentes probables de contaminación o polución y el régimen de calidad y, por tanto, a realizar adecuadamente la evaluación de los recursos hídricos (CASTRO, 1987).

A continuación se tratan en detalle las principales características fisicoquímicas y fitotóxicas que definen la calidad del agua, el origen de los constituyentes, su relación con los principales procesos de tratamiento y los límites de concentración establecidos por las normas internacionales de calidad de agua para cultivo (CASTRO, 1987).

### 1.1.1 pH

**Definición.** El término pH es una forma de expresar la concentración del ión hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ión hidrógeno (ROMERO, J. A., 1996).

En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total.

En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos. Tanto por estos factores como por las relaciones que existen entre el pH, alcalinidad y acidez, es muy importante entender los aspectos teóricos y prácticos del pH (ROMERO, J. A., 1996).

La disociación iónica del agua puede representarse por el equilibrio:



Su constante de disociación será:

$$K_i = [\text{H}^+][\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}] \quad \text{Ec. (1.1.1b)}$$

En la mayoría de los casos es más conveniente expresar la actividad del ión hidrógeno en términos de pH en vez de moles/L.

El pH se define como el logaritmo del inverso de la concentración del ión hidrógeno, o sea,

$$\text{pH} = \log(1/[\text{H}^+]) = -\log[\text{H}^+] \quad \text{Ec. (1.1.1c)}$$

Funciones semejantes, tales como pOH y pKw, para los logaritmos negativos de la actividad del ión hidróxido y la constante de ionización del agua, son hoy ampliamente usados. En estos términos, la ecuación de expresión de la constante de ionización del agua se convierte en:

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{pKw} = 14 \quad \text{Ec. (1.1.1d)}$$

El pH puede definirse como una medida que expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14. La acidez aumenta cuando el pH disminuye. Una solución con un pH menor a 7 se dice que es ácida, mientras que si es mayor a 7 se clasifica como básica. Una solución con pH 7 será neutra (ROMERO, J. A., 1996).

**Medición del pH.** Son dos los métodos generales usado para determinar el valor del pH. El método colorimétrico el cual emplea indicadores, sustancias que exhiben diferentes colores de acuerdo con el pH de la solución, y el método electrométrico en el cual se mide el potencial de un electrodo sensitivo a pH con referencia a un electrodo estándar.

El método colorimétrico no requiere equipo costoso pero está sujeto a interferencias causadas por la existencia de color, turbiedad, alto contenido de sales, material coloidal, cloro libre y otros oxidantes o agentes reductores; los indicadores están expuestos a deterioros, así como los estándares de color con los cuales son comparados. Para estimaciones aproximadas el método colorimétrico es adecuado, especialmente en el terreno, pero para determinaciones de laboratorio el método estándar es el electrométrico (ROMERO, J. A., 1996).

Casi todos los pH-metros potenciométricos usados hoy en día utilizan el electrodo de vidrio, en combinación con un electrodo de calomel, usado como electrodo de referencia, para medir el pH. El sistema de electrodos se calibra siempre con soluciones de pH conocido. De acuerdo, con el fabricante y el tipo de medidor de pH, cada aparato posee sus propias características e instrucciones de uso (ROMERO, J. A., 1996).

**Metodología.** El pH puede ser analizado en el campo o en el laboratorio. No olvide utilizar recipientes bien limpios para tomar y acarrear las muestras de agua (preferentemente lávelos previamente y enjuáguelos con agua destilada). Si la muestra es llevada al laboratorio, la determinación debe ser realizada preferentemente dentro de las 2 primeras horas a partir de la colecta, ya que puede cambiar por interacción con el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) atmosférico. Conserve las muestras refrigeradas para su transporte. La determinación será realizada con tirillas indicadoras. Estas simplemente se sumergen por un instante en la muestra de agua, lo que provoca un cambio de color.

### **1.1.2 Temperatura**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de

saturación del oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura (ROMERO, J. A., 1996).

En estudios de polución de ríos, estudios limnológicos y en la determinación de la fuente de suministro en pozos, la temperatura es un dato necesario.

Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente en el agua en movimiento, y la lectura debe hacerse después de un periodo de tiempo suficiente que permita la estabilización del nivel de mercurio (ROMERO, J. A., 1996).

### **1.1.3 Sólidos**

Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida. En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad de material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas poluidas, aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamiento (ROMERO, J. A., 1996).

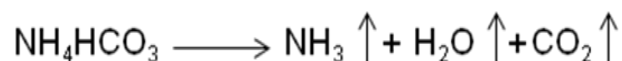
**1.1.3.1 Sólidos totales:** se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 105°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Para su determinación, la muestra se evapora en una capsula previamente pesada, preferiblemente de platino, sobre un baño María, y luego se seca a 103 – 105°C. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total (ROMERO, J. A., 1996).

**1.1.3.2 Sólidos disueltos:** son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa, se filtra la muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch; el filtrado se evapora en una cazuela de peso conocido sobre un baño de María y el residuo de la evaporación se seca a 103 – 105°C. El incremento de peso sobre el de la cazuela vacía representa los sólidos disueltos o residuo filtrante (ROMERO, J. A., 1996).

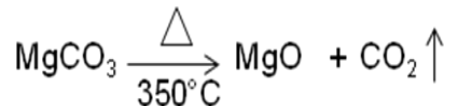
**1.1.3.3 Sólidos suspendidos:** son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a 103 – 105°C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuo no filtrante (ROMERO, J. A., 1996).

**1.1.3.4 Sólidos volátiles:** en aguas residuales y lodos, se acostumbra hacer esta determinación con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. El procedimiento estándar es el de someter las cazuelas, con el residuo retenido después de completar el ensayo para sólidos suspendidos a calcinamiento en una mufla, a una temperatura de 550 ± 50°C, durante 15 a 20 minutos. La pérdida de peso se registra como mg/L de sólidos volátiles y el residuo como mg/L de sólidos fijos (ROMERO, J. A., 1996).

El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, teniendo en cuenta que a 550 ± 50°C la materia orgánica se oxida a una velocidad razonable formando CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O que se volatilizan. Sin embargo, la interpretación no es exacta puesto que la pérdida de peso incluye también pérdidas debidas a descomposición o volatilización de ciertas sales minerales. Compuestos de amonio como el bicarbonato de amonio se volatilizan completamente durante la ebullición (ROMERO, J. A., 1996).



Otros como el carbonato de magnesio no son tan estables:



En la práctica se prefiere cuantificar el contenido de materia orgánica en aguas mediante ensayos como el de la demanda química de oxígeno o el de la demanda bioquímica de oxígeno (ROMERO, J. A., 1996).

**1.1.3.5 Sólidos sedimentables:** la denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentarán, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación llenando un cono *Imhoff* de 1 litro de volumen y registrando el volumen de material sedimentado en el cono, al cabo de una hora, en mL/L (ROMERO, J. A., 1996).

Los procedimientos usados en la determinación del contenido de sólidos son métodos gravimétricos y como tales requieren la determinación del peso de crisoles o de cazuelas con o sin residuos. Es importante, pues, usar recipientes previamente acondicionados y de peso constante, con el fin de no introducir errores en la determinación. Se prefieren recipientes de platino debido a que éste es relativamente inatacable por las sales minerales y no sufre cambios significativos de peso durante el proceso de calentamiento. Sin embargo, su alto costo limita su uso. En cualquier caso, los recipientes deberán ser completamente limpios y haber sido tratados a temperaturas exactamente iguales a las que se someten durante los ensayos, hasta adquirir su “peso constante”. La temperatura de secado, si es diferente de la usada normalmente, debe especificarse pues los resultados no serían comparables (ROMERO, J. A., 1996).

En aguas potables, la determinación de sólidos totales es la de mayor interés, por ser muy pequeña la cantidad existente de sólidos suspendidos. En general se

recomienda en aguas para suministro público un contenido de sólidos totales menor de 1000mg/L (ROMERO, J. A., 1996).

En aguas residuales la determinación de sólidos totales es ordinariamente de poco valor ya que es difícil interpretar su significado en forma real y exacta.

La determinación de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles es importante para evaluar la concentración o “fuerza” de aguas residuales y para determinar la eficacia de las unidades de tratamiento. En plantas de lodos activados, estas determinaciones se usan para controlar el proceso y como factores de diseño de unidades de tratamiento biológico secundarios (ROMERO, J. A., 1996).

La determinación de sólidos sedimentales es básica para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficacia (ROMERO, J. A., 1996).

#### **1.1.4 Conductividad Eléctrica (CE)**

**Definición.** La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos (ROMERO, J. A., 1996).

**Medición.** La forma más usada para medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en  $\mu\text{mho/cm}$  a  $25^{\circ}\text{C}$  con un error

menor del 1%. La conductividad leída es igual a la conductividad eléctrica de la muestra medida entre las caras opuestas de un cubo de 1 cm.

La resistencia específica de un conductor es función de sus dimensiones y puede expresarse como (ROMERO, J. A., 1996):

$$C_R = RA_t / L \quad \text{Ec. (1.1.4a)}$$

Donde,

$C_R$  = resistencia específica, ohmio x cm

R = resistencia, ohmio

$A_t$  = área de la sección transversal del conductor,  $\text{cm}^2$

L = longitud del conductor, cm

La conductancia específica de un conductor es igual al inverso de su resistencia específica, o sea:

$$K = 1 / C = L / RA \quad \text{Ec. (1.1.4b)}$$

Donde,

K = conductancia específica, mho/cm

En otras palabras, la conductancia específica es la conductancia de un conductor de 1 cm de longitud y una sección transversal de  $1 \text{ cm}^2$ , por lo tanto, numéricamente es igual a la conductividad.

Como en aguas el valor de la conductividad es muy pequeño, se expresa en  $\mu\text{mho/cm}$  o en unidades del sistema internacional  $\mu\text{siemens/cm}$ .

$$1 \text{ mho} = 1 \text{ siemens}$$

**Metodología.** El agua destilada fresca tiene una conductividad de 0,5 – 2  $\mu\text{mho/cm}$  y aumenta, según el periodo de almacenamiento, por la absorción de dióxido de carbono y amoníaco, a valores de 2 – 4  $\mu\text{mho/cm}$ . La pureza de las aguas destiladas y desmineralización puede controlarse fácilmente mediante la determinación de la conductividad.

Para caracterizar la conductividad del agua de riego se va a tener en cuenta la siguiente relación:

**Tabla 1. Calificación del agua según la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) a 25°C.**

Conductividad a 25°C ( $\mu\text{S/cm}$ )	Calificación
0 – 1000	Excelente
1000 – 3000	Buena
>3000	Inaceptable

La conductividad está íntimamente relacionada con la suma de los cationes o aniones determinada químicamente; aproximadamente el producto de la conductividad en  $\text{mmho/cm}$  por 10 es igual a la suma de los cationes en miliequivalentes por litro; en otras palabras, la conductividad en micromhos/cm dividida por 100 es igual al total de miliequivalentes por mililitro de los cationes o aniones. La medida de la conductividad constituye un parámetro básico de evaluación de la aptitud del agua para riego (ROMERO, J. A., 1996).

### 1.1.5 Alcalinidad

La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su

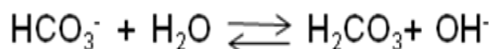
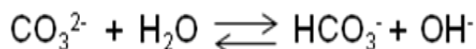
capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas ( $\text{OH}^-$ ). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampona de un agua (ROMERO, J. A., 1996).

En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de compuestos:

- a) Bicarbonatos
- b) Carbonatos
- c) Hidróxidos

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos, fosfatos, etc.) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de éstos es insignificante y puede despreciarse. La alcalinidad del agua se determina por titulación con ácido sulfúrico 0,02N y se expresa en mg/L de carbonato de calcio equivalente a la alcalinidad determinada. Los iones  $\text{H}^+$  procedentes de la solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  neutralizan los iones  $\text{OH}^-$  libres y los disociados por concepto de la hidrólisis de carbonatos y bicarbonatos (ROMERO, J. A., 1996).

Las reacciones de hidrolización son las siguientes:



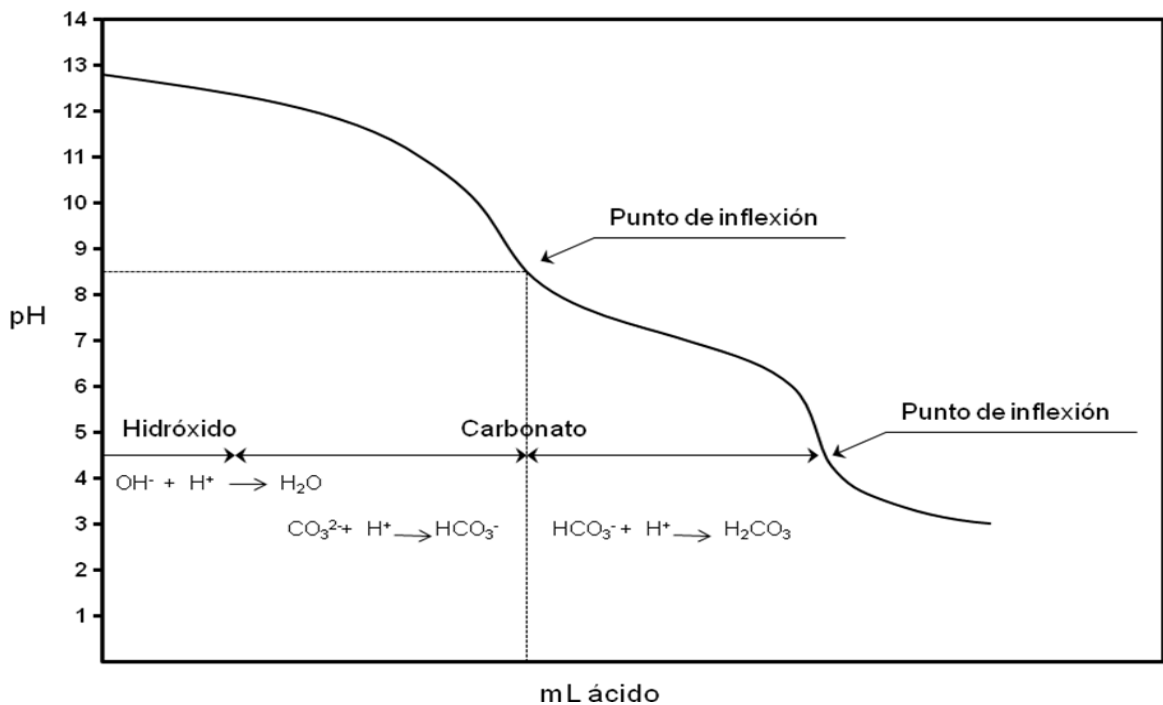
La titulación se efectúa en dos etapas sucesivas, definidas por los puntos de equivalencia para los bicarbonatos y el ácido carbónico, los cuales se indican electrométricamente por medio de indicadores (ROMERO, J. A., 1996).

El método clásico para el cálculo de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad (hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos) consiste en la observación de las curvas de titulación para estos compuestos, suponiendo que alcalinidades por hidróxidos y carbonatos no pueden coexistir en la misma muestra (figura 1) (ROMERO, J. A., 1996).

Del análisis de las curvas de titulación, obtenidas experimentalmente, se puede observar lo siguiente:

- a) La concentración de iones  $\text{OH}^-$  libres se neutraliza cuando ocurre el cambio brusco de pH a un valor mayor de 8,3.
- b) La mitad de los carbonatos se neutraliza a pH 8,3 y la totalidad a pH 4,5.
- c) Los bicarbonatos son neutralizados a pH 4,5.

**Figura 1. Curva de titulación con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) para una mezcla de hidróxido – carbonato.**



**Fuente:** (ROMERO, J. A., 1996)

Según lo anterior, la fenolftaleína y el metil-naranja o el metacresol púrpura y el bromocresol verde son indicadores usados para la determinación de la alcalinidad. La fenolftaleína da un valor rosado a pH mayores de 8,3 y vira a incolora para valores de pH menores de 8,3; el metil-naranja es de color amarillo en presencia de las formas de alcalinidad, o sea a pH mayor de 4,5, y vira a color naranja en condiciones ácidas; el metacresol púrpura cambia de color a pH 8,3 y el bromocresol verde a pH 4,5 (ROMERO, J. A., 1996).

### 1.1.6 Salinidad Efectiva (SE)

La salinidad efectiva mide el efecto de las sales solubles del agua cuando pasan a formar parte de la solución del suelo. Este indicador es más intenso cuando el agua tiene mayor contenido de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). Para el cálculo de este parámetro se usa el siguiente criterio (meq/L):

Cálculo de índices para la clasificación.

a) Si  $\text{Ca}^{+2} > (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ , entonces

$$SE = \Sigma \text{cationes} - (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) \quad \text{Ec. (1.1.6a)}$$

b) Si  $\text{Ca}^{+2} < (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ , pero si  $\text{Ca}^{+2} > (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ , entonces

$$SE = \Sigma \text{cationes} - \text{Ca}^{+2} \quad \text{Ec. (1.1.6b)}$$

c)  $\text{Ca}^{+2} < (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$  y  $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) > (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ , entonces

$$SE = \Sigma \text{cationes} - (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) \quad \text{Ec. (1.1.6c)}$$

d)  $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) < (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$ , entonces

$$SE = \Sigma \text{cationes} - Ca^{+2} + Mg^{+2} \quad \text{Ec. (1.1.6d)}$$

Según la escala de calificación de las aguas para el cálculo de la salinidad efectiva para establecer los índices se muestran a continuación en la siguiente tabla 2 (PALACIOS & ACEVES, 1970; VASQUEZ, 1999).

**Tabla 2. Calificación del agua según su salinidad efectiva (meq/L)**

Escala	Calificación
$SE < 5 \text{ meq/L}$	“Buena”
$5 \text{ meq/L} < SE < 20 \text{ meq/L}$	“Condicionada”
$20 \text{ meq/L} < SE$	“No Recomendable”

### 1.1.7 Salinidad Potencial (SP)

La salinidad efectiva mide el efecto de las sales solubles del agua cuando pasan a formar parte del suelo. A medida que se evapora el agua se incrementa la concentración de sales en el suelo, siendo el efecto más predominante la concentración de cloruros y sulfatos (AYERS & WESTCOT, 1987).

La salinidad potencial es un índice que permite estimar el riesgo de las sales anteriores en altas concentraciones y su efecto sobre el potencial osmótico del suelo. Este índice se calcula con la siguiente fórmula (meq/L):

$$SP = Cl^- + \frac{1}{2} SO_4^{2-} \quad \text{Ec. (1.1.7)}$$

Para establecer la calificación de SP para las aguas de riego se utiliza la misma escala de clasificación implementada para la SE (VASQUEZ, 1999).

### **1.1.8 Calidad del Recurso según la concentración relativa de sodio**

Una concentración elevada de sodio (Na) en el suelo produce toxicidad en algunos cultivos y además, puede acelerar la degradación de la estructura del suelo. Cuando hay más salinidad el daño del Na sobre la estructura del suelo es menor por que las sales ayudan a flocular los componentes del suelo, acción opuesta a la del sodio.

Existen varios índices que ayudan a estimar el daño que puede causar el sodio del agua, siendo los más usados la relación de adsorción de sodio (RAS), el carbonato de sodio residual (CSR), el porcentaje de sodio posible (PSP), y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

#### **1.1.8.1 Relación de Adsorción de Sodio (RAS)**

El índice de adsorción de sodio (RAS) es un parámetro que refleja la posible influencia del ión sodio sobre las propiedades del suelo, ya que tiene efectos dispersantes sobre los coloides del suelo y afecta la permeabilidad. Sus efectos no dependen sólo de la concentración de sodio sino también del resto de cationes.

Se basa en una fórmula empírica que relaciona el contenido de sodio, calcio y magnesio; así mismo relaciona el porcentaje de sodio de intercambio en el suelo en situación equilibrio. Este índice denota la proporción relativa en que se encuentra el sodio respecto al calcio y magnesio, cationes divalentes que compiten con el sodio por los lugares de intercambio del suelo.

El RAS hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ión sodio y los iones calcio y magnesio, calculándose mediante la siguiente expresión (la concentración de los cationes se expresa en meq/L):

$$RAS = \left( \frac{Na^+}{(Ca^{+2} + Mg^{+2})/2} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. (1.1.8.1)}$$

El riesgo según las concentraciones de sodio en aguas de riego se presenta en la siguiente tabla 3 (METCALF & EDDY, 1995).

**Tabla 3. Calificación del agua según la relación de adsorción de sodio (RAS).**

RAS	Calificación
$RAS < 3$	“Ningún Riesgo”
$3 < RAS < 9$	“Moderado”
$9 < RAS$	“Estricto”

### 1.1.8.2 Carbonato de Sodio Residual (CSR)

Otro índice que nos habla de la acción degradante del agua es el denominado carbonato sódico residual (CSR). Indica la peligrosidad del sodio una vez que han reaccionado los cationes calcio y magnesio con los aniones carbonato y bicarbonato. Se calcula mediante la siguiente fórmula (concentraciones expresadas en meq/L):

$$CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad \text{Ec. (1.1.8.2)}$$

**Tabla 4. Calificación del agua según la concentración de CSR.**

<b>CSR</b>	<b>Calificación</b>
$CSR < 1,25$	“Buena”
$1,25 < CSR < 2,5$	“Condicionada”
$2,5 < CSR$	“No Recomendada”

### **1.1.8.3 Porcentaje de Sodio Posible (PSP)**

Es la cantidad de sodio que resultaría después de que precipite el  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  y el  $\text{CaSO}_4$ . Con este fenómeno dichos compuestos tienden a aumentar relativamente la proporción de sodio sobre los demás cationes. Se calcula mediante la siguiente fórmula (concentraciones expresadas en meq/L):

$$\text{PSP} = (\text{Na}^+ / \text{SE}) * 100 \quad \text{Ec. (1.1.8.3)}$$

Donde,

PSP = porcentaje de sodio posible

SE = salinidad efectiva.

Valores por encima del 50% hacen que el agua tenga una calidad “No Recomendable” (PALACIOS & ACEVES, 1970; VASQUEZ, 1999).

### **1.1.8.4 Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)**

La presencia de sodio intercambiable crea condiciones de inestabilidad de los agregados del suelo y del sistema poroso, el hinchamiento y la dispersión coloidal restringen la permeabilidad del suelo al agua y gases, y conduce

consecuentemente a problemas de anegamiento, encostramiento, escurrimiento y pobre aireación. Se le relaciona con la relación de absorción de sodio (RAS) por medio de la ecuación:

$$PSI = \frac{RAS * 0,01}{1 + (RAS * 0,01)} * 100 \quad \text{Ec. (1.1.8.4)}$$

Para utilizar el PSI como índice de calidad de las aguas de riego se evalúa el riesgo de estas por la tendencia a desarrollar suelos sódicos. En la siguiente tabla se resume el riesgo de desarrollar suelos sódicos según el porcentaje de PSI del agua.

**Tabla 5. Clasificación de agua según el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).**

<b>PSI (%)</b>	<b>Riesgo</b>
<i>PSI &lt; 5</i>	“Bajo”
<i>5 &lt; PSI &lt; 15</i>	“Moderado”
<i>15 &lt; PSI</i>	“No recomendable”

### 1.1.9 Índice de Saturación de Langelier (ISL)

Ciertas aguas naturales pueden corroer en frío a metales, calizas, cemento y productos derivados (materiales de la construcción, hormigones, etc). Esta corrosión, más particularmente llamada agresividad, depende principalmente de dos factores de entre los tres siguientes: anhídrido carbónico libre, alcalinidad y pH.

El índice de saturación Langelier es un modelo de estabilidad con aplicaciones industriales que se basan en nomogramas, y que deriva del concepto de solubilidad o saturación de sales pocos solubles; en pocas palabras, es un indicador de dicha agresividad. El índice de Langelier se establece para una temperatura determinada y mide el estado de equilibrio del agua en relación con su carácter incrustante o corrosivo. El índice de Langelier correlaciona la solubilidad de las sales con el pH como variable principal, y con otros parámetros como la temperatura, la alcalinidad y la dureza. Se define teóricamente como:

$$ISL = pH - pHs = pH - (pCa + pAl + C) \quad \text{Ec. (1.1.9a)}$$

Donde,

pH = pH de la muestra a una temperatura determinada en °C

pCa = logaritmo de la dureza cálcica

pAl = logaritmo de la alcalinidad

C = Constante calculada experimentalmente

El valor de índice de Langelier se calcula experimentalmente en el laboratorio, sin embargo puede hacerse una aproximación bastante buena aplicando la siguiente fórmula:

$$ISL = pH - pHs \quad \text{Ec. (1.1.9a)}$$

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad \text{Ec. (1.1.9b)}$$

$$A = (1/10) * (\text{Log [SD]} - 1) \quad \text{Ec. (1.1.9c)}$$

$$B = -13,12 * \text{Log}(T(^{\circ}\text{C}) + 273) + 34,55 \quad \text{Ec. (1.1.9d)}$$

$$C = \text{Log}[DC] - 0,4 \quad \text{Ec. (1.1.9e)}$$

$$D = \text{Log}[Alc] \quad \text{Ec. (1.1.9f)}$$

Donde,

pH = pH real

pHs = pH de saturación

SD = sólidos disueltos totales en mg/L

T = temperatura en °C

DC = la dureza expresada en mg/L de CaCO<sub>3</sub>

Alc = la alcalinidad al metil-naranja en mg/L de CaCO<sub>3</sub>

Las indicaciones para el ISL y el ISL mejorado por Carrier están basadas en los siguientes valores:

**Tabla 6. Indicación de la calidad del agua según el ISL.**

<i>ISL</i>	Indicación
<i>ISL &lt; 0</i>	Agua no saturada con respecto a carbonato cálcico (CaCO <sub>3</sub> ). El agua no saturada posee la tendencia de eliminar láminas de carbonato cálcico (CaCO <sub>3</sub> ) presentes que protegen las tuberías y equipos.
<i>ISL = 0</i>	Agua considerada neutral. No existe formación de incrustaciones ni eliminación de las mismas.
<i>ISL &gt; 0</i>	Agua sobresaturada con respecto a carbonato cálcico (CaCO <sub>3</sub> ). Posible formación de incrustaciones.

Siendo pH, el pH al que se encuentra la muestra de agua y pHs el valor al que comenzaría a precipitar el carbonato de calcio. De igual manera, si el ISL tiene un valor negativo se tratará de agua con tendencia corrosiva; en cambio, para valores de ISL positivos el agua tendrá una tendencia incrustante provocando la deposición de carbonato de calcio. Es por ello, que las industrias trabajan con un ISL cercano a cero para óptimas condiciones de mantenimiento (URBANO, 1989).

**Tabla 7. Calidad del agua según el ISL modificado por Carrier (CARRIER, 1980).**

<i>ISL (Carrier)</i>	<b>Indicación</b>
$-2,0 < ISL < -0,5$	Corrosión severa
$-0,5 < ISL < 0$	Corrosión leve pero sin formación de incrustaciones
$ISL = 0$	Equilibrada pero posible corrosión leve
$0 < ISL < 0,5$	Formación leve de incrustaciones y corrosiva
$0,5 < ISL < 2$	Formación de incrustaciones pero no corrosiva

#### **1.1.10 Normas Riverside**

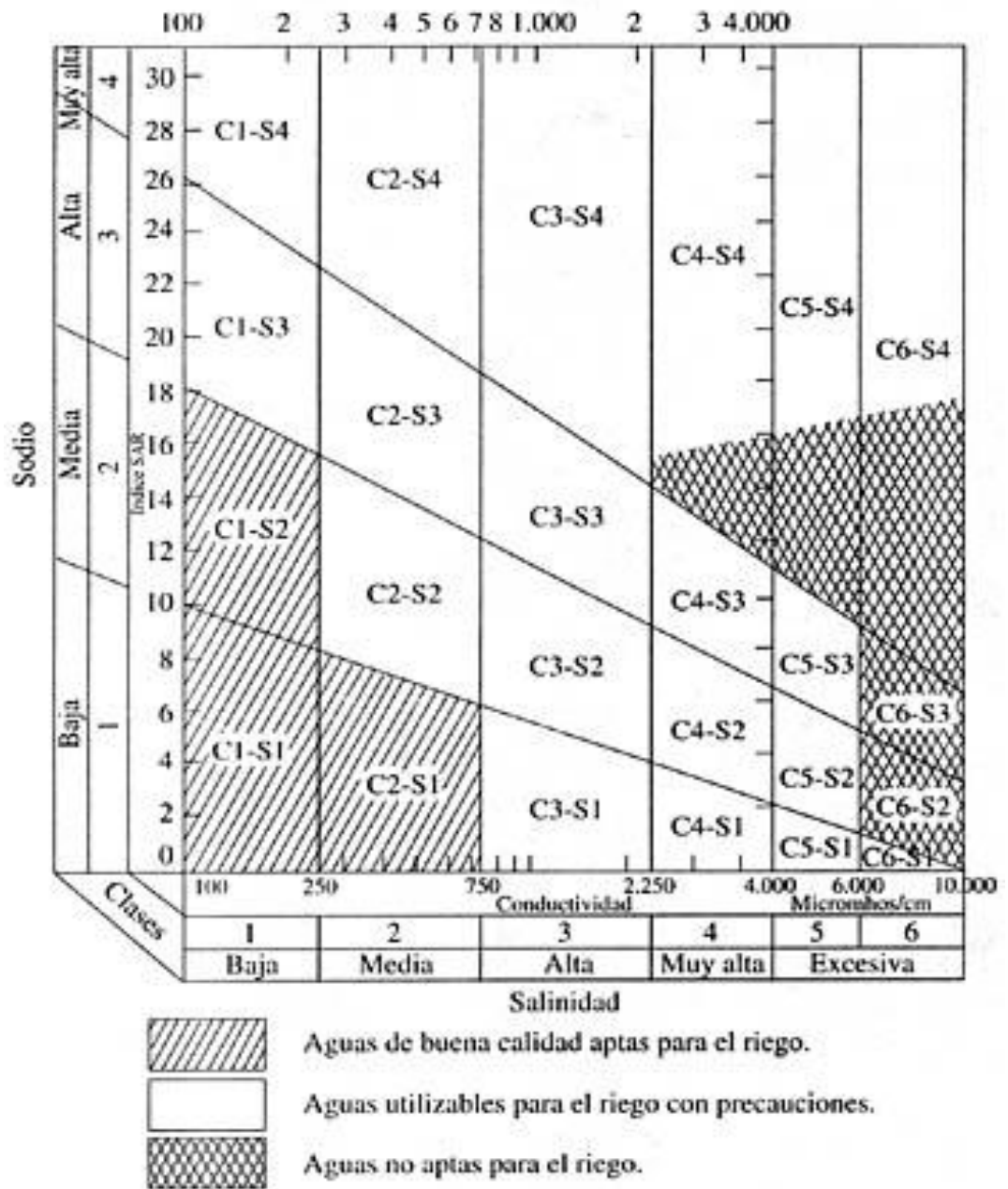
Las normas Riverside son un sistema de clasificación de las aguas para riego desarrollado por el servicio de agricultura de EEUU. Tienen gran aceptación internacional porque basan su estructura en relación de dos criterios importantes: la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y el índice RAS (Figura 2).

Según estos dos índices, se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S afectadas de un subíndice numérico (Tabla 8). De acuerdo con estas normas la muestra es analizada como un posible recurso hídrico que tiene determinada calidad de agua y se establece si es apta para el riego (URBANO, 1980).

Por otro lado, la permeabilidad del sustrato influye de forma notable en la definición de la calidad del agua de riego, ya que es necesario conocer el suelo para determinar el riesgo de salinidad y de sodio. También es aconsejable

considerar el análisis de suelo, para prever la interacción del agua de riego, que va a ser determinante sobre la nutrición de la planta.

**Figura 2. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.**



. **Fuente:** (URBANO, 1980).

**Tabla 8. Clasificación del agua para riego según las normas Riverside.**

Tipos	Calidad y Normas de uso
<b>C<sub>1</sub></b>	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
<b>C<sub>2</sub></b>	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.
<b>C<sub>3</sub></b>	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.
<b>C<sub>4</sub></b>	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.
<b>C<sub>5</sub></b>	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
<b>C<sub>6</sub></b>	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
<b>S<sub>1</sub></b>	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.
<b>S<sub>2</sub></b>	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
<b>S<sub>3</sub></b>	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.
<b>S<sub>4</sub></b>	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.

### 1.1.11 Índice de Scott

El índice de Scott se define como la altura de agua, expresada en pulgadas, que al evaporarse se dejaría en un terreno vegetal de cuatro pies de espesor, álcali suficiente para imposibilitar el desarrollo normal de las especies vegetales más sensibles (URBANO, 1980).

El índice de Scott o coeficiente alcalinométrico relaciona el posible exceso de sodio respecto al cloruro y sulfato con el álcali nocivo para la planta. Para su cálculo deben diferenciarse tres casos:

a) Si  $Cl^- > Na^+$  (meq/L), entonces

$$K_1 = \frac{2040}{Cl}, \text{ (mg/L)} \quad \text{Ec. (1.1.11a)}$$

b) Si  $Cl^- < Na^+ < (Cl^- + SO_4^{2-})$  (meq/L), entonces

$$K_2 = \frac{6.620}{2,6Cl + Na}, \text{ (mg/L)} \quad \text{Ec. (1.1.11b)}$$

c) Si  $Na^+ > (Cl^- + SO_4^{2-})$  (meq/L), entonces

$$K_3 = \frac{662}{Na - 0,32Cl - 0,43SO_4}, \text{ (mg/L)} \quad \text{Ec. (1.1.11c)}$$

El agua también puede clasificarse según los valores del índice de Scott (tabla 9).

**Tabla 9. Calidad del agua de riego según los valores del índice de Scott.**

índice de Scott	Calidad del agua
> 18	“Buena”
18 – 6	“Tolerable”
6 – 1,2	“Mediocre”
< 1,2	“Mala”

**Fuente:** (CANOVAS, 1986).

### 1.1.12 Normas Greene

En las normas Greene se toma como base la concentración total de cationes de las aguas expresadas en meq/litro con relación al porcentaje de sodio, calculado respecto al contenido total de cationes expresados en meq/l (URBANO, 1980). Se halla graficando la concentración relativa de sodio vs concentración de iones totales (Figura 3); la concentración relativa de sodio y la concentración de iones totales se calculan según las ecuaciones siguientes:

$$\%Na = \frac{Na^+}{\sum \text{cationes}} \quad \text{Ec. (1.1.12a)}$$

Donde,

% Na<sup>+</sup> = concentración relativa de sodio

Na<sup>+</sup> = contenido total de sodio, meq/L

$\sum \text{cationes}$  = contenido total de cationes, meq/L

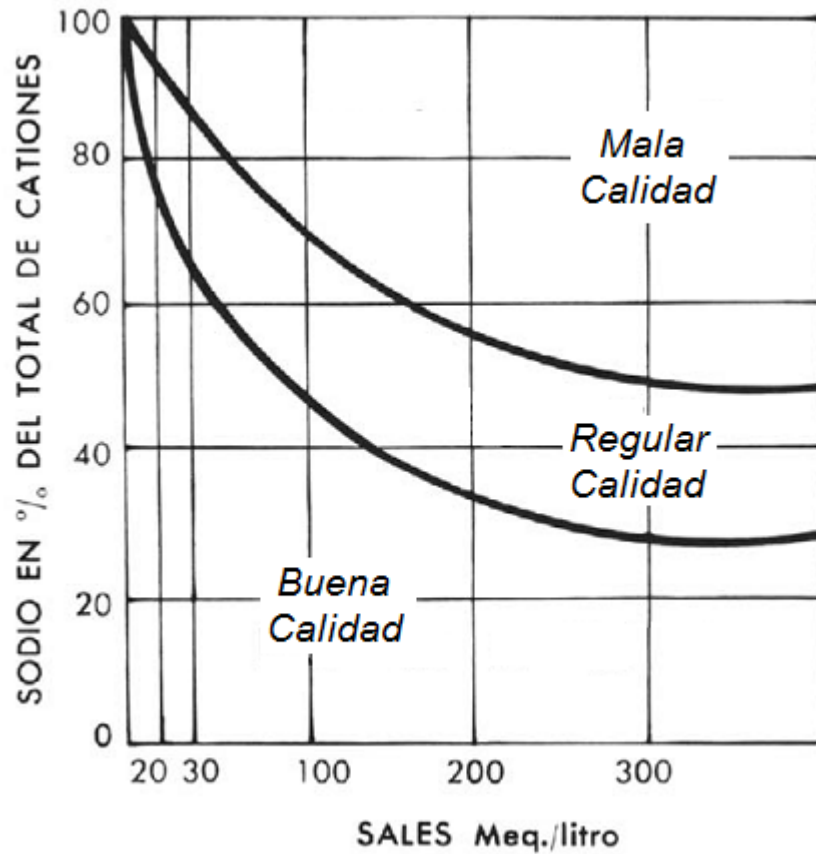
$$\text{Sales totales} = \sum \text{cationes} + \sum \text{aniones} \quad \text{Ec. (1.1.12b)}$$

Donde,

$\sum \text{cationes}$  = contenido total de cationes, meq/L

$\sum \text{aniones}$  = contenido total de aniones, meq/L

**Figura 3. Relación entre concentración relativa de sodio y concentración de iones totales (meq/L) para evaluación del índice de Scott.**

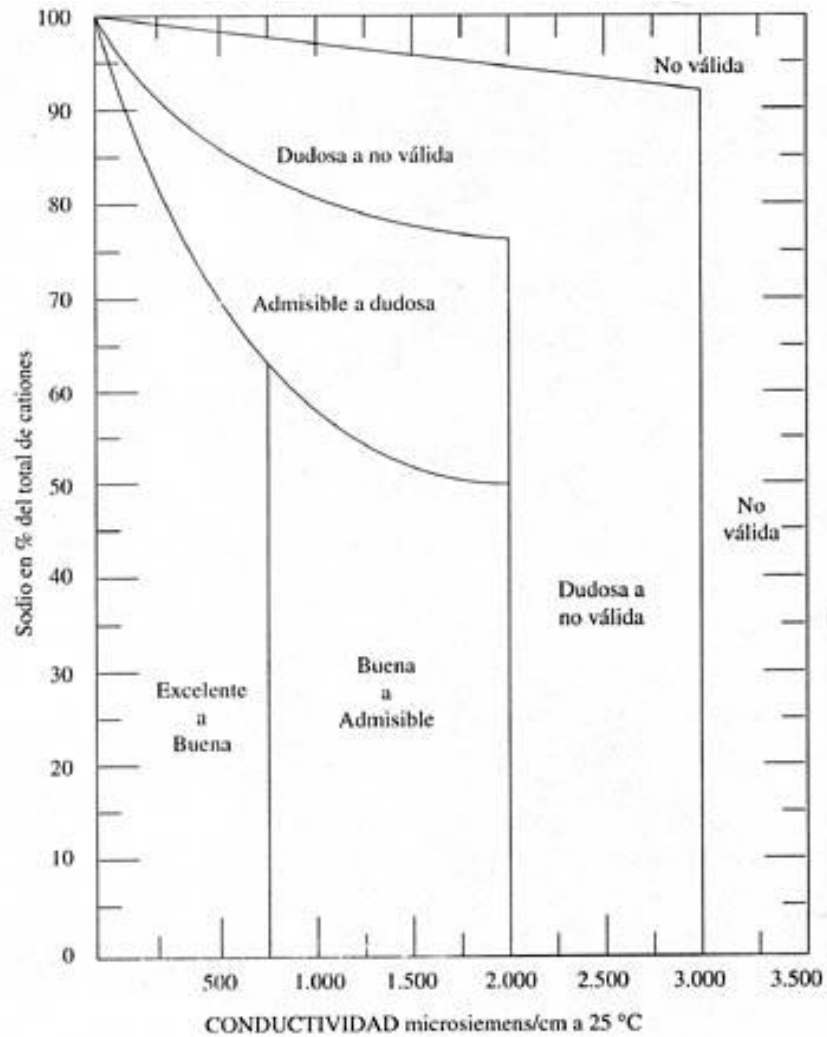


**Fuente:** (URBANO, 1980).

### 1.1.13 Normas L.V. Wilcox

Las Normas L. V. Wilcox consideran como índice para la calificación de las aguas el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica en  $\mu\text{ohms/cm}$  a  $25^\circ\text{C}$  (URBANO, 1980). La clasificación del agua se efectúa de acuerdo a la Figura 4.

**Figura 4. Clasificación de las aguas de riego basada en el riesgo de salinidad.**



**Fuente:** (URBANO, 1980).

### **1.1.14 Elementos Fitotóxicos**

Para evaluar el riesgo de inducir toxicidad de un agua de riego, seguimos la clasificación de la F.A.O. en cuanto a su contenido de sodio, cloruros y boro (AYERS & WESTCOT, 1987).

**1.1.14.1 Cloruros.** El ión cloruro es una de las especies del cloro de mayor importancia en el agua. En aguas naturales los cloruros aparecen en muchas formas; el poder disolvente del agua es capaz de introducirlo en la capa vegetal y en las formaciones rocosas más profundas.

**1.1.14.2 Sulfatos.** Es uno de los aniones más comunes en aguas naturales; se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L. Los sulfatos de sodio y magnesio tienen un efecto purgante especialmente en los niños, se recomienda un límite superior de 250mg/L. El contenido de sulfato es también importante ya que su exceso tiende a formar incrustaciones en las calderas y en intercambiadores de color.

**1.1.14.3 Hierro.** La presencia de hierro en el agua cruda crea problemas en el suministro de agua; en general estos problemas se asocian a aguas subterráneas, en lagos estratificados, y en ocasiones en aguas provenientes de algunos ríos y embalses. Los problemas con el hierro son frecuentes cuando éste se presenta en el suelo como compuestos férricos insolubles; pero requiere condiciones anaerobias en el agua para que se reduzca a hierro ferroso, aportando así mal sabor al agua para consumo (sabores metálicos). En ocasiones la determinación del hierro es también útil para el control de la corrosión en tuberías metálicas. Por lo general, en aguas superficiales las condiciones de hierro son generalmente bajas, menores de 1 mg/L.

**Tabla 10. Evaluación del riesgo de inducir toxicidad del agua de riego.**

<b>Ión</b>	<b>Inexistente</b>	<b>Problema creciente</b>	<b>Problema grave</b>
Na <sup>+</sup> (meq/L)	< 3	3 – 9	> 9
Cl <sup>-</sup> (meq/L)	< 4	4 – 10	> 10
B (mg/L)	< 0,7	0,7 – 2,0	> 2,0

**Fuente:** (CÁNOVAS, 1986).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar parámetros fisicoquímicos y evaluar la calidad de las aguas provenientes de los pozos de exploración de las locaciones de Caño limón y Caricare de Occidental de Colombia (OXY) como posibles aguas de riego.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**2.2.1** Realizar el muestreo de las piscinas de floculación de las aguas provenientes de los pozos de exploración de las locaciones de Caño Limón y Caricare de Occidental de Colombia (OXY) para su análisis en el laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander.

**2.2.2** Realizar los análisis fisicoquímicos del agua y determinación de los parámetros correspondientes como: pH, temperatura (°C), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), dureza cálcica ( $\text{CaCO}_3$ ), metales (Na, K, Ca, Mg, Fe, B), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

**2.2.3** Clasificar las aguas según su índice de saturación de Langelier (ISL), salinidad efectiva (SE), salinidad potencial (SP), carbonato de sodio residual (CSR), relación de absorción de sodio (RAS), porcentaje de sodio posible (PSP), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) para establecer la calidad como agua de riego.

**2.2.3** Evaluar la calidad del agua de riego según: el decreto 1584 de 1984, el índice de saturación de Langelier, la concentración de sales disueltas, la concentración relativa de sodio, las normas Riverside, el índice de Scott, Greene y Wilcox; y la concentración de elementos fitotóxicos.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

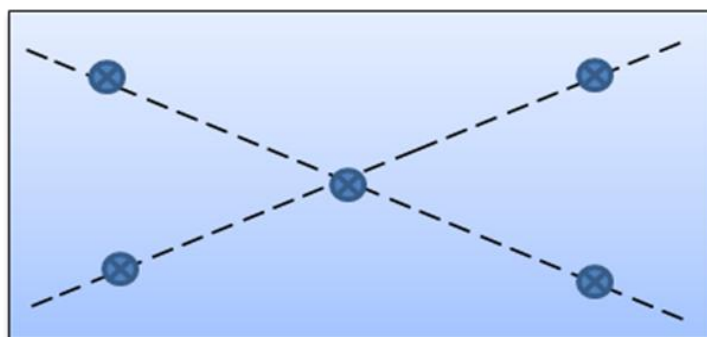
El análisis de las muestras para la determinación de pH y temperatura se realizó con un pH-metro en campo. Todos los parámetros fisicoquímicos como: la dureza cálcica ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ), alcalinidad ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ), carbonatos ( $\text{mgCO}_3^{2-}/\text{L}$ ), bicarbonatos ( $\text{mgHCO}_3^-/\text{L}$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) fueron realizados por el método titrimétrico descrito en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (21st Edition); al igual, que el método colorimétrico descrito para la determinación de boro (B) y turbidimétrico descrito para sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Por otro lado, la determinación de las concentraciones de los metales tales como: sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) fueron realizadas en el equipo Thermo de Absorción Atómica *serie S*.

#### 3.1 INTEGRACIÓN DE LAS MUESTRAS, MEDICIÓN DE pH Y TEMPERATURA

Para evaluar la calidad del agua en la sección estudiada previamente se realizó el protocolo de muestreo de la siguiente manera:

Se tomaron 5 muestras de aguas puntuales por piscina de floculación, el cual se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

**Figura 5. Muestreo en forma de nido utilizado en campo.**



**Piscina de Caño Limón o Caricare**

- a) Se sumergió directamente un envase de aproximadamente un volumen de 1 Litro en la piscina.
  - b) Se esperó el tiempo necesario para que se llenara por completo, y antes de sacar el envase de la piscina se tapó.
  - c) Se rotularon los envases.
  - d) Se guardaron los envases en la cava con hielo.
  - e) Se midió el pH y la temperatura de la piscina previamente a su almacenamiento.
- 
- Se conformaron 6 muestras compuestas de 2 Litros con 400 mL de agua de las 5 muestras puntuales correspondientes a cada piscina, se rotularon los envases y nuevamente se almacenaron en la cava con hielo para su transporte al laboratorio.
  
  - Las muestras compuestas de agua provenientes de las piscinas floculación se identificaron como:

**Muestra No. 1:** Pozo CL-PN (Caño Limón – Febrero 14 de 2010)

**Muestra No. 2:** Pozo CL-PC (Caño Limón – Febrero 14 de 2010)

**Muestra No. 3:** Pozo CL-PS (Caño Limón – Febrero 14 de 2010)

**Muestra No. 4:** Pozo CC-PN (Caricare – Febrero 15 de 2010)

**Muestra No. 5:** Pozo CC-PC (Caricare – Febrero 15 de 2010)

**Muestra No. 6:** Pozo CC-PS (Caricare – Febrero 15 de 2010)

En el cuadro 1, se encuentran condensados los parámetros fisicoquímicos correspondientes a las muestras compuestas medidas en campo y en el laboratorio Químico de Consultas Industriales (LQCI).

**Cuadro 1. Datos condensados de los parámetros fisicoquímicos determinados en campo y en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales a las muestras compuestas.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>No. 1</b>	<b>No. 2</b>	<b>No. 3</b>	<b>No. 4</b>	<b>No. 5</b>	<b>No. 6</b>
pH	Un. pH	6,80	7,30	7,00	7,06	7,57	8,15
Temperatura	°C	28	29	29	28	30	29
Conductividad	µS/cm	1000	2250	1880	2140	2710	3110
Sólidos Disueltos	mg/L	1704	1897	1010	934	1403	4537
Dureza Cálcica	mg CaCO <sub>3</sub> /L	170	180	184	144	220	242
Alcalinidad Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	195	136	178	93	123	185
Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> /L	102	152	167	151	209	164
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /L	224	285	230	386	312	278
Hierro Total	mg Fe/L	0,70	2,30	0,83	1,75	1,93	2,71
Boro	mg B/L	0,10	0,09	0,12	0,11	0,21	0,15

## 3.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DETERMINADOS EN LABORATORIO

Los reactivos empleados en todas las reacciones fueron de grado para síntesis de tipo analítico, de las marcas Merck, Aldrich y J. T. Baker. La pureza del agua destilada utilizada para preparar todas las soluciones fue de alto grado mostrando una conductividad de 1,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; al igual, que el material utilizado para los todos los análisis fue lavado con agua destilada de la misma calidad para asegurar la no interferencia en las determinaciones.

### 3.2.1 Calidad del recurso según la salinidad

#### 3.2.1.1 Salinidad Efectiva (SE)

Para el realizar el cálculo del índice se determinaron los parámetros de concentración de sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), alcalinidad total ( $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en meq/L; en el laboratorio químico de consultas industriales para evaluar el criterio de salinidad efectiva.

Para el cálculo del índice de la salinidad efectiva se utilizó la siguiente fórmula:

$$SE = \Sigma \text{cationes} - \text{Ca}^{+2} \quad \text{Ec. (1.1.6b)}$$

Esto debido a que se cumple que la concentración de  $\text{Ca}^{+2} < (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ , y  $\text{Ca}^{+2} > (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ . Los resultados se registraron en el cuadro 2 (los datos de concentración están en meq/L).

**Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos indispensables el cálculo de SE (los datos se encuentran en meq/L).**

<b>Muestra</b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>+2</sup></b>	<b>Mg<sup>+2</sup></b>	<b>Fe<sup>+2</sup></b>	<b>Alc.</b>	<b>Sulfatos</b>	<b>SE</b>
No. 1	4,50	3,50	3,75	0,41	0,03	3,22	4,66	<b>8,44</b>
No. 2	10,12	10,02	3,97	0,35	0,08	2,25	5,94	<b>20,57</b>
No. 3	8,46	6,74	4,06	0,41	0,03	2,94	4,78	<b>15,64</b>
No. 4	9,63	12,90	3,18	0,30	0,06	1,54	8,04	<b>22,89</b>
No. 5	12,20	13,21	4,86	0,33	0,07	2,03	6,50	<b>25,81</b>
No. 6	14,00	13,48	5,34	0,49	0,10	3,06	5,78	<b>28,07</b>

### 3.2.1.2 Salinidad Potencial (SP)

Para evaluar el criterio de salinidad potencial se determinaron los parámetros de cloruros, y sulfatos; en el laboratorio químico de consultas industriales. Para el cálculo del índice de la salinidad potencial se utilizó la siguiente fórmula (meq/L):

$$SP = Cl^- + \frac{1}{2} SO_4^{2-} \quad \text{Ec. (1.1.7)}$$

Para establecer la calificación de salinidad potencial para las aguas de riego se utiliza la misma escala de clasificación implementada para la SE. Los resultados se registraron en la cuadro 3 (los datos de concentración están en meq/L).

**Cuadro 3. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el cálculo de SP (los datos se encuentran en meq/L).**

<b>Muestra</b>	<b>Cloruros</b>	<b>Sulfatos</b>	<b>SP</b>
No. 1	2,87	4,66	<b>5,20</b>
No. 2	4,29	5,94	<b>7,26</b>
No. 3	4,71	4,78	<b>7,10</b>
No. 4	4,26	8,04	<b>8,28</b>
No. 5	4,35	6,50	<b>7,60</b>
No. 6	4,63	5,78	<b>7,52</b>

### **3.2.2 Calidad del Recurso según la concentración relativa de sodio**

Existen varios índices que ayudan a estimar el daño que puede causar el sodio del agua, siendo los más usados la relación de absorción de sodio (RAS), el carbonato de sodio residual (CSR), el porcentaje de sodio posible (PSP), y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

#### **3.2.2.1 Relación de Absorción de Sodio (RAS) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)**

Para el realizar el cálculo, se determinaron los parámetros de concentración de sodio (Na), calcio (Ca) y magnesio (Mg); en el laboratorio químico de consultas industriales para evaluar el RAS y el PSI.

Para el cálculo del RAS y PSI se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{RAS} = \left( \frac{\text{Na}^+}{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/2} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. (1.1.8.1)}$$

$$\text{PSI} = \frac{\text{RAS} * 0,01}{1 + (\text{RAS} * 0,01)} * 100 \quad \text{Ec. (1.1.8.4)}$$

Los resultados de RAS y PSI se registraron en el siguiente cuadro (la concentración de los cationes se expresa en meq/L):

**Cuadro 4. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el cálculo del RAS y PSI (los datos de concentración se encuentran en meq/L).**

<b>Muestra</b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>+2</sup></b>	<b>Mg<sup>+2</sup></b>	<b>RAS</b>	<b>PSI</b>
No. 1	4,50	3,75	0,41	<b>1,47</b>	<b>1,45</b>
No. 2	10,12	3,97	0,35	<b>2,16</b>	<b>2,11</b>
No. 3	8,46	4,06	0,41	<b>1,95</b>	<b>1,91</b>
No. 4	9,63	3,18	0,30	<b>2,35</b>	<b>2,29</b>
No. 5	12,20	4,86	0,33	<b>2,17</b>	<b>2,12</b>
No. 6	14,00	5,34	0,49	<b>2,19</b>	<b>2,14</b>

### 3.2.2.2 Carbonato de Sodio Residual (CSR) y Porcentaje de Sodio Posible (PSP)

Para el realizar el cálculo, se determinaron los parámetros de concentración de la alcalinidad ( $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ ), calcio (Ca) y magnesio (Mg); en el laboratorio químico de consultas industriales para evaluar el criterio de carbonato de sodio residual y porcentaje de sodio posible.

Para el cálculo del índice de carbonato de sodio residual y porcentaje de sodio posible se utilizaron las siguientes fórmulas (meq/L):

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad \text{Ec. (1.1.8.2)}$$

$$\text{PSP} = (\text{Na}^+ / \text{SE}) * 100 \quad \text{Ec. (1.1.8.3)}$$

Los resultados se registraron en el cuadro 5 (los datos de concentración están en meq/L).

**Cuadro 5. Parámetros fisicoquímicos para el cálculo del CSR y PSP.**

Muestra	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Alc.	SE	CSR	PSP
No. 1	4,50	3,75	0,41	3,22	8,44	<b>-0,94</b>	<b>53,3</b>
No. 2	10,12	3,97	0,35	2,25	20,57	<b>-2,07</b>	<b>49,2</b>
No. 3	8,46	4,06	0,41	2,94	15,64	<b>-1,53</b>	<b>54,1</b>
No. 4	9,63	3,18	0,30	1,54	22,89	<b>-1,94</b>	<b>42,1</b>
No. 5	12,20	4,86	0,33	2,03	25,81	<b>-3,16</b>	<b>47,3</b>
No. 6	14,00	5,34	0,49	3,06	28,07	<b>-2,77</b>	<b>49,9</b>

### 3.2.3 Índice de Saturación de Langelier (ISL)

Para el realizar el cálculo, se determinaron los parámetros de pH, temperatura (°C), sólidos disueltos totales (mg/L) y dureza cálcica (CaCO<sub>3</sub>); en el laboratorio químico de consultas industriales para evaluar el criterio del ISL.

El cálculo del ISL se realiza experimentalmente en el laboratorio, sin embargo, puede hacerse una aproximación bastante buena aplicando la siguiente fórmula (cuadro 6 y 7):

$$ISL = pH - pHs \quad \text{Ec. (1.1.9a)}$$

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad \text{Ec. (1.1.9b)}$$

$$A = (1/10) * (\text{Log} [DS] - 1) \quad \text{Ec. (1.1.9c)}$$

$$B = -13,12 * \text{Log}[T(^{\circ}\text{C}) + 273] + 34,55 \quad \text{Ec. (1.1.9d)}$$

$$C = \text{Log}[DC] - 0,4 \quad \text{Ec. (1.1.9e)}$$

$$D = \text{Log}[Alc] \quad \text{Ec. (1.1.9f)}$$

Donde,

pHs = pH de saturación

SD = sólidos disueltos totales en mg/L

T = temperatura en °C

DC = la dureza expresada en mg/L de CaCO<sub>3</sub>

Alc = la alcalinidad al metil-naranja en mg/L de CaCO<sub>3</sub>

Los resultados de pH, temperatura, sólidos disueltos y alcalinidad se registraron en el cuadro 6 (los datos de concentración están en meq/L).

**Cuadro 6. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el cálculo del pHs.**

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>T (°C)</b>	<b>SD</b>	<b>Alc.</b>	<b>DC</b>
No. 1	6,08	28	1704	195	170
No. 2	7,30	29	1807	136	180
No. 3	7,00	29	1010	178	184
No. 4	7,06	28	934	93	144
No. 5	7,57	30	1403	123	220
No. 6	8,15	29	4537	185	242

**Cuadro 7. Valores de las variables indispensables para determinar el ISL.**

<b>Muestra</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>ISL</b>
No. 1	0,22	2,03	1,84	2,29	<b>7,42</b>
No. 2	0,23	2,01	1,86	2,13	<b>7,55</b>
No. 3	0,20	2,01	1,86	2,25	<b>7,40</b>
No. 4	0,20	2,03	1,76	1,97	<b>7,80</b>
No. 5	0,21	1,99	1,94	2,09	<b>7,47</b>
No. 6	0,27	2,03	1,98	2,27	<b>7,35</b>

### 3.2.4 Índice de Scott

Para el realizar el cálculo, se determinaron los parámetros de concentración de sodio ( $\text{Na}^+$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ); en el laboratorio químico de consultas industriales para evaluar el índice de Scott. Para el cálculo del índice de Scott se utilizaron las siguientes fórmulas (meq/L):

a) Si  $\text{Cl}^- < \text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$  (meq/L), entonces

$$K_2 = \frac{6.620}{2,6\text{Cl} + \text{Na}} \text{ (mg/L)} \quad \text{Ec. (1.1.11b)}$$

b) Si  $\text{Na}^+ > (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$  (meq/L), entonces

$$K_3 = \frac{662}{\text{Na} - 0,32\text{Cl} - 0,43\text{SO}_4} \text{ (mg/L)} \quad \text{Ec. (1.1.11c)}$$

Los resultados se registraron en el cuadro 7 (los datos de concentración están en meq/L) y en el cuadro 8 (los datos de concentración están en mg/L).

**Cuadro 8. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el evaluar el criterio del índice de Scott.**

Muestra	Sodio	Cloruros	Sulfatos	Índice de Scott
No. 1	4,50	2,87	4,66	$\text{Cl}^- < \text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$
No. 2	10,12	4,29	5,94	$\text{Cl}^- < \text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$
No. 3	8,46	4,71	4,78	$\text{Cl}^- < \text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$
No. 4	9,63	4,26	8,04	$\text{Cl}^- < \text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$
No. 5	12,20	4,35	6,50	$\text{Na}^+ > (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$
No. 6	14,00	4,63	5,78	$\text{Na}^+ > (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$

**Cuadro 9. Parámetros fisicoquímicos indispensables para el cálculo del índice de Scott.**

Muestra	Sodio	Cloruros	Sulfatos	Índice de Scott
No. 1	103,5	102	224	<b>17,9</b>
No. 2	232,8	152	285	<b>10,5</b>
No. 3	194,6	167	230	<b>10,5</b>
No. 4	221,5	151	386	<b>10,8</b>
No. 5	280,6	209	312	<b>8,3</b>
No. 6	322,0	164	278	<b>4,4</b>

### 3.2.5 Normas Greene y Wilcox

Para el realizar el cálculo, se determinaron los parámetros de concentración de sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) y hierro ( $\text{Fe}$ ); en el laboratorio químico de consultas industriales para evaluar la norma de Greene. Para el cálculo de la concentración relativa de sodio y la concentración de iones totales se calculan según las ecuaciones siguientes:

$$\% \text{Na} = \frac{\text{Na}^+}{\sum \text{cationes}} \quad \text{Ec. (1.1.12}^{\text{a}})$$

Donde,

% Na = concentración relativa de sodio

$\text{Na}^+$  = contenido total de sodio, meq/L

$\sum \text{cationes}$  = contenido total de cationes, meq/L

**Cuadro 10. Parámetros fisicoquímicos indispensables para determinar la concentración relativa de sodio (%).**

<b>Muestra</b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>+2</sup></b>	<b>Mg<sup>+2</sup></b>	<b>Fe</b>	<b>Σcationes</b>	<b>%Na</b>
No. 1	4,50	5,50	3,75	0,41	0,03	14,19	<b>31,7</b>
No. 2	10,12	10,02	3,97	0,35	0,08	24,54	<b>41,2</b>
No. 3	8,46	6,74	4,06	0,41	0,03	19,70	<b>42,9</b>
No. 4	9,63	12,90	3,18	0,30	0,06	26,07	<b>36,9</b>
No. 5	12,20	13,21	4,86	0,33	0,07	30,67	<b>39,8</b>
No. 6	14,00	13,48	5,34	0,49	0,10	33,41	<b>41,9</b>

Adicional la concentración relativa de sodio (%Na) también se calculó la concentración de aniones y la concentración de iones totales según la ecuación siguiente:

$$\text{Sales totales} = \sum \text{cationes} + \sum \text{aniones} \quad \text{Ec. (1.1.12b)}$$

Por otra parte, para evaluar la calidad del agua según L.V. Wilcox se calculó la concentración relativa de sodio y se determinó en el laboratorio químico de consultas industriales la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ ) para evaluar su clasificación como agua de riego. Los datos se encuentran registrados en el cuadro 11 (las concentraciones de los iones se encuentran en  $\text{meq}/\text{L}$ ).

**Cuadro 11. Parámetros fisicoquímicos indispensables para determinar la concentración de iones totales (meq Sales/L).**

<b>Muestra</b>	<b>Cloruros</b>	<b>Sulfatos</b>	<b><math>\Sigma</math>aniones</b>	<b><math>\Sigma</math>cationes</b>	<b><math>\Sigma</math>sales</b>
No. 1	2,87	4,66	7,53	14,19	<b>21,72</b>
No. 2	4,29	5,94	10,23	24,54	<b>34,77</b>
No. 3	4,71	4,78	9,49	19,70	<b>29,19</b>
No. 4	4,26	8,04	12,30	26,07	<b>38,37</b>
No. 5	4,35	6,50	10,85	30,67	<b>41,52</b>
No. 6	4,63	5,78	10,41	33,41	<b>43,82</b>

**Cuadro 12. Parámetros fisicoquímicos indispensables para calificar el riesgo del agua de riego según Wilcox.**

<b>Muestra</b>	<b>Conductividad</b>	<b>% Sodio</b>
No. 1	1000	31,7
No. 2	2250	41,2
No. 3	1880	42,9
No. 4	2140	36,9
No. 5	2710	39,8
No. 6	3110	41,9

### 3.2.6 Elementos Fitotóxicos

Para evaluar el riesgo de inducir toxicidad de un agua de riego, seguimos la clasificación según los elementos fitotóxicos en cuanto a su contenido de sodio (meq Na<sup>+</sup>/L), cloruros (meq Cl<sup>-</sup>/L) y boro (mg B/L); los datos se encuentran registrados en el siguiente cuadro.

**Cuadro 13. Parámetros fisicoquímicos indispensables para establecer el criterio de fitotoxicidad del agua de riego.**

<b>Muestra</b>	<b>Sodio (meq/L)</b>	<b>Cloruros (meq/L)</b>	<b>Boro (mg/L)</b>
No. 1	4,50	2,87	0,10
No. 2	10,12	4,29	0,09
No. 3	8,46	4,71	0,12
No. 4	9,63	4,26	0,11
No. 5	12,20	4,35	0,21
No. 6	14,00	4,63	0,15

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA SALINIDAD EFECTIVA (SE)

Según el cálculo de la salinidad efectiva, la escala de calificación para la aguas de riego mostró los siguientes resultados (Tabla 11).

**Tabla 11. Resultados de SE para la calificación de las muestras compuestas como posibles aguas de riego.**

Muestra	SE	Calificación
No. 1	8,44	Condicionada
No. 2	20,57	No Recomendable
No. 3	15,64	Condicionada
No. 4	22,89	No Recomendable
No. 5	25,81	No Recomendable
No. 6	28,07	No Recomendable

Con esto se establece que las muestras se encuentran “condicionadas” (No. 1 y 3) y “no recomendables” (No. 2, 4, 5, 6) para su posible utilización como aguas de riego.

### 4.2 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA SALINIDAD POTENCIAL (SP)

Según el cálculo de la salinidad potencial, la escala de calificación (se utiliza la misma calificación de salinidad efectiva para la evaluación) para la aguas de riego mostró los siguientes resultados (Tabla 12).

**Tabla 12. Resultados de SE para la calificación de las muestras compuestas como posibles aguas de riego.**

<b>Muestra</b>	<b>SP</b>	<b>Calificación</b>
No. 1	5,20	Condicionada
No. 2	7,26	Condicionada
No. 3	7,10	Condicionada
No. 4	8,28	Condicionada
No. 5	7,60	Condicionada
No. 6	7,52	Condicionada

Con esto se establece que todas las muestras se encuentran “condicionadas” para su posible utilización como aguas de riego. Es decir, a medida que se evapore el agua se incrementará la concentración de cloruros y sulfatos en el suelo; como consecuencia aumentará el efecto del potencial osmótico en el suelo.

#### **4.3 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA CONCENTRACIÓN RELATIVA DE SODIO**

Una concentración elevada de sodio (Na) en el suelo produce toxicidad en algunos cultivos y además, puede acelerar la degradación de la estructura del suelo. Cuando hay más salinidad el daño del Na sobre la estructura del suelo es menor porque las sales ayudan a flocular los componentes del suelo, acción opuesta a la del sodio.

#### 4.3.1 Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

Según el cálculo del RAS, la escala de calificación para aguas de riego mostró los siguientes resultados (Tabla 13).

**Tabla 13. Resultados del RAS para la calificación de las muestras compuestas como posibles aguas de riego.**

Muestra	RAS	Calificación
No. 1	1,47	Ningún Riesgo
No. 2	2,16	Ningún Riesgo
No. 3	1,95	Ningún Riesgo
No. 4	2,35	Ningún Riesgo
No. 5	2,17	Ningún Riesgo
No. 6	2,19	Ningún Riesgo

Con esto se establece que todas las muestras no presentan “ningún riesgo” para su posible utilización como aguas de riego. Es decir, las muestras de agua no presentarán efectos dispersantes sobre los coloides del suelo; ni afectará la permeabilidad del mismo ya que no existirá competencia del sodio con los cationes divalentes por los sitios de intercambio del suelo.

#### 4.3.2 Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

Según el cálculo del PSI, la escala de calificación para aguas de riego mostró los siguientes resultados (Tabla 14).

**Tabla 14. Resultados del PSI para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego.**

<b>Muestra</b>	<b>PSI</b>	<b>Calificación</b>
No. 1	1,45	Bajo
No. 2	2,11	Bajo
No. 3	1,91	Bajo
No. 4	2,29	Bajo
No. 5	2,12	Bajo
No. 6	2,14	Bajo

Con esto se establece que todas las muestras presentan un riesgo “bajo” para su utilización como aguas de riego. Es decir, las muestras de agua no presentarán problemas de inestabilidad, permeabilidad, y pobre aireamiento al suelo.

#### **4.3.3 Carbonato de Sodio Residual (CSR)**

Según el cálculo del CSR, la escala de calificación para aguas de riego mostró los siguientes resultados (Tabla 15).

Con esto se establece que todas las muestras presentan una calificación “buena” para su utilización como agua de riego. Las muestras no presentan peligrosidad del sodio con respecto a la concentración de carbonato y bicarbonato disponibles que puedan reaccionar con los cationes calcio y magnesio; es decir, existe un exceso en la concentración de cationes calcio y magnesio con respecto a los aniones carbonatos y bicarbonatos.

**Tabla 15. Resultados del CSR para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego.**

<b>Muestra</b>	<b>CSR</b>	<b>Calificación</b>
No. 1	-0,94	Buena
No. 2	-2,07	Buena
No. 3	-1,53	Buena
No. 4	-1,94	Buena
No. 5	-3,16	Buena
No. 6	-2,77	Buena

#### **4.3.4 Porcentaje de Sodio Posible (PSP)**

Según el cálculo del PSP, la escala de calificación para aguas de riego mostró los siguientes resultados (Tabla 16).

**Tabla 16. Resultados del PSP para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego.**

<b>Muestra</b>	<b>PSP</b>	<b>Calificación</b>
No. 1	53,3	No Recomendable
No. 2	49,2	Favorable
No. 3	54,1	No Recomendable
No. 4	42,1	Favorable
No. 5	47,3	Favorable
No. 6	49,9	Favorable

Con esto se establece que las muestras que presentan una calificación “no recomendable” (No. 1 y 3) y “favorables” (No. 2, 4, 5, 6) con ciertas restricciones para su posible utilización como aguas de riego. Las muestras (No. 1 y 3) contienen una concentración de sodio mayor que la cantidad de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  y el  $\text{CaSO}_4$  que pueden precipitar; ya que la concentración de sodio es mayor que los otros cationes en solución.

#### 4.4 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN EL ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER (ISL)

Según el cálculo del ISL, el índice de calificación para aguas de riego mostró los siguientes resultados (Tabla 17).

**Tabla 17. Resultados del ISL para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego.**

Muestra	ISL	Indicación
No. 1	7,42	Formación de Incrustaciones
No. 2	7,55	Formación de Incrustaciones
No. 3	7,40	Formación de Incrustaciones
No. 4	7,80	Formación de Incrustaciones
No. 5	7,47	Formación de Incrustaciones
No. 6	7,35	Formación de Incrustaciones

Con esto se establece que todas las muestras presentan una indicación con “formación de incrustaciones” para su utilización como aguas de riego. Es decir, todas las muestras contienen una alta concentración de carbonato de calcio; lo cual indica que habrá formación de incrustaciones en los suelos.

#### 4.5 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LAS NORMAS RIVERSIDE

De acuerdo con las normas Riverside, se determinó la calidad del recurso de las muestras analizadas como posibles aguas de riego y se estableció si es apta o no para el riego (Figura 6). Así mismo, se estableció las categorías o clases de aguas según las letras C y S (tabla 18).

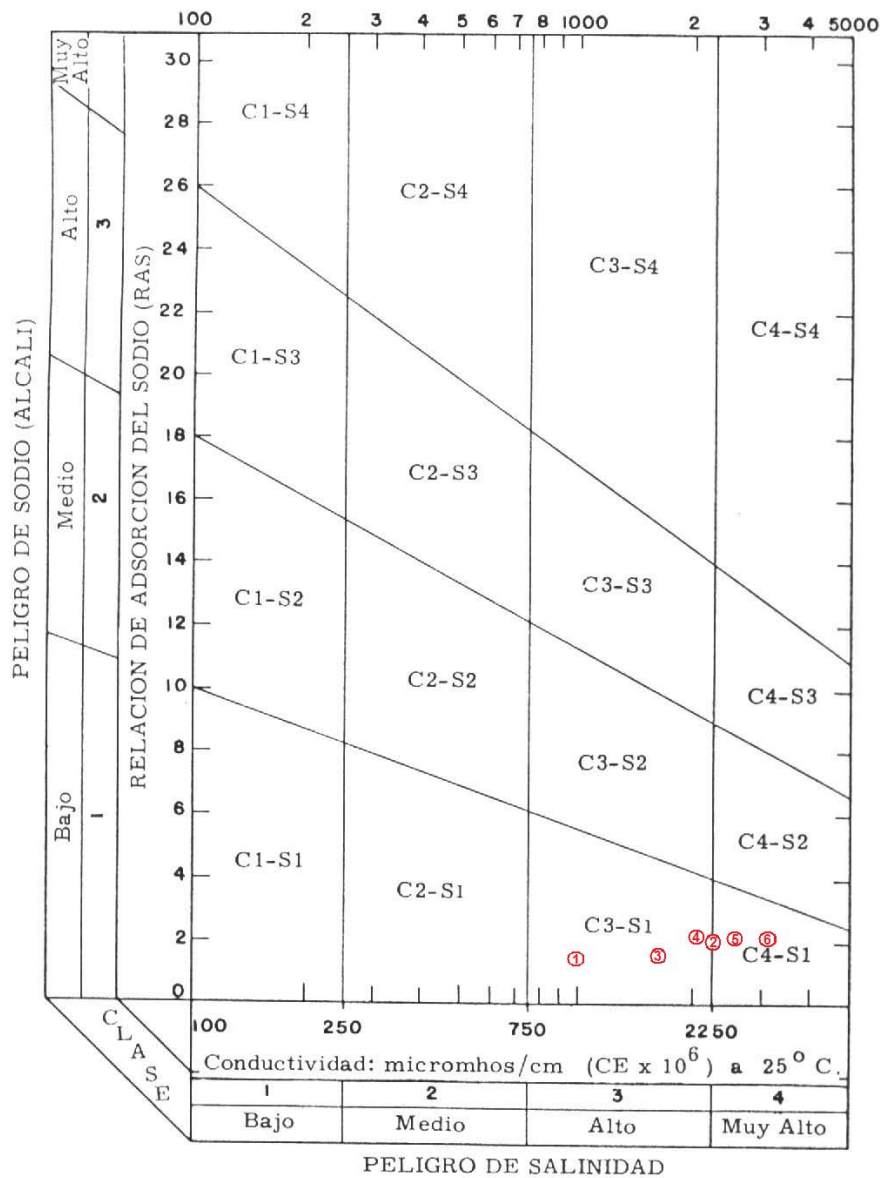
**Tabla 18. Clasificaciones de las aguas de riego según las normas Riverside (relaciona la conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $25^\circ\text{C}$  vs RAS).**

Muestra	Conductividad	RAS	Clasificación
No. 1	1000	1,47	C3 – S1
No. 2	2250	2,16	C3 – S1
No. 3	1880	1,95	C3 – S1
No. 4	2140	2,35	C3-S1 / C4 – S1
No. 5	2710	2,17	C4 – S1
No. 6	3110	2,19	C4 – S1

Con esto se establece que las muestras presentan una clasificación “C3-S1” (No. 1, 2, 3 y 4) y “C4-S1” (No. 4, 5 y 6) para su posible utilización como aguas de riego. Las muestras No. 1, 2, y 3 son aguas 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; sin embargo, también se cumple que son aguas con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Por otra parte, Las muestras No. 5 y 6 son aguas 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, utilizando cultivos muy tolerantes a alta salinidad. En el caso de la muestra 4 presenta

comportamientos de C3 y C4 lo cual indica una alta salinidad para ser utilizado como agua para cultivos, sólo debe ser utilizado en suelos muy permeables.

**Figura 6. Evaluación según las Normas de Riverside para la calidad de las muestras como aguas de riego.**



#### 4.6 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN EL ÍNDICE DE SCOTT

Según el cálculo del índice de Scott, las aguas de riego mostraron los siguientes resultados (Tabla 19).

**Tabla 19. Resultados del índice de Scott para la calificación de las muestras compuestas como aguas de riego.**

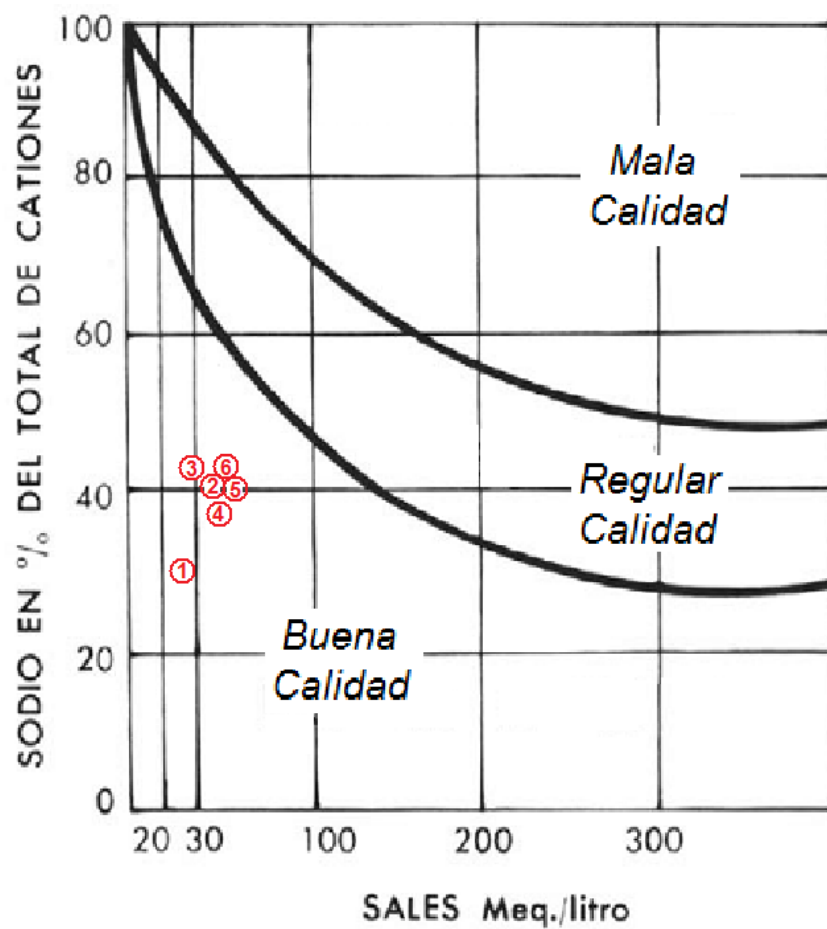
Muestra	Índice de Scott	Indicación
No. 1	17,9	Tolerable
No. 2	10,5	Tolerable
No. 3	10,5	Tolerable
No. 4	10,8	Tolerable
No. 5	8,3	Tolerable
No. 6	4,4	Mediocre

Con esto se establece que todas las muestras a excepción de la muestra 6 presentan una considerable concentración de sales que podrían imposibilitar el desarrollo normal de especies vegetales sensibles. Es decir, existe un exceso de la concentración de sodio respecto a la cantidad de aniones cloruros y sulfatos; dando como consecuencia un remanente de álcalis, compuestos nocivos para las plantas.

#### 4.7 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA NORMA GREENE

De acuerdo con la norma Greene, se determinó la calidad del recurso de las muestras analizadas como posibles aguas de riego (Figura 7).

**Figura 7. Evaluación según la Norma Greene para la calidad de las muestras como aguas de riego.**

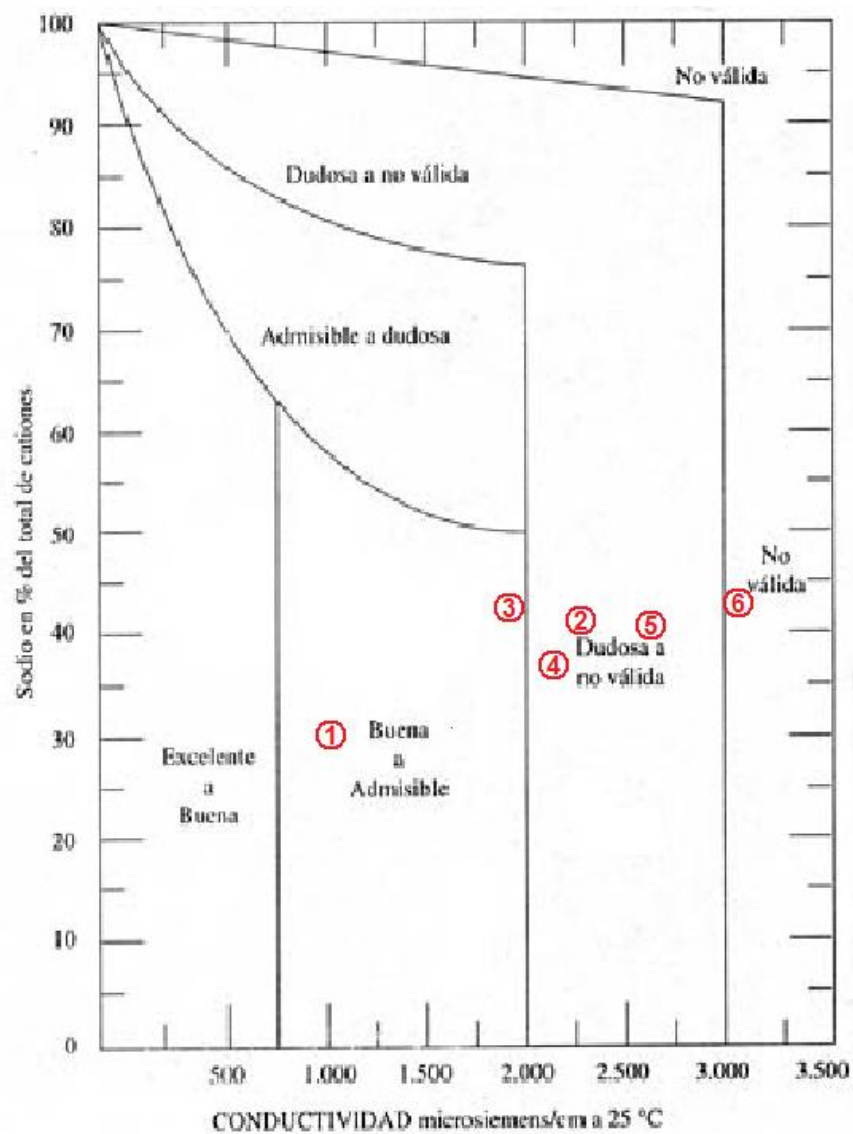


Con esto se establece que según la norma Greene, todas las muestras presentan “buena calidad” para su posible utilización como aguas de riego.

#### 4.8 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LA NORMA L.V. WILCOX

De acuerdo con la norma Wilcox, se determinó la calidad del recurso de las muestras analizadas como posibles aguas de riego (Figura 8).

**Figura 8. Evaluación según la Norma Wilcox para la calidad de las muestras como aguas de riego.**



Con esto se establece que las muestras No. 1 y 3 presentan una clasificación “buena – admisible”, las muestras No. 2, 4 y 5 una clasificación “dudosa – no válida” y la muestra No. 6 una clasificación “no válida” con ciertas restricciones para su posible utilización como aguas de riego.

#### 4.9 CALIDAD DEL RECURSO SEGÚN LOS ELEMENTOS FITOTÓXICOS

Según los datos de elementos fitotóxicos registrados en la tabla 20, se determina el riesgo de utilizar las muestras de aguas de riego.

**Tabla 20. Resultados de los elementos fitotóxicos según el riesgo de toxicidad.**

Muestra	Riesgo de toxicidad		
	Sodio (meq/L)	Cloruro (meq/L)	Boro (mg/L)
No. 1	Problema creciente	Inexistente	Inexistente
No. 2	Problema grave	Problema creciente	Inexistente
No. 3	Problema creciente	Problema creciente	Inexistente
No. 4	Problema grave	Problema creciente	Inexistente
No. 5	Problema grave	Problema creciente	Inexistente
No. 6	Problema grave	Problema creciente	Inexistente

Con esto se establece que según la concentración de sodio, las muestras No. 1 y 3 presentan un riesgo “inexistente” y las muestras No. 2, 4, 5, y 6 un riesgo “problema grave” para ser usadas como aguas de riego; así mismo, se observa que según la concentración de cloruros la muestra No. 1 presenta un riesgo “inexistente” y las demás un riesgo “problema creciente” para ser empleadas como aguas de riego. Por otra parte, se aprecia que según la concentración de Boro todas las muestras presentan un riesgo “inexistente” para ser utilizada como agua de riego para cultivo.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó el muestreo de las piscinas de floculación de las aguas provenientes de los pozos de exploración de las locaciones de Caño Limón y Caricare de Occidental de Colombia (OXY) para su análisis en el laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander. Así mismo, se implantó un protocolo de muestreo, en el cual se conformaron 6 muestras compuestas de 2 Litros de agua a partir de las 5 muestras puntuales correspondientes a cada piscina, se rotularon los envases y se almacenaron en la cava con hielo para su transporte al laboratorio.
- Se realizaron los análisis fisicoquímicos de las muestras No. 1 – 6 y se reportaron los datos correspondientes a 6,80 – 8,15 de pH, 28° - 30°C de temperatura, 1000 – 3110 $\mu$ S/cm de conductividad, 93 – 195mgCaCO<sub>3</sub>/L de alcalinidad, 144 – 242mgCaCO<sub>3</sub>/L de dureza cálcica, 934 – 4537mg/L de sólidos disueltos, 102 – 209mg/L de cloruros (Cl<sup>-</sup>), 224 – 386mg/L de sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 0,70 – 2,71mg/L de hierro (Fe) y 0,90 – 0,21mg/L de boro (B).
- Según el criterio de salinidad efectiva, la escala de calificación para la aguas de riego mostró que las muestras No. 1 y 3 se encuentran “condicionadas” y las muestras No. 2, 4, 5 y 6 “no recomendables” para su uso como aguas de riego para cultivo.
- Según el criterio de salinidad potencial, la escala de calificación para la aguas de riego mostró que todas las muestras se encuentran “condicionadas” para su uso como aguas de riego para cultivo. Es decir, debido a una significativa cantidad en el agua de iones sulfatos y cloruros,

como consecuencia, aumentará el efecto del potencial osmótico en el suelo.

- Según el cálculo del RAS, la escala de calificación para aguas de riego mostró que todas las muestras no presentan “ningún riesgo” para su posible utilización como aguas de riego. Es decir, las muestras de agua no presentarán efectos dispersantes sobre los coloides del suelo; ni afectará la permeabilidad del mismo.
- Según el cálculo del PSI, la escala de calificación para aguas de riego mostró que todas las muestras presentan un riesgo “bajo” para su utilización como aguas de riego. Es decir, las muestras de agua no presentarán problemas de inestabilidad, permeabilidad, y pobre aireamiento al suelo.
- Según el cálculo del CSR, la escala de calificación para aguas de riego mostró que todas las muestras presentan una calificación “buena” para su utilización como agua de riego para cultivo. Las muestras no presentan peligrosidad del sodio con respecto a la concentración de carbonato y bicarbonato disponibles que puedan reaccionar con los cationes calcio y magnesio; es decir, existe un exceso en la concentración de cationes calcio y magnesio con respecto a los aniones carbonatos y bicarbonatos.
- Según el cálculo del PSP, la escala de calificación para aguas de riego mostró que las muestras No. 1 y 3 presentan una calificación “no recomendable” y la muestras No. 2, 4, 5 y 6 “favorables” con ciertas restricciones de salinidad para su posible utilización como aguas de riego en cultivos sensibles al sodio.

- Según el cálculo del ISL, el índice de calificación para aguas de riego mostró que todas las muestras presentan una indicación con “formación de incrustaciones” para su utilización como aguas de riego para cultivo. Es decir, todas las muestras contienen una alta concentración de carbonato de calcio; lo cual indica que habrá formación de incrustaciones de sales en los suelos.
- De acuerdo con las normas Riverside, se determinó que la calidad del recurso de las muestras No. 1, 2, 3 y 4 presentaron una clasificación “C3-S1” y las muestras No. 4, 5 y 6 “C4-S1” para su posible utilización como aguas de riego para cultivo. Las muestras 1, 2, y 3 son aguas 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; sin embargo, también se cumple que son aguas con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Por otra parte, Las muestras No. 4, 5 y 6 son aguas 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, utilizando cultivos muy tolerantes a alta salinidad.
- Según el cálculo del índice de Scott, las aguas de riego mostraron que todas las muestras a excepción de la muestra 6 presentan una considerable concentración de sales que podrían imposibilitar el desarrollo normal de especies vegetales sensibles.
- De acuerdo con la norma Greene, la calidad del recurso determinó que todas las muestras presentan “buena calidad” para su posible utilización como aguas de riego para cultivo.

- De acuerdo con la norma Wilcox, la calidad del recurso determinó que las muestras No. 1 y 3 presentan una clasificación “buena – admisible”, las muestras No. 2, 4 y 5 una clasificación “dudosa – no válida” y la muestra No. 6 una clasificación “no válida” con restricciones de alta salinidad para su posible uso como aguas de riego para cultivo.
- Según los resultados de los datos de elementos fitotóxicos registrado se estableció que según la concentración de sodio, las muestras No. 1 y 3 presentan un riesgo “inexistente” y las muestras No. 2, 4, 5, y 6 un riesgo “problema grave” para ser usadas como aguas de riego; así mismo, se observó que según la concentración de cloruros, la muestra No. 1 presenta un riesgo “inexistente” y las demás un riesgo “problema creciente” para ser empleadas como aguas de riego. Por otra parte, se apreció que según la concentración de Boro todas las muestras presentan un riesgo “inexistente” para ser utilizada como agua de riego para cultivo.

## BIBLIOGRAFÍA

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. La calidad del agua en la agricultura. “*Food and Agriculture Organization of the United Nations*”. Roma, 1987.

CANOVAS, J. *Calidad Agronómica de las Aguas de Riego. 2ª Edición*. SEA. Ed. Ministerio Agricultura. Madrid. 55 pp., 1980.

CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, “*Handbook of Air Conditioning System Design*” (1era. Edición, New York, Mc Graw-Hill, 1980).

CARTER, D.L.; Problems of salinity in agriculture. En: A. Poljakoff-Mayber y J. Gale (eds.). *Plants in saline environments*. pp. 25-76. Springer - Berlin. 1975.

CASTRO, M. L.; *Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua*. Lima, CEPIS, 1987.

FAO. *Water quality for agriculture, irrigation and drainage*. Technical paper N° 29. Rome, Italy; 1985.

GREENBERG, Arnold, et al. “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (21st Edition)*”. 2005.

MELCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de aguas residuales*. Mc Graw-Hill. 3ª Edición, 1995.

PALACIOS, V.O. & ACEVES, N.E., *Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola*. Colegio de Postgraduados. Chapingo – México; 1970.

PASTERNAK, D. & De MALACH, Y.; *Crop irrigation with saline water*. En: M. Pessaraki (ed.). Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. New York, 1994. pp. 599-622.

LEGISLACIÓN COLOMBIANA. Decreto 1594 de 1984, artículo 40.

RAFFERTY, K. “*Scaling in geothermal heat pump systems*”; U.S. Department of Energy. July, 1999.

RICHARDS, L.A. “*Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*”. Ed. Limusa. México,D.F., 1954.

ROMERO, J. A.; “*Acuíquímica*”. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá, Colombia; 1996.

URBANO, P.; “*Tratado de Fitotecnia general*”. Editorial: Mundi-Prensa Libros S.A. Pág. 836; Madrid – España, 1980.

VÁZQUEZ, M.; MILLÁN, G. & GELATI, P.; Efecto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad de diferentes suelos del NO y Centro-E de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 57-67, 2006.