

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con el apoyo del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar de LAICA (DIECA-LAICA), presenta el boletín agroclimático para caña de azúcar.

En este se incorpora el análisis del tiempo, pronósticos, notas técnicas y recomendaciones con el objetivo de guiar al productor cañero hacia una agricultura climáticamente inteligente.

**IMN**

www.imn.ac.cr  
2222-5616

Avenida 9 y Calle 17  
Barrio Aranjuez,

Frente al costado Noroeste del Hospital Calderón Guardia.  
San José, Costa Rica

**LAICA**

www.laica.co.cr  
2284-6000

Avenida 15 y calle 3  
Barrio Tournón

San Francisco, Goicoechea  
San José, Costa Rica

## TENDENCIA SEMANAL PARA LAS REGIONES CAÑERAS EN ABRIL 2024

En abril inician las condiciones de transición hacia la época lluviosa en las regiones cañeras Sur y Valle Central. El siguiente cuadro detalla semana a semana lo esperado para abril en cada región productiva. La iconografía se explica en la página 4.

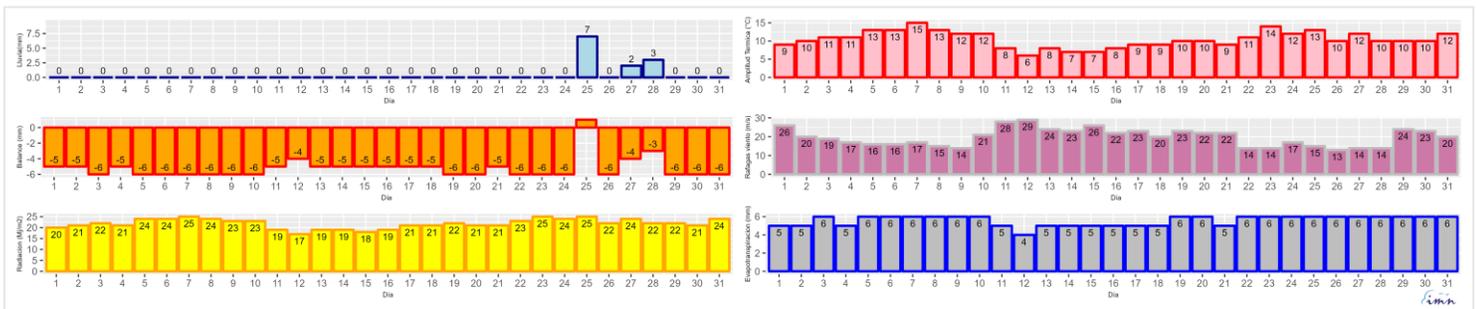
Región cañera	Semana: 1 al 7	Semana: 8-14	Semana: 15-21	Semana: 22-28
<b>Guanacaste (Este y Oeste)</b>	= = ↑	↑ = =	↑ ↓ ↑	= = ↑
<b>Puntarenas</b>	↑ = =	↑ = ↑	↑ ↓ ↑	= = ↑
<b>Región Norte</b>	↑ = ↑	↑ ↑ =	↑ ↓ =	= = =
<b>Valle Central (Este y Oeste)</b>	= = =	↑ = =	↑ ↓ =	= = ↑
<b>Turrialba (Alta y Baja)</b>	↑ = =	↑ ↑ =	↑ ↓ =	= ↓ =
<b>Región Sur</b>	↑ = =	↑ = ↑	↑ ↓ =	= ↑ =

*“Condiciones lluviosas intermitentes en la Región Norte podrían mantenerse incluso el jueves 11. Con presencia de polvo Sahariano entre lunes 8 y martes 9.”*

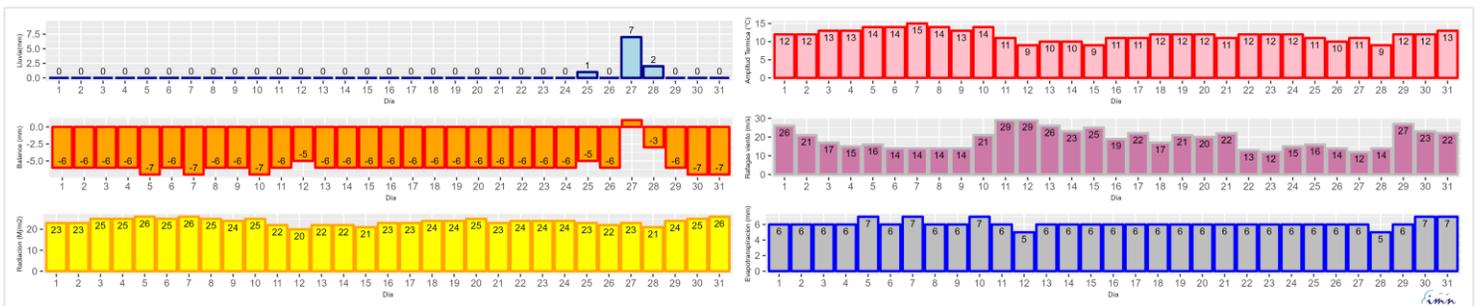
## CONDICIONES DEL MES PREVIO: MARZO 2024

Durante el mes de marzo tanto **Región Guanacaste Este** y **Región Guanacaste Oeste** presentaron las más fuertes ráfagas de viento. La **Región Norte** y **Región Turrialba** presentaron condiciones lluviosas similares. La **Región Valle Central** presentó valores más bajos de evapotranspiración que la **Región Puntarenas**; mientras la **Región Sur** fue quien presentó los montos de lluvia más altos en el mes.

Las figuras 1 a 7 muestran a detalle el comportamiento diario durante marzo, promediado por cada región productiva cañera del país, específicamente de aquellos elementos climáticos de interés para el sector cañero nacional. Donde las variables observadas son lluvia y ráfagas de viento también llamado viento máximo; mientras las demás son estimadas.



**Figura 1.** Promedio regional diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm), viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>) y evapotranspiración referencia (mm) para marzo 2024 en la región cañera **Guanacaste Este**.



**Figura 2** Promedio regional diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm), viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>) y evapotranspiración referencia (mm) para marzo 2024 en la región cañera **Guanacaste Oeste**.

Abril 2024 - Volumen 1 – Número 1

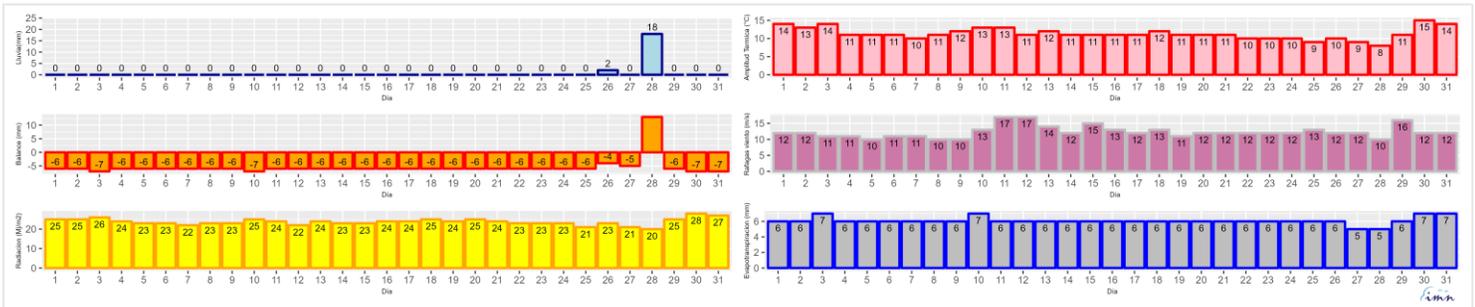


Figura 3. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm), viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>) y evapotranspiración referencia (mm) para marzo 2024 en la región cañera Puntarenas.

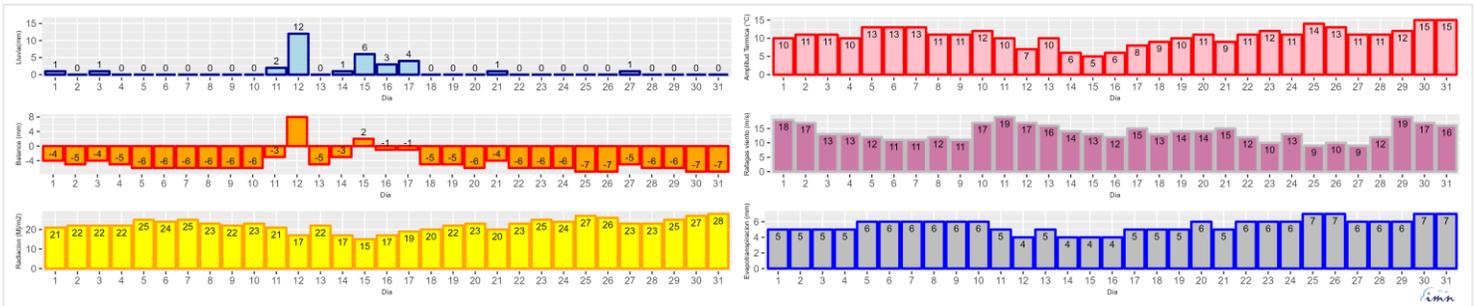


Figura 4. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm), viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>) y evapotranspiración referencia (mm) para marzo 2024 en la región cañera Región Norte.

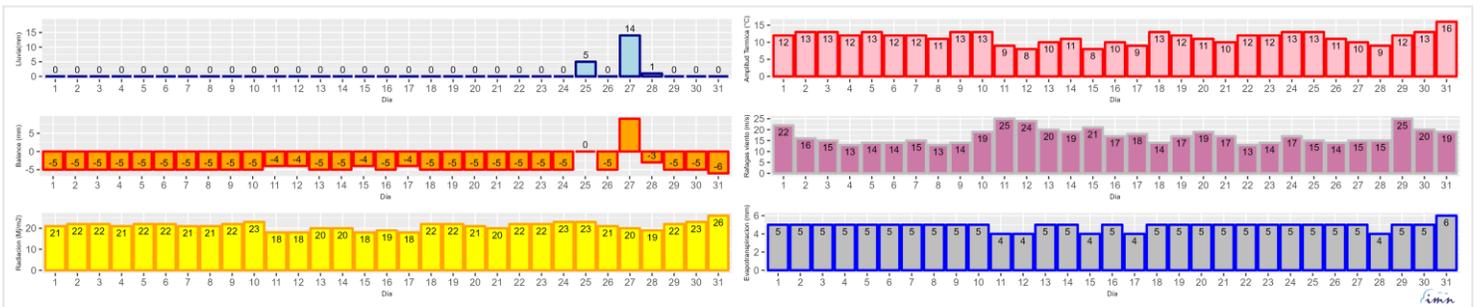


Figura 5. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm), viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>) y evapotranspiración referencia (mm) para marzo 2024 en la región cañera Valle Central (Este y Oeste).

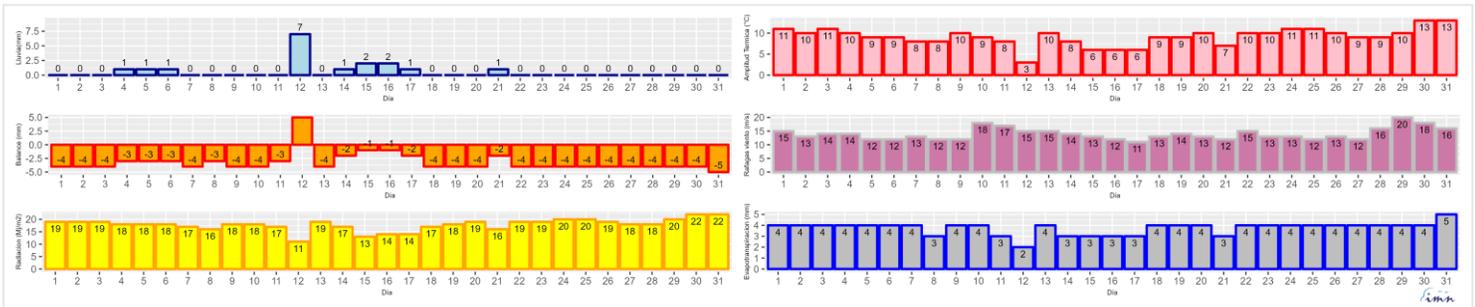


Figura 6. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm), viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>) y evapotranspiración referencia (mm) para marzo 2024 en la región cañera Turrialba (Alta y Baja).

Abril 2024 - Volumen 1 – Número 1

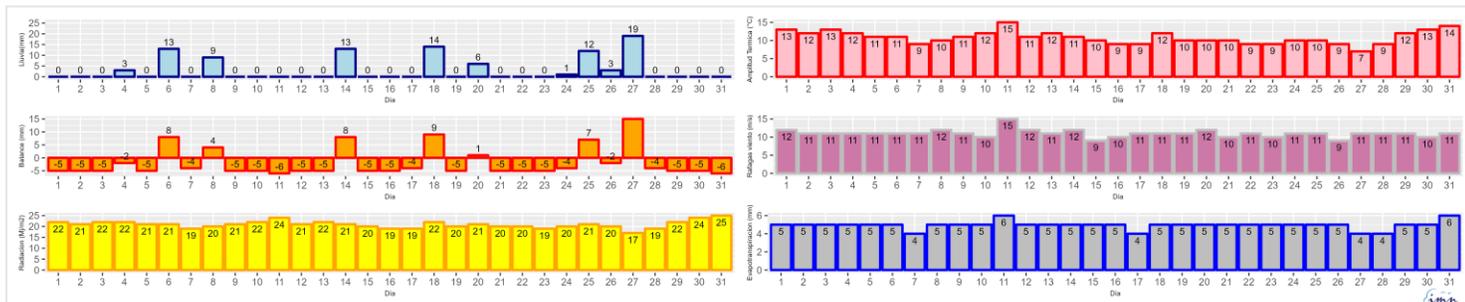


Figura 7. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm), viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>) y evapotranspiración referencia (mm) para marzo 2024 en la región cañera **Región Sur**.

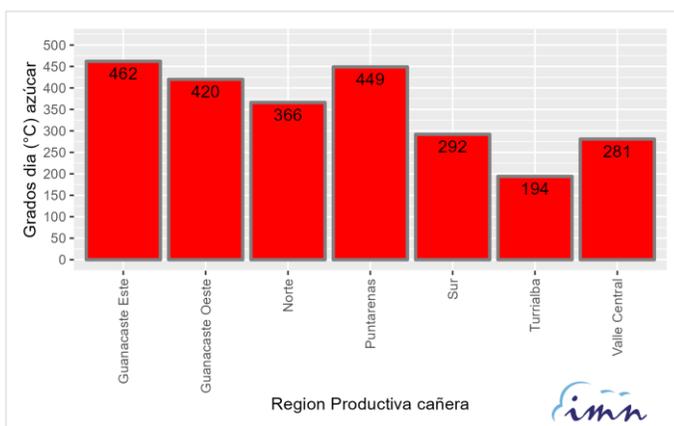


Figura 8. Grados día (°C) por región cañera para marzo 2024 en la región cañeras.

Descripción de iconografía utilizada en la tabla previa del pronóstico semanal para viento, lluvia y temperatura media.

Variable	Más que lo normal (o climatológico)	Igual que lo normal (o climatológico)	Menor que lo normal (o climatológico)
Viento	viento más acelerado de lo normal	velocidad del viento normal	viento menos acelerado de lo normal
Lluvia	más lluvioso de lo normal	lluvioso normal	menos lluvioso de lo normal
Temperatura media	más cálido de lo normal	igual de cálido que lo normal	menos cálido de lo normal

## LAICA Y EL IMN LE RECOMIENDAN

Mantenerse informado con los avisos emitidos por el IMN en:



@IMNCR  
Instituto Meteorológico Nacional CR



@InstitutoMeteorologicoNacional  
[www.imn.ac.cr](http://www.imn.ac.cr)

## HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

De acuerdo con Central America Flash Flood Guidance System (CAFFG), el cual estima la humedad en los primeros 30 cm de suelo, durante el periodo del 1° al 31 de marzo de 2024 se tuvieron en general condiciones de muy baja saturación en todas las regiones productoras de caña de azúcar, especialmente en las regiones Guanacaste Este y Oeste, Puntarenas, Valle Central Oeste. En las regiones Sur, Turrialba y Región Norte hubo un mayor contenido de humedad en el suelo comparado con el resto de las zonas productoras de caña, pero no fue una alta saturación.

Como se observa en la figura 09, las regiones Guanacaste Este y Oeste, Región Norte, Valle Central Este y Oeste presentan entre 0% a 30% de humedad en los suelos. La Región Puntarenas tiene entre 0% y 15%.

La Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) está entre 15% y 60%, mientras que la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) presenta entre 15% y 45%. La Región Sur varía entre 0% y 60% de saturación.

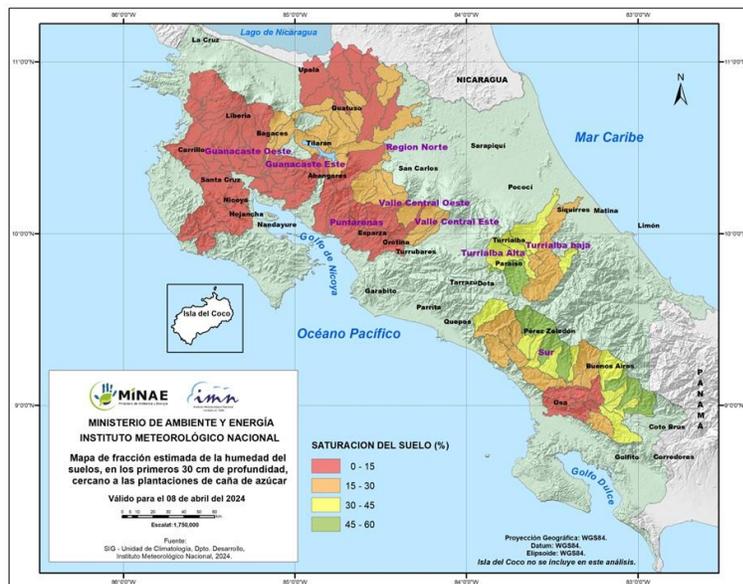


Figura 09. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercano a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 08 de abril del 2023.

### CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

Producción y edición del Departamento de Desarrollo  
Coordinación: *Karina Hernández Espinoza, Meteoróloga*  
*Katía Carvajal Tobar, Ingeniera Agrónoma*  
*Nury Sanabria Valverde, Geógrafa*  
*Marilyn Calvo Méndez, Geógrafa*

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

## NOTA TÉCNICA

## El Cloro y la caña de azúcar

Marco A. Chaves Solera<sup>1</sup>

## Introducción

Recientemente recibí una inquietante y debo manifestar con certeza, insospechada consulta técnica planteada por un estimable colega y empresario de la caña de azúcar orientado a la producción y elaboración de dulce; por medio de la cual me señalaba un grave problema que lo afectaba de manera importante en sus intereses comerciales. En lo particular señalaba el interesado, haber recibido anotaciones de inconformidad en la calidad de algunos lotes de producto (dulce granulado) debidamente certificado exportado a Europa, lo cual como le fue indicado oportunamente, se debía a la presunta presencia de concentraciones de Cloro (Cl) superiores a los niveles de conformidad aceptados e impuestos por los principios comerciales del “*fair trade*”.

Su consulta iba referida específicamente a la posibilidad de que pudieran existir altas concentraciones absorbibles del elemento Cloro, en los suelos donde se producía la materia prima que dio origen al producto comercial exportado y cuestionado. La verdad la consulta me resultó en lo personal inesperada y sorpresiva virtud de su novedad; pues debo manifestar que en mis 44 años de labor y relación técnica continua con el cultivo de la caña de azúcar y particularmente con la nutrición del cultivo, nunca dicho elemento químico había destacado interviniendo de alguna manera notoria el cultivo. A lo anterior debo agregar que en mis estudios de posgrado desarrollados en el campo de los “Suelos y la Nutrición Vegetal”, la trascendencia de dicho elemento no superaba su conocida condición tradicional de “esencial” con funciones muy específicas operadas en el metabolismo de las plantas.

En primera instancia la consulta significó y me obligó a realizar una larga y profunda revisión y repaso mental de conceptos y principios fisiológicos, nutricionales, metabólicos y asociados

con la química de los suelos, que, sin embargo, pocas respuestas convincentes generaron, lo que condujo inevitablemente a la consulta documental del tópico. Fue así como surgieron preguntas válidas sin respuesta pronta como fueron ¿Es posible encontrar altas concentraciones de Cloro absorbible en los suelos cañeros nacionales? ¿Por qué no existen evidencias, antecedentes y reportes nacionales y externos al respecto? ¿Qué condición particular taxonómica, edafoclimática o de manejo pudiera inducir y provocar esa condición tan especial? ¿Cuál sería, de existir, el efecto que tendrían las concentraciones tóxicas y/o deficitarias sobre los rendimientos agroindustriales del cultivo? ¿De existir el problema, que medidas adoptar para resolverlo? Como se infiere, el tema me generó una profunda distracción y preocupación personal por su primicia y carencia de información.

Por este motivo, se busca con el presente documento ubicar, contextualizar y valorar la importancia, relevancia y trascendencia nutricional del cloro como nutrimento esencial para las plantas, y confirmar la forzosa necesidad de considerarlo como parte integral de todo programa de nutrición y fertilización comercial en plantaciones de caña de azúcar en el país.

## El Cloro como elemento

El cloro cuyo símbolo es Cl es un elemento químico ubicado en la tabla periódica de los elementos en el grupo de los halógenos (grupo VII A), cuyas propiedades son según Wikipedia (2023) las siguientes.

- Símbolo: Cl
- Masa atómica: 35.453 u
- Número atómico: 17
- Configuración electrónica: [Ne] 3s<sup>2</sup>3p<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, MSc. Investigador. Especialista en el cultivo de la Caña de Azúcar. E-mail: [chavessolera@gmail.com](mailto:chavessolera@gmail.com). Heredia, Costa Rica. Diciembre 2023.

- Electronegatividad: 3,16
- Descubrimiento: 1774
- Punto de ebullición: -34,04 °C
- Punto de fusión: -101° C
- Densidad relativa del líquido (agua = 1g/ml): 1,4 a 20°C y 6,86 atmósferas.
- Solubilidad en agua (g/100 ml a 20°C): 0,7
- Presión de vapor (kPa a 20°C): 638
- Densidad relativa del gas (aire = 1g/ml): 2,5

En condiciones normales y en estado puro, es un gas de color amarillo-verdoso formado por moléculas diatómicas de cloro (Cl<sub>2</sub>). Constituye una sustancia más pesada que el aire, de olor penetrante, fácilmente distinguible y muy desagradable, ligeramente soluble en agua (unos 6,5 g/l a 25°C.), que puede llegar a formar ácido hipocloroso (HClO).

Es un elemento abundante que no se encuentra en la naturaleza en estado puro, ya que reacciona con rapidez con otros elementos y compuestos químicos, formando sales y ácidos. Se obtiene a partir de cloruros en procesos de oxidación, generalmente mediante electrólisis (proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad).

El elemento se obtiene (más del 95% de la producción) mediante la electrólisis de cloruro de sodio (NaCl), en disolución acuosa, denominado proceso de cloro-álcali. A nivel industrial se emplea primordialmente en el proceso de desinfección de aguas de consumo humano, empleando ácido hipocloroso (HClO) generado por la disolución de cloro en agua.

Otras fuentes de emisión de esta sustancia se originan en:

- La producción de papel empleado en el blanqueo de la pulpa, aunque actualmente es sustituido por dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>).
- La producción de cloruro de vinilo (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl), compuesto orgánico que se emplea especialmente en la síntesis del policloruro de vinilo (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl)<sub>n</sub>, también conocido como PVC.
- La síntesis de numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos, por ejemplo, tetracloruro de carbono (CCl<sub>4</sub>) o cloroformo (CHCl<sub>3</sub>), y distintos halogenuros metálicos.

- La preparación de cloruro de hidrógeno puro ocurre por síntesis directa, de acuerdo con la siguiente reacción:  $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$ .

En estado gaseoso y líquido el cloro es un elemento irritante que provoca quemaduras en la piel, los ojos y el tracto respiratorio, aunque los efectos pueden no manifestarse de manera inmediata. La exposición a altas concentraciones puede provocar edema pulmonar, que si existiese un contacto prolongado se produce la debilitación de los pulmones, aumentando la posibilidad de provocar bronquitis crónica y erosiones dentales.

El cloro es una sustancia química industrial muy importante que se usa en la manufactura de miles de productos. Es un producto muy conocido por su amplio empleo doméstico en la desinfección y limpieza sanitaria y también para blanquear y desinfectar la ropa; en cuyo caso, debe utilizarse con sumo cuidado a la hora de aplicarlo en las prendas, ya que si se remojan por demasiado tiempo pueden blanquearse en exceso y dañar los tejidos de forma irreversible.

En lo concerniente a su impacto en el medio ambiente, el Cl es una sustancia no combustible que facilita sin embargo la combustión de otras sustancias pudiendo producir incendios o explosiones. Las mayores emisiones de cloro se producen en el aire y en el agua, dónde reacciona con otros compuestos químicos, siendo improbable su infiltración en el suelo. Estudios de laboratorio han demostrado que la exposición repetida al cloro en el aire puede afectar al sistema inmunitario, la sangre, el corazón, y el sistema respiratorio de los animales, pudiéndoles provocar la muerte.

Las referencias encontradas sobre contenidos y usos del cloro en la caña de azúcar y en la remolacha azucarera, tanto en su práctica comercial como también referido a estudios de laboratorio, son realmente muy escasas; hay sin embargo muchas referencias al cloro, pero no dirigidas al cloro iónico, de los cloruros, y si, al cloro gaseoso y al cloro en la forma de cloritos, hipocloritos y cloratos en la parte industrial, o sea, en la desinfección del jugo de la caña y en la clarificación del sirope. Se comenta ampliamente sobre resultados obtenidos en la industrialización y clarificación del jugo de caña en la fábrica empleando productos como NaCl, NaClO, NaClO<sub>2</sub>, HClO y Cl libre, entre otros (Mello Morães *et al* sf).

### El Cloro como nutrimento esencial para la caña

Es en primera instancia pertinente y necesario repasar lo concerniente al tema de la esencialidad nutricional para ubicar la participación e importancia del cloro en el metabolismo de las plantas, y en lo específico de la caña de azúcar. Apunta y comenta Chaves (2022a), que los investigadores Arnon y Stout fueron los primeros en proponer formalmente y desarrollar en 1939 con fundamento técnico el “*Concepto de esencialidad nutricional en las plantas*”; los cuales pasaron rápidamente a operar como verdaderos principios universales sobre los que se ha sustentado la nutrición de plantas tradicional y moderna, y para lo cual dichos investigadores definieron lo siguiente:

***“Un elemento no es considerado esencial a menos que (a) la deficiencia de él torne imposible para la planta completar el estado vegetativo o reproductivo de su ciclo de vida; (b) tal deficiencia sea específica al elemento en cuestión, y pueda ser prevenida o corregida apenas adicionando ese elemento; y (c) el elemento está envuelto directamente en la nutrición de la planta, independientemente de sus posibles efectos en la corrección de alguna condición microbiológica o química desfavorable del suelo u otro medio de cultivo.”***

Dicho de forma más simple y entendible, los postulados de Arnon y Stout establecen requisitos que deben ser cumplidos y satisfechos a cabalidad para que un elemento pueda ingresar y calificar en este selecto grupo de nutrimentos bajo la categoría de “esenciales”.

Pese a su novedad y buena acogida por el nuevo orden que esos principios establecían en la materia aludida, muchos investigadores fueron críticos y cuestionaron la validez y alcances de lo que calificaron como “frágiles criterios y argumentos” de la teoría propuesta por Arnon y Stout y que sustentaban su conceptualización de lo que era la esencialidad nutricional en los vegetales. Con el posterior y dinámico avance científico empleando equipos más sofisticados, técnicas finas y apropiadas se alcanzaron nuevos resultados en la investigación, que hicieron que surgiera una nueva acepción al concepto de esencialidad nutricional, provocando que este fuera revisado, recalificado y sustituido por el siguiente:

***“Un elemento es esencial si satisface uno o ambos de dos criterios: (1) el elemento es parte de una molécula que es un componente intrínseco de la estructura o del metabolismo de la***

***planta; (2) la planta puede ser tan severamente privada del elemento que exhibe anomalías en su crecimiento, desarrollo o reproducción esto es, en su actividad en comparación con plantas menos privadas.”***

Una valoración de contenidos y alcance conceptual demuestra que el cambio incorporado es significativo y trascendental virtud de incorporar e integrar razonamientos objetivos y verificables al criterio de esencialidad de un elemento, lo que indujo un cambio de fondo a los principios originales con los cuales se gobernó esta materia por muchos años, no solo en el campo teórico sino principalmente pragmático manifestado en la fertilización de los cultivos agrícolas.

En este acápite es coincidente la literatura actual en señalar luego de transcurridos 85 años desde que Arnon y Stout establecieron en 1939 sus postulados, que son 17 y no los 16 elementos nutricionales clásicos reconocidos por muchos años como base de la nutrición. Se incorpora ahora al níquel (Ni) como esencial.

Resulta por lo anterior de mucho interés pragmático reiterar lo señalado por Chaves (2022a) al apuntar, que ***“En la propuesta clásica, se consideró y aceptó por muchos años que los nutrimentos esenciales eran 16, representados por: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, B, Cu, Mn, Mo y Cl; lo cual con el nuevo, moderno y renovado criterio de esencialidad favoreció la inclusión (relativa) de otros que satisfacían los preceptos que sustentaban los principios fundamentales, entre los cuales se mencionan como novedad el silicio (Si), cobalto (Co), níquel (Ni), selenio (Se) y sodio (Na) que eleva el número a 21...”***

No puede ni debe dejar de considerarse en cualquier valoración, inferencia o conclusión que sobre esta materia se haga, el señalamiento hecho por Chaves (2022b), al manifestar que ***“Debe quedar claro para fines y efectos nutricionales que en la actualidad se consideran 17 elementos químicos (14,4%) de los 118 reconocidos e integrados en la tabla periódica, que cumplen y satisfacen los preceptos establecidos para calificarlos como esenciales para las plantas vasculares; existiendo otros que no son esenciales, pudiendo las plantas vivir y desarrollarse sin su presencia, pero que pueden sin embargo contribuir en algunos vegetales con la fisiología del crecimiento y la producción o la tolerancia y adaptación a condiciones***

*desfavorables del medio (clima plagas, patógenos, toxicidades)."*

Adicionalmente con la propuesta y acogida de nuevas teorías y propuestas en el campo tecnológico de la nutrición de plantas, se ha demostrado que existen elementos químicos considerados por su actividad como **no esenciales**, pero que poseen una acción benéfica que cumplen un papel funcional importante en la vida de algunos grupos de plantas. Con base en los argumentos anteriores y en un intento por clasificarlos, Malavolta (1980) se permitió ubicar y categorizar los elementos minerales absorbidos por la planta en tres conceptos:

- **Esenciales:** son los nutrientes minerales de la planta sin los cuales ésta no completa su ciclo vegetativo ni vive. El Cl se

incluye en esta categoría, considerando al C, H y O por su parte como nutrientes orgánicos.

- **Útiles:** no son esenciales, pudiendo la planta vivir sin su presencia. Pueden sin embargo contribuir para el crecimiento y la producción o la tolerancia a condiciones desfavorables del medio (clima plagas, patógenos, toxicidades).
- **Tóxicos:** son perjudiciales para el vegetal no calificando en las dos categorías anteriores.

Utilizando el mismo precepto diferenciador Alcántar y Trejo (2013) incorporaron una ligera variación en el término aplicado para describir el criterio en que opera la esencialidad, como se anota en el Cuadro 1, categorizando al cloro como un "Elemento indispensable" para las plantas.

Cuadro 1. Clasificación de los elementos minerales de acuerdo al nivel de requerimiento por las plantas.	
Clasificación	Requerimiento por las plantas
Elementos indispensables	Aquellos de importancia vital para la nutrición de la planta y que reúnen los requisitos establecidos por los criterios de esencialidad. Son 17 los ubicados en esta categoría: <b>C, H, O, N, P, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Ni y Cl.</b>
Elementos Útiles	Los elementos que en una forma directa o indirecta benefician la nutrición de las plantas superiores o de algunas específicas, sin ser indispensables en la nutrición vegetal, como: <b>Si, Co, Na y Se.</b>
Elementos Prescindibles	Elementos que no son absorbidos por la planta, pero que no realizan funciones fisiológicas específicas, ni benefician directamente o indirectamente el crecimiento de las plantas.

Fuente: Alcántar y Trejo (2013).

Asimismo, y para evitar falsas interpretaciones y evacuar dudas, afirma el mismo autor que *"Todos los elementos esenciales son encontrados dentro de la planta, más no todos los elementos encontrados en la planta son esenciales"*, lo que debe ser incuestionablemente tomado en consideración y aplicado en el abordaje de este tema. Elementos químicos como aluminio (Al), rubidio (Rb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), vanadio (V), litio (Li), estroncio (Sr) y otros muchos caen en esa condición.

Como se infiere de lo denunciado anteriormente, el cloro está considerado y clasificado desde sus inicios al cumplir con los postulados establecidos por Arnon y Stout vigentes, como uno de los 21 nutrimentos esenciales aceptados y reconocidos en la

actualidad; habiendo sido según Chaves (2022a) descubierto por Scheel en 1774 y demostrada su esencialidad en las plantas por T.C. Broyer *et al* en 1954 como también lo refieren Epstein y Blomm (2006), Bataglia *et al* (1992) y Benton *et al* (1991).

En lo específico no resulta nada fácil ubicar y demostrar los alcances de esencialidad de un nutrimento tan especial y particular como el cloro, virtud de las bajas concentraciones en que se le encuentra; sin embargo, en el Cuadro 2 se presenta un detalle interesante de las principales características del elemento químico en la nutrición mineral de las plantas superiores, indicando sus formas iónicas absorbibles, peso atómico, la unidad en que es expresado y los rangos de concentración en que es por lo general encontrado en los

tejidos vegetales de la sección aérea (principalmente hojas) pertenecientes y referidas, eso sí, a diferentes especies y

genotipos de plantas y condiciones variables y hasta disímiles de entorno.

**Cuadro 2. Caracterización y variación en la concentración de Cloro en plantas cultivadas.**

Elemento	Símbolo	Forma absorbible por plantas	Peso Atómico	Unidad	Concentraciones*	Observaciones
Cloro	Cl	Cl <sup>-</sup>	35,46	ppm	10 - 80.000	Nutrimento clasificado como esencial

Fuente: Adaptado de Epstein y Bloom (2006); Salisbury y Ross (1994).

\* Con base en peso seco.

Es un hecho científicamente comprobado que todos los seres vivos del reino vegetal sean plantas superiores o inferiores, también los del reino animal y otros organismos identificados como microorganismos, hongos, algas o bacterias, mantienen requerimientos nutricionales de elementos esenciales muy diferentes. como se muestra en el Cuadro 3. De acuerdo con lo expuesto por Chaves (2022a) son solo 9 los nutrimentos esenciales que comparten esa condición de integralidad tan especial, representada por N, P, K, S, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu. El cloro no se ubica en ese grupo. Es interesante reconocer según Epstein y Bloom (2004), que el cloro es considerado como un nutrimento mayor y esencial confirmado por mecanismos bioquímicos en el caso de la nutrición animal. Hay sin embargo otros 12 elementos cuya esencialidad alcanza solo algunos grupos o miembros de estos, como sucede con Ca, B, Cl, Na, Mo, Se (selenio), Si, Co, I (iodo) y Va (vanadio). Destaca y cabe mencionar por su relevancia que algunos elementos poseen la particular propiedad de sustituir con capacidad funcional al elemento esencial, como ocurre con el rubidio (Rb) por el K, el estroncio (Sr) por el Ca o el bromo (Br) en este particular por el Cl.

**Cuadro 3. Esencialidad del cloro en plantas superiores e inferiores.**

Elemento	Plantas Superiores	Algas	Hongos	Bacterias
Cl	†	†	-	±

Fuente: Epstein (1972); Alcántar y Trejo (2013).

Nota: (†): esencial para el grupo; (-): desconocido si es esencial para el grupo; (±): esencial para algunos miembros pero no para todos los miembros del grupo.

### Función y funcionalidad del cloro en la planta de caña

Resulta en principio prudente, necesario y conveniente discernir y posicionar el significado teórico-pragmático de esos dos

conceptos (función y funcionalidad) tan importantes y significativos en el campo de la nutrición de los seres vivos y no solo las plantas. Al respecto señala Chaves (2022b), que *“La función de un elemento se refiere por tanto al lugar donde actúa; la funcionalidad puede concebirse como la forma en que actúa y ejerce sus funciones en la fisiología y metabolismo de la planta.”* Agrega y amplía el mismo autor al respecto, que *“Ambos términos es prudente y conveniente diferenciarlos y contextualizarlos en su verdadera dimensión para comprender mejor el papel que desempeñan los elementos en la nutrición de las plantas. Por su función, el N y el P son determinantes en la producción de biomasa y el desarrollo radical, respectivamente, por lo que su adición es fácil valorarla, medirla y cuantificarla. El K por su parte tiene funcionalidad sobre diversos procesos (por ej. enzimáticos y osmóticos) que no necesariamente son perceptibles y cuantificables, aunque su ausencia o deficiencia genera un grave estado de afectación general a la planta que puede ser asociado a otras causas (Chaves 1999, 2017; Kingston 2014).”*

El cloro es indiscutiblemente esencial en reacciones de la fotosíntesis, como acontece con la fotólisis del agua y su participación en las actividades del fotosistema II, siendo por ello esencial para el crecimiento y el desarrollo de la planta de caña de azúcar, como lo apuntaron Sobral y Weber (1983) y reafirmaran Vicari Mellis *et al* (2008).

Es conocido que las plantas interceptan y adquieren mayoritariamente del suelo a través de su sistema radical los elementos químicos y componentes esenciales como también los no esenciales, disueltos en agua requeridos para la formación de biomasa, a excepción del carbono por su naturaleza química.

Tanto los macros como los micronutrientes disponibles en solución son incorporados desde la solución salina del suelo, absorbidos y conducidos hasta el interior de las células donde son asimilados, almacenados, metabolizados o transportados a otras células, tejidos u órganos donde son requeridos. La concentración, la forma química absorbible presente en el medio, el grado de dilución, el mecanismo de absorción, la condición edafoclimática general del entorno, la condición del sistema radicular y vegetativo de la planta, definen en última instancia el grado de eficiencia como sistema integrado con que opere el metabolismo funcional de las plantas y con ello del cultivo.

El contenido y el movimiento que siguen los nutrientes en el interior de la planta depende mucho de la capacidad de absorción y de la demanda que tenga el vegetal por el elemento, lo cual involucra diversas actividades metabólicas vinculadas entre sí, como son: a) liberación del elemento a la solución del suelo, b) movilización hacia la raíz, c) absorción por las raíces y d) translocación y movilización del nutriente dentro de la planta (Chaves 2022b).

En el Cuadro 4 se presenta un detalle de la forma absorbible del cloro por las raíces en el suelo o el medio nutritivo empleado como solución hidropónica, cuya concentración en tejido seco es sin embargo comparativamente muy inferior a la de otros nutrientes esenciales (N, K, Ca, Mg, P y S), similar al Fe y superior a otros como elementos también importantes: Mo, Ni, Cu, B, Zn, Mn (Chaves 2022a, Alcántar y Trejo 2013; Epstein y Bloom 2006; Salisbury y Ross 1994).

Cuadro 4. Concentración promedio de cloro en las plantas superiores.

Elemento	Símbolo	Forma absorbible por plantas	Concentración en tejido seco		N° relativo de átomos comparado con el Mo
			mg kg <sup>-1</sup>	(%)	
Cloro	Cl	Cl <sup>-</sup>	100	0,01000	3.000

Fuente: Epstein y Bloom (2006); Alcántar y Trejo (2013); Salisbury y Ross (1994).

Es interesante mencionar como observación trascendente que la literatura especializada no menciona, ubica con certeza, ni se refiere expresamente al cloro respecto a los tres mecanismos tradicionales por medio de los cuales un nutriente puede acceder e ingresar desde el suelo a la planta, como son: **Flujo de masas, Difusión e Intercepción** (Chaves 2022b). Pese a ello, la literatura indica que, en su forma soluble, el cloruro es absorbido por las raíces a través de un complejo sistema de transportadores aniónicos, y se transporta al resto de la planta siguiendo el flujo de agua inducido por la transpiración o sea por medio del mecanismo de flujo de masas (Colmenero Flores *et al* 2019).

### Funciones y atributos del cloro en el suelo y las plantas

Procurando ubicar y contextualizar la importancia y esencialidad del cloro en las plantas, se considera razonablemente que una clasificación desde la perspectiva nutricional empleando como criterio diferenciador la naturaleza química y las funciones fisiológicas desempeñadas por el nutriente en la planta, resulta muy válido y apropiado porque resuelve conflictos que otros criterios por el contrario confunden, disimulan y hasta ocultan, como es el caso del empleo de valoraciones fundadas en las cantidades de elemento contenidas; sin embargo, dicha conceptualización no es fácil de establecer. Debe considerarse en las valoraciones que se realicen sobre este anión, que desde hace apenas 15 años cuando se ha empezado a entender el transporte de este ion a través de membranas biológicas. En el Cuadro 5 se hace un esfuerzo con este elemento.

Cuadro 5. Clasificación del Cloro basado en propiedades químicas y funciones fisiológicas.

Nutriente	Grupo Químico	Absorción	Funciones Fisiológicas
Cl	Halógenos	En forma de cloruro de la solución del suelo y a través del follaje en zonas costeras.	Esencial en la fotosíntesis del agua del PSII y en el balance de cationes.

Fuente: Bataglia *et al* (1992); Alcántar y Trejo (2013); Mengel y Kirkby (2000).

En lo específico pueden identificarse muchas y variadas características, propiedades y funciones del cloro muy particulares e importantes tanto en el suelo como en la planta, como son entre otras las siguientes:

#### A. En el suelo:

- Está clasificado como micronutriente esencial en la fertilización de las plantas, encontrándose en forma de Cl<sup>-</sup> o cloruro.
- La mayor disponibilidad de cloro se da en condiciones de acidez neutra-alcalina y se reduce conforme aumenta la acidez del medio.
- Por su actividad y estrecho vínculo con el Na<sup>+</sup> y otros cationes es un potencial generador de condiciones inconvenientes de salinidad en el suelo.
- Al ser un anión no puede ser retenido por las arcillas en el suelo razón por la cual tiene un comportamiento muy similar al de los nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).
- En exceso puede generar antagonismos con otros aniones tanto en el suelo como en las células.
- Constituye un excelente anión acompañante en formulaciones de fertilizantes comerciales.

- El uso de agua clorada puede eliminar los microorganismos beneficiosos presentes en el suelo y los abonos orgánicos, lo que es perjudicial.
- Al ser el cloro un contaminante químico, puede quemar las raíces finas de las plantas evitando que estas absorban agua y nutrimentos esenciales del suelo.

#### B. En la planta:

- 1) Es un elemento monovalente aniónico que posee gran movilidad dentro de la planta cuyas funciones no son tan específicas, moviéndose hacia las secciones de la planta con actividad fisiológica.
- 2) Al ser un ion cargado negativamente, puede movilizarse hacia el interior de las células y entre los compartimentos celulares por medio de proteínas de transporte de iones (transportadores) incrustados en las membranas celulares.
- 3) Se acumula principalmente en los cloroplastos.
- 4) Es esencial para la función fotosintética de la planta.
- 5) Regulador estomático, osmótico, enzimático y del pH celular.
- 6) Participa de los procesos de crecimiento de las células vegetales por elongación.
- 7) En concentraciones fisiológicas adecuadas está involucrado en procesos vitales de las plantas, como la fotosíntesis.
- 8) Interviene como cofactor (coenzima) para activar la fotólisis del agua con emisión de oxígeno en el fotosistema II (FS II).
- 9) Como productor de oxígeno en la fotosíntesis, es necesario para el funcionamiento óptimo de los sistemas de evolución de O<sub>2</sub>.
- 10) Participa en fosforilaciones (adición de un grupo fosfato a cualquier otra molécula) cíclicas y no cíclicas.
- 11) Se requiere para la activación de enzimas como amilasa, asparagina sintetasa y ATPasa del tonoplasto.
- 12) Cumple una acción anti enzimática, dificultando la migración del almidón soluble de las hojas para los órganos de reserva (tubérculos, tallos, raíces tuberosas, frutos, etc.).
- 13) Provee mantenimiento del gradiente de pH existente entre el citosol y la vacuola por activación de la Mg, Mn ATPasa del tonoplasto (membrana que delimita la vacuola central en las células vegetales).
- 14) Es muy importante en el balance de cargas de las células, participando en el balance de aniones en la planta.
- 15) Actúa como contraión de cationes.
- 16) Contribuye en el control de los potenciales electroquímicos celulares.
- 17) Constituye el principal ion inorgánico en el citoplasma, asociado con el K<sup>+</sup> para mantener la turgencia de las células.
- 18) Estabilizador del potencial de membrana.
- 19) Controla la permeabilidad de la membrana celular.
- 20) Tiene la importante función de habilitar a nivel celular el paso de iones por las membranas celulares, posibilitando y balanceando la toma de otros cationes como el Na<sup>+</sup>; o en su caso, regular la pérdida de aniones como el nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).
- 21) Es un soluto de efecto osmótico de gran importancia en las vacuolas de la célula vegetal que ayuda a mantener la turgencia de los tejidos vegetales y la regulación osmótica general de la planta.
- 22) Puede afectar el crecimiento de las plantas indirectamente por intermedio de la regulación de estomas, como ion contrario del K<sup>+</sup>.
- 23) Actúa en los procesos de osmorregulación y regulación de turgencia en las plantas.
- 24) La acción del Cl, en lugar de malato, es de particular importancia para las plantas en las cuales los cloroplastos de las células de estomas no están presentes, o tienen desarrollo incipiente.
- 25) Desempeña una función importante cuando las plantas se enfrentan condiciones de altas concentraciones y estrés por sales, dependiendo de la especie.

En conclusión, el cloro es considerado un elemento fundamental y esencial en el desarrollo de las plantas, entre ellas la caña de azúcar, por participar en procesos de vital importancia como se anotó anteriormente, como son la fotosíntesis, la elongación celular, la osmorregulación (movimiento de agua hacia dentro y fuera de las células de las plantas), por su papel en el balance de cargas de la membrana celular y en el equilibrio iónico en el interior de sus células, como lo han referido Malavolta (1980, 2006); Benton Jones *et al* (1991); Anderson y Bowen (1994); Salisbury y Ross (1994); Bertsch (1998); Calcino (2000); Cuellar Ayala *et al* (2000); Mengel y Kirkby (2000); Epstein y Blomm (2006); Vicari Mellis *et al* (2008); Marschner (1986, 2012); Kingston (2014); Alcántar González y Trejo (2013); Castro (2016); Colmenero Flores (2019) y Chaves Solera (2022ab).

Está asimismo implicado en el mecanismo de apertura/cierre de estomas junto con el potasio y en diversos movimientos o nastias (movimiento pasajero de algunos órganos de un vegetal frente a un estímulo externo y difuso, basado en procesos de crecimiento o en el cambio de turgencia de grupos de células que varían su volumen mediante el control de la entrada y salida del agua; el

movimiento resultante no está influido por la dirección del estímulo).

### C. Productivamente:

- ❖ El cloro tiene un efecto muy favorable para el crecimiento de algunos cultivos (trigo y remolacha).
- ❖ Opera en la resistencia o tolerancia a enfermedades. Influye en la reducción o eliminación de los efectos producidos por al menos 15 enfermedades foliares y radiculares en 10 cultivos diferentes.

#### Contenidos en suelo y planta

Marschner (2012) ubica al cloro como un anión presente en la solución del suelo. En su calidad de micronutriente el cloro es un elemento de condición esencial para las plantas, que es requerido en cantidades muy pequeñas; lo cual dependiendo del cultivo y su etapa fenológica el contenido en el tejido de la planta será variable.

Como norma general la literatura reporta que las concentraciones con potencial de afectación de  $\text{Cl}^-$  en el suelo están asociadas con suelos de características salinas y sódicas de carácter alcalino, ubicados en regiones bajas y áridas, de origen o con influencia marítima. En este particular está demostrado que el agua salina o las condiciones que favorezcan la presencia de sales de manera permanente en el medio puede inducir problemas al cultivo, como lo demostraron Montes de Oca (1994) y Montes de Oca *et al* (1996) para el caso nacional. Esos investigadores evaluaron la respuesta de tres variedades comerciales de caña de azúcar (NCo 310, PR 61-632 y SP 71-6180) a tres contenidos salinos (conductividades de 0,96, 8,4 y 16,2 dS/m) en extractos saturados (pasta saturada) de un suelo del orden Vertisol de Taboga, en Cañas, Guanacaste. El contenido más alto causó la muerte de todas las plantas, entando que la intermedia (8,4 dS/m) las afectó severamente mostrando una sintomatología característica de esa condición. En la conductividad de 16,2 dS/m (decisiemens por metro) se determinó un porcentaje de sodio intercambiable de 4,98% y una relación Ca/Mg invertida donde el contenido de Mg fue superior al de Ca (31,11 y 23,85 cmol(+)/kg, respectivamente). El estudio reveló que la variedad PR 61-632 observó una menor sensibilidad a la afectación por sales, al mostrar más variables biométricas menos deterioradas.

Arrieta Chaves (2021) no encontró por su parte, que la marea tuviera influencia directa y afectación sobre la profundidad de los niveles freáticos medidos en lotes del Ingenio Taboga ubicado en Cañas, Guanacaste.

**Cuadro 6. Niveles adecuados de cloro foliar (%).**

Peso Seco (%)*		Hoja o tejido empleado	Edad Hoja (meses)	Corrección (kg/ha)	País o Estado
Crítico	Tóxico				
< 0,068	> 0,5	Vainas 1-4	8 - 10		Hawai

\* Resultados calculados en base a peso seco; los resultados de Hawai se reportan en base a peso seco libre de azúcar (Clements 1980).

Fuente: Anderson y Bowen (1994).

#### Deficiencia y/o toxicidad por cloro

Las deficiencias de cloro en el suelo no son muy comunes de encontrar por lo que los reportes en el campo agrícola son escasos, pese a lo cual en algunas regiones del mundo hay informes al respecto que indican que las excepciones no existen y las carencias son posibles. En el caso de las toxicidades la literatura demuestra que debido a la estrecha relación del cloro con las condiciones salino-sódicas su existencia es mayor y más incidente en materia de producción agrícola.

El efecto del  $\text{Cl}^-$  en los cultivos agrícolas está escasamente documentado, pero en la mayoría de casos su efecto se asocia al sodio ( $\text{Na}^+$ ), cuyo exceso sería el principal responsable de la reducción del crecimiento vegetal y productivo, con relativa poca atención al  $\text{Cl}^-$  y sus efectos e impactos. El cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) es el principal anión en la mayoría de los suelos salinos y una alta concentración de  $\text{Cl}^-$  en el medio puede provocar relaciones extremas y desequilibradas entre iones afectando significativamente el rendimiento de los cultivos.

Asevera Parra Terraza (2016), que altas concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en el medio afectan la absorción de N, P, K, Ca, S y Zn mediante interacciones de antagonismo; además que afectan la capacidad selectiva de las membranas.

Asegura la FAO (2019) que existen a nivel mundial más de 800 millones de hectáreas cuyos suelos se encuentran afectados por la salinidad; incluyendo suelos con presencia de altas concentraciones de sales solubles (cationes sodio, potasio, calcio y magnesio y de los aniones cloruro, sulfato, carbonatos y bicarbonatos) y los suelos sódicos (donde el catión predominante es el sodio y el anión es el cloro). En el caso de los últimos los efectos tóxicos son atribuidos al catión sodio ( $\text{Na}^+$ ), relegando al anión cloro ( $\text{Cl}^-$ ) a un segundo plano, lo que en la realidad no

debería ser así. Se ha encontrado que el  $\text{Cl}^-$  al igual que el  $\text{Na}^+$ , es tóxico cuando está presente en altas concentraciones en las plantas; considerándose inclusive que el Cl es metabólicamente más tóxico que el  $\text{Na}^+$ . La toxicidad por Cl constituye de acuerdo con esa fuente, un componente principal en los efectos del estrés salino en plantas, un hecho que ha sido relativamente descuidado en comparación con la relevancia asignada a los efectos del  $\text{Na}^+$ .

Señala Martínez Estévez (2019) en torno al vínculo del cloro y salinidad, que “...en condiciones salinas puede acumularse a niveles tóxicos en las hojas; limitar esta acumulación mejora la tolerancia a la salinidad de algunos cultivos, sobre todos en el caso de aquellos que no pueden desarrollarse a altas concentraciones salinas, conocidas como plantas glicófitas.”

Allison *et al* (1970) en su amplio y profundo documento sobre suelos salinos y suelos sódicos, manifiestan en torno al cloro, que “Como se indicó en la discusión relativa a la toxicidad del calcio, la acumulación del ión cloruro en los tejidos de las plantas que manifiestan síntomas de toxicidad, no es una indicación infalible de la toxicidad específica del cloruro. Muchas especies de plantas no son más sensibles a cloruros que ha concentraciones isosmóticas de sulfatos. Sin embargo, existe buena evidencia de la toxicidad específica de los cloruros para algunos árboles y cultivos de guía. Hayward y colaboradores (1946) y Brown y colaboradores (1953), encontraron que los cloruros son tóxicos al durazno y a otros árboles de endocarpio duro; y Harper (1946) ha informado “quemaduras” por cloruros en nogales y otras especies de árboles nativos de Oklahoma. También se han informado “quemaduras” por cloruros en cítricos (Red y Haas, 1924; Cooper y Gorton, 1951), en aguacates (Ayres, 1950; Ayres y otros, 1951), y en vides (Thomas, 1934; Ravikovitch y Bidder, 1937)”

Apunta asimismo la literatura de manera reveladora que en cultivos leñosos perennes como es el caso de la vid (*Vitis* spp.), los cítricos (*Citrus* spp.) y el aguacate (*Persea americana* Mill.); y en legumbres como la soya (*Glycine max* (L.) Merr.) y el haba (*Vicia faba* L.), la acumulación de Cl en las hojas se correlaciona de manera importante con la disminución de la transpiración, la tasa de fotosíntesis, el rendimiento y la calidad del cultivo (Martínez Estévez (2019). Algunos cultivos como el trigo (*Triticum* spp) han encontrado beneficios con la aplicación de cloruros.

Entre los cultivos que la literatura reporta como más tolerantes a las altas concentraciones de cloro están la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *altissima*) y cebada (*Hordeum*

*vulgare*), los medianamente tolerantes papa (*Solanum tuberosum* L.) y trigo, y por el contrario entre los más sensibles: el haba, las leguminosas, la fresa (*Fragaria* spp) y los guisantes (*Pisum sativum*).

La información anterior permite demostrar que el cloro es un elemento que puede al igual que cualquiera de los otros 16 nutrimentos categorizados como esenciales, presentar condiciones de limitación o excesos en sus concentraciones tanto en el suelo como en los tejidos, manifestados por medio de sintomatología propias y tipificantes de un estado de deficiencia o en su caso de toxicidad.

### Síntomas de deficiencia-toxicidad en caña de azúcar

Las plantas con deficiencia de cloro muestran síntomas de marchitez, clorosis, necrosis y una decoloración semejante al bronce. De acuerdo con Anderson y Bowen (1994) la clave para identificar en el campo los problemas relacionados con la nutrición de la caña orientados, aplicados en particular al cloro, se describe como sigue:

#### Clave para la identificación de problemas con cloro en caña de azúcar

<b>A2. Hojas jóvenes afectadas.</b>	
<b>B2.</b> Los meristemas apicales permanecen vivos; hojas inmaduras cloróticas y marchitas pero sin puntos necróticos.	
<b>C2.</b> Hojas jóvenes elongadas que se marchitan reversiblemente, especialmente en días cálidos y soleados, pero usualmente se recuperan por la noche (ver A3, B2)	
.....	<b>Deficiencia de CLORO</b>
<b>A3. Raíces afectadas</b>	
<b>B2.</b> Raíces anormalmente pequeñas; número mayor de raíces laterales	
.....	<b>Deficiencia de CLORO</b>
<b>B3.</b> Raíces anormalmente pequeñas con muy pocas raíces laterales	
.....	<b>Toxicidad de CLORO</b>

Fuente: Anderson y Bowen (1994).

Aseguran Anderson y Bowen (1994) que la deficiencia de  $\text{Cl}^-$  se presenta principalmente en hojas jóvenes las que son más afectadas. Asimismo, en el caso de las deficiencias es común encontrar que las raíces de desarrollan de forma anormal mostrando desarrollo muy limitado con acortamiento y crecimiento en el número de las raíces laterales. La fitotoxicidad muestra síntomas similares con raíces cortas y anormales, aunque en este caso con muy pocas raíces laterales.

Sus síntomas se presentan de acuerdo con varios autores como manchas cloróticas acompañadas de puntos necrosados localizados entre las venas o en las orillas de las hojas más jóvenes. En casos avanzados, la deficiencia de cloruro puede provocar marchitamiento general del tejido foliar. Una

deficiencia de cloro en los cultivos se presenta como un marchitamiento, donde la transpiración de la planta se ve afectada lo cual termina en clorosis. Se aduce que las deficiencias de cloro son poco comunes de encontrar y por ello casi excepcionales, puesto que esta sal se encuentra presente en la mayoría de las fuentes de agua, así como en los fertilizantes (como impurezas). Una toxicidad por cloro se manifiesta por presencia de quemaduras en los márgenes de las hojas, amarillamiento prematuro, bronceado e incluso caída de hojas.



(a)

(b)

**Figura 1.** Deficiencia (a) y toxicidad (ab) por cloro (0-100 ppm) en caña de azúcar. (Fuente: Anderson y Bowen 1994)

En el caso de Brasil, la ocurrencia e identificación de deficiencias de cloro en la caña de azúcar, aseguran Orlando Filho y compañeros (2001), aún no ha podido ser verificada en las plantaciones comerciales del lugar; lo cual, aducen, se debe probablemente a la utilización de cloruro de potasio como fuente de K para el cultivo.

Expresa Quintero Durán (1995) para el caso particular de la caña de azúcar en Colombia, que *“La deficiencia de cloro en la planta es difícil de identificar, ya que la cantidad que requiere es muy baja y, en la mayoría de los casos, es suministrada por el agua durante las lluvias (Russell y Russell, 1968). Por lo tanto, para estudiar los síntomas de deficiencia de este nutriente en la caña de azúcar, caracterizados por la presencia de hojas alargadas y una clorosis moderada en las hojas nuevas, es necesario inducirlos en invernadero (Sobral y Weber, 1983).”*

En Cañas, Guanacaste Montes de Oca (1994) y Montes de Oca et al (1996) observaron al crear y evaluar tres niveles salinos medidos en pasta saturada (conductividades de 0,96, 8,4 y 16,2 dS/m) la presencia de una quemazón en los extremos de las hojas

jóvenes y bordes de las hojas maduras; así como también la marchitez y el enrollamiento de las hojas fue una manifestación muy reveladora de la limitación presente en el medio para absorber el agua requerida en las funciones vitales de la planta, lo que era indicativo de un deterioro del sistema radical.

La toxicidad del cloruro inicia con un amarilleamiento prematuro de las hojas que conduce de no corregirse a la necrosis de las puntas y/o las orillas de las plantas de más edad; también produce bronceado. El geranio, la lechuga y la flor de nochebuena son plantas sensibles a la toxicidad del cloruro; el clavel, la lengua de barba (*Penstemon*), el tomate y la verbena también lo son, aunque en menor grado.

### Contenidos en el suelo

Analizar cloruros en el suelo no es una práctica común y ordinaria en materia de fertilidad de suelos, lo cual ha provocado que existan muy pocos datos e información sobre contenidos y niveles críticos que permitan interpretar adecuadamente los valores resultantes de un muestreo de suelos. Esta limitante se proyecta también a contenidos foliares y de tejido. La situación se agrava si vamos a lo específico en cuanto a cultivos, pues como acontece en el caso de la caña de azúcar, la información disponible es muy limitada.

Como se ha enunciado es posible que el cloro se encuentre en niveles altos, pero no tóxicos en el sustrato de cultivo, pudiendo por ello competir con otros elementos esenciales en cuanto a su potencial de poder ser absorbidos por las raíces de las plantas. En este sentido el ion cloro compite directamente con el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), el fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y el sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ). En caso de que los niveles de cloro sean altos y los de los otros nutrientes sean bajos o normales, la planta estará limitada de diferenciar unos de otros, absorbiendo lo que se encuentre en el sustrato de cultivo. Como consecuencia, es posible que la planta no reciba los niveles suficientes de algún elemento benéfico, provocando su deficiencia en el tejido.

Como está demostrado las sales solubles producen efectos dañinos en las plantas al incrementar el contenido de sal de la solución del suelo y el grado de saturación de los materiales intercambiables del suelo con  $\text{Na}^+$ . El contenido de sales arriba del cual el crecimiento de las plantas es alterado, depende y está directamente relacionado con factores como la textura, la distribución de sal en el perfil, la composición de la sal y la especie vegetal intervenida.

Algunos reportes indican que en suelos agrícolas de California las concentraciones de cloruros van de 12 a 18 ppm, mientras que en suelos del Reino Unido se han encontrado hasta 50 ppm, lo que indica y ratifica la gran variabilidad prevaleciente en diferentes tipos de suelos (FERTILAB 2023).

Es conocido que el Cl es un micronutriente esencial que cumple con los postulados establecidos para satisfacer esa condición; sin embargo, en el cultivo de plantas superiores como la caña de azúcar éste no es aplicado en la nutrición (Marschner 2012), ya que generalmente puede ser suministrado a través de la lluvia. Las plantas deficientes en Cl son raramente observadas en la agricultura comercial y competitiva o en la naturaleza. De acuerdo con Xu *et al* (2000), la concentración de Cl en el tejido, a la que se observan síntomas de deficiencia, varía entre aproximadamente 0,1 y 7 mg/g de peso seco.

La deficiencia de cloruro puede presentarse si, de manera permanente, el sustrato contiene menos de 2 ppm.

Hay autores que aseguran que las plantas ligeramente tolerantes pueden soportar hasta 177 mg/l de cloruros en el medio, y las muy sensibles podrían incluso tolerar algunas decenas de mg/l.

Indica Marschner (2012) que las concentraciones medias de cloro como Cl contenidos en la materia seca de brotes de planta considerado como suficiente para mantener un adecuado crecimiento es de 3  $\mu\text{mol/g}$  correspondiente a 100 mg/kg.

En un estudio desarrollado por Parra Terraza (2016) en condición de invernadero donde se evaluaron los efectos de relaciones  $\text{Cl}^-/\text{aniones}$  y  $\text{Na}^+/\text{cationes}$  en solución nutritiva sobre las concentraciones de Na, K, Ca y Mg en hojas y tallos de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L); los resultados revelaron que soluciones nutritivas de baja salinidad ( $\text{CE} < 2,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), con alta proporción de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  provocaron desbalances nutrimentales debido a los antagonismos  $\text{Cl}^-/\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-/\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$  que alteraron las concentraciones de los cationes  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  en hojas y tallos de las plántulas.

#### Fuentes proveedoras

Las fuentes potenciales que pueden proveer y aportar cloro al suelo no son como ocurre en el caso de otros nutrimentos, casi exclusivamente de origen comercial como acontece con los productos fertilizantes formulados industrialmente; lo que constituye en la práctica comercial-empresarial una enorme ventaja virtud de no tener que incurrir en gastos extras para su

atención, pues el nutriente llegará al suelo de manera muchas veces hasta ignorada.

Se han identificado fuentes proveedoras importantes que aportan el cloro en diferentes magnitudes como son la lluvia, las aguas de riego, los restos vegetales, los abonos orgánicos, los cloruros que componen y acompañan como elemento secundario algunos fertilizantes comunes, como es el caso del KCl, también el polvo, la contaminación industrial y agrícola. El cloruro de todas esas fuentes es químicamente el mismo. Se habla de que las precipitaciones pueden aportar cerca de 20 kg/ha de Cl cada año, siendo los aportes en el caso de las zonas costeras mucho más elevados (FERTILAB 2023). Por su parte, el cloruro de potasio aporta 76 kg de Cl por cada 100 kg de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) que se incorporen. Por su naturaleza y composición variable se ha encontrado que los abonos orgánicos tienen un aporte muy variable de Cl, lo que dependerá del tipo de abono, de la forma y los materiales con que fueron elaborados. En este sentido, el agua de riego empleada en los cultivos puede constituirse como ha sido comprobado, en el principal problema de los excesos que pudieran presentarse para los cultivos al contener altas concentraciones de cloruros y otras sales nocivas.

Informa Castro (2016) que “Lluvias próximas a la costa marina poseen 7 mg de Cl/l, así 2000 mm proveen 140 kg de Cl/ha. Puede estar en el agua de irrigación y en los fertilizantes.”

Las razones y circunstancias anteriores son las que posiblemente han provocado, favorecido e inducido el enorme desconocimiento que se tiene sobre la importancia del cloro como nutrimento esencial; así como el hecho de no tener que preocuparse por adicionarlo de manera exclusiva en los programas de fertilización comercial del cultivo.

#### Corrección

Por sus propias particularidades y propiedades es definitivo que el cloro constituye un micronutriente muy peculiar que requiere de un abordaje muy diferente a cualquiera de los otros 16 nutrimentos declarados esenciales; lo cual aplica para cualquiera de los ámbitos en que pueda ser valorado, sea en las fases de diagnóstico en suelo-planta o en su corrección, tanto en condición de deficiencia como de toxicidad.

La experiencia ha demostrado que la **deficiencia** de cloro puede ser corregida con alguna facilidad de manera indirecta mediante el uso y aplicación de KCl (cloruro o muriato de potasio) al suelo; lo cual es de hecho muy común virtud de ser la fuente principal y tradicional de potasio empleada en las formulaciones

comerciales. Muriato es el antiguo nombre de cualquier sal que contenga cloruro. La fuente de K empleada asegura también dos aspectos primarios:

- 1) Que la dosis de Cl sea suficiente para satisfacer necesidades fisiológicas de la planta
- 2) Que las adiciones del elemento al suelo se den con la frecuencia necesaria y requerida
- 3) Que la cobertura sea total independientemente de región, tipo de suelo, variedad cultivada y particularidades del manejo agronómico empleado.

Como indican Pérez Iglesias *et al* (2015) existe una relación estrecha con efecto implícito de la fertilización potásica sobre el contenido de potasio, cloruros, cenizas y acidez en el jugo de las plantas de caña.

En el supuesto caso de una presunta **toxicidad** por cloro por presencia de altas concentraciones del elemento en el suelo, lo recomendable es atenuar y mitigar sus efectos mediante el empleo de agua (no salina) con riegos sistemáticos que favorezcan la lixiviación del Cl<sup>-</sup> del suelo. Lo anterior complementado con el uso de yeso agrícola (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) ha demostrado ser también efectivo como mejorador de las condiciones fisicoquímicas del suelo, mejorando estructura y con ello la capacidad de infiltración de agua en el perfil del suelo. El SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> es un buen desintoxicante. Deben buscarse mecanismos que eviten la presencia y acumulación del anión Cl<sup>-</sup> en la solución del suelo. Debe evitarse como medida precautoria cultivar caña en localidades donde las condiciones sean de naturaleza árida y/o salino/sódicas.

Las inferencias que se realicen en torno al tema de este elemento deben considerar que en el sistema suelo-planta no pueden existir formas tóxicas de este elemento como ocurre con el gas cloro (Cl), hipoclorito (ClO<sup>-</sup>), ácido clorhídrico (HCl), ácido hipocloroso (HClO) y otros, pues la única forma presente es como Cl<sup>-</sup>.

Aunque el Cl es un micronutriente esencial para las plantas el mismo no se incorpora de manera ordinaria en soluciones nutritivas, porque se ha encontrado que los aportes de Cl de la atmósfera varían anualmente de 17,6 a 36 kg/ha (Reynolds *et al* 1997); aunado a que las cantidades de Cl depositadas en los suelos mediante el riego y la fertilización tradicional pueden ser mayores a 1.000 kg/ha (White y Broadley 2001), lo cual excede la demanda de las plantas, por lo que la toxicidad por Cl es siempre un peligro potencial que debe tenerse presente.

De acuerdo con Pérez Iglesias *et al* (2015), INPOFOS (1993) y Arzola *et al* (sf), se considera suficiente la adición de 5-20 kg de Cl/ha para el crecimiento de las plantas de caña de azúcar. Según Marschner (2012), el requerimiento mínimo de Cl, al ser un micronutriente esencial para las plantas superiores, es de 1,0 g/kg de peso seco de los cultivos.

En su estudio Mello Morães *et al* (sf) concluyeron para el caso de Brasil, que “...el Cl, en la forma de NaCl y en las dosis empleadas no tuvo efecto tóxico o estimulante en la caña Co 290, en un suelo franco arenoso, en la región de Piracicaba, alterando la producción, ni perjudicando la pureza del jugo o el rendimiento industrial en azúcar; su acción fue neutra, indiferente. Es probable que, en suelos salinos, con dosis mayores de Cl tenga acción diferente, dependiendo de otros factores, como clima (lluvias o irrigación), variedad, etc.

*La variedad Co 290 tolera bien concentraciones de Cl equivalente a 109 g por m lineal de caña, esto es, 54,5 g por esqueje, o todavía 656 kilos por hectárea. No fueron constatadas alteraciones en la coloración de las hojas y en el aspecto general del cultivo; no hubo superioridad del fertilizante K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sobre el KCl, pudiendo éste, cuyo precio unitario de K<sub>2</sub> es el más barato, ser aplicado sin temor como fertilizante potásico para la caña Co 290, aboliendo el viejo concepto que condena ese abono clorado para la caña de azúcar.*

*La variedad Co 290 debe ser, la prioridad, antes que nuevas experimentaciones sean hechas en ese sentido, recomendada en los suelos del litoral y en los salinos del Nordeste.”*

A manera de sugerencias y basados en los resultados obtenidos en el estudio realizado esos mismos autores con el fin de valorar los efectos nocivos del cloro, plantearon, que “Siendo el Cl, como se observó, un elemento peligroso es que puede tener efectos nocivos, en determinadas condiciones de clima, suelo y planta, ensayos deben ser hechos por las Estaciones Experimentales, en los suelos ricos en NaCl (litoral del País y suelos salinos del Nordeste), con cañas de las variedades cultivadas, una vez que, una misma especie vegetal, variedades diferentes pueden absorber un máximo y un mínimo de Cl, con efectos tóxicos en el 1° caso y estimulantes o indiferentes en el 2° caso; alivia notar también, que variedades distintas, en un suelo rico en sales, pueden absorber cantidades diferentes, en virtud del poder selectivo de sus raíces para la absorción de sales. Naturalmente, lo que interesa en esa experimentación es verificar la influencia no solo en la producción en masa de caña, como en su rendimiento industrial en azúcar, escogiendo de esta forma

*variedades más adaptadas a aquellas condiciones, como es el caso de la Co 290.”*

### Conclusión

A partir de todo lo comentado anteriormente, queda evidenciado y demostrado que elementos químicos como el cloro, pese a estar catalogado nutricionalmente como esencial para las plantas, siguen siendo vistos como iones residuales innecesarios para los cultivos y, por tanto, no considerados ni necesarios de incluir en los programas de nutrición comercial que se programen e implementen a nivel empresarial.

Tradicionalmente, y a pesar de su naturaleza esencial para las plantas, en el sector agrícola se ha considerado al cloruro como un elemento tóxico para los cultivos más que un nutriente esencial, ya que suele ser el anión mayoritario que acompaña al sodio en condiciones de salinidad. Tal es el cúmulo de creencias, a veces inexactas, que ofrecen una imagen generalizada de que el cloruro es perjudicial para la agricultura (Rosales *et al* 2020).

La aseveración anterior resulta productivamente temeraria y de preocupación pues las investigaciones señalan de manera contundente que las plantas utilizan el cloro en muy pequeñas cantidades, pero por su función y funcionalidad, resulta como se dijo, esencial y por tanto necesario de incorporar. Dichosamente las cantidades requeridas por las plantas son muy bajas, lo que aunado al hecho comprobado de que el nutrimento es adicionado en pequeñas proporciones por las lluvias, el agua de riego, en algunos fertilizantes como el KCl como anión acompañante y en los abonos orgánicos y restos vegetales residuales luego de su mineralización, con lo cual se presume, las necesidades del cultivo son cubiertas y satisfechas.

Hay que reconocer que en la actualidad existe mucha controversia sobre el tema del cloro acerca de que es perjudicial en suelos y plantas, particularmente la adición de cloro al suelo con el fertilizante cloruro de potasio, como aseveran algunos. Sin embargo, se debe reconocer objetivamente que el cloruro de potasio es una fuente efectiva y confiable para aportar potasio, pero siempre se deben tener en consideración las medidas prudenciales de razonabilidad y mesura en las dosis utilizadas y la calidad del agua que se utilizará para el riego.

El Cl es un micronutriente esencial que posee un mínimo requerimiento para muchos cultivos, lo cual en lo absoluto lo

libera de poder generar condiciones de deficiencia y/o toxicidad limitante para el desarrollo normal y competitivo del cultivo, lo que se debe tener siempre presente.

Por el contrario, los estudios de Rosales *et al* (2020) lograron descubrir y concluir *“...que la fertilización con cloruro confiere unas funciones beneficiosas para las plantas, cuando el cloruro se acumula en hoja a niveles típicos de un macronutriente. Entre los efectos positivos destacan la estimulación del crecimiento, mayor rendimiento fotosintético, menor gasto de agua gracias a un consumo más eficiente y una mayor resistencia a sequía. Además, la fertilización con cloruro mejora la eficiencia en el uso del nitrógeno y reduce la acumulación de nitrato en hoja, generando beneficios para una agricultura más sostenible y resiliente, y un consumo más saludable.”*

El enorme reto e ineludible desafío tecnológico, empresarial e institucional que se tiene actualmente de procurar incrementar, maximizar y optimizar los rendimientos de campo e industriales en la caña de azúcar y otros cultivos, no puede ni debe nunca desatender la imperiosa e inexcusable necesidad de proveer la nutrición que el cultivo requiere para materializar el potencial que intrínsecamente la planta de caña posee.

Podemos concluir como expresa Martínez Estévez (2019), que el Cl no es un elemento tan negativo como lo han querido presentar algunos detractores, por lo que más que constituir un enemigo olvidado, su participación resulta fundamental en el desarrollo de las plantas como nutrimento esencial para procurar una nutrición sana, satisfactoria y equilibrada del cultivo (figura 2).



**Figura 2.** Producciones satisfactorias requiere de plantaciones nutricionalmente equilibradas.

Solo para cerrar el tema y responder a la inquietud surgida y consulta técnica planteada a este servidor en un inicio por el empresario turrialbeño preocupado por las inconformidades declaradas a la calidad de sus productos de dulce exportados, diré que luego de realizar una valoración objetiva y profunda de factores potenciales, se llegó a la conclusión de que el problema de contaminación por cloro no provenía del campo sino posiblemente del proceso de lavado de los equipos empleados en la fabricación. Esto por cuanto: 1) los suelos de la región eran del orden Ultisol y por ello de características ácidas, 2) la fertilización incorporada era de carácter orgánico y no mineral, 3) la condición de lluvias en el lugar es alta y continua y 4) no existen vestigios ni posibilidad de una presencia salina en el lugar.

#### Literatura citada

Alcántar González, G.; Trejo Téllez, L.I. 2013. **Capítulo 2. Elementos esenciales.** En: Nutrición de Cultivos. 1ª edición. Coordinadores Gabriel Alcántar González y Libia I. Trejo-Téllez. México. Universidad Autónoma de Chapingo. Editorial Colegio de Postgraduados. p: 8-47.

Allison, L.E.; Brown, J.W.; Hayward, H.E.; Richards, L.A.; Bernstein, L.; Fireman, M.; Pearson, G.A.; Wilcox, L.V.; Bower, C.A.; Hatcher, J.T.; Reeve, R.C. 1970. **Diagnóstico y**

**Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos.** México/Buenos Aires. 5ta ed. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, Centro Regional de Ayuda Técnica, AID. Manual de Agricultura N° 60.

Anderson, D.L.; Bowen, J.E. 1994. **Nutrición de la caña de Azúcar.** Quito, Ecuador. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). 40 p.

Arzola, N.; Menéndez, A.; de León, M.; García, E.; Cabrera, A. s.f. **Bases para el empleo de fertilizantes y enmiendas.** En: Elementos Básicos sobre Suelos y Uso de Fertilizantes en el Cultivo de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba. Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE). p: 37-132.

Arrieta Chaves, D.G. 2021. **Análisis de la influencia de las mareas del río cañas y bebedero mediante imágenes satelitales e índices de vegetación y su correlación con el nivel freático de 154 hectáreas de siembra de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) ubicadas en el Ingenio Taboga, Cañas, Guanacaste.** Tesis Final de Graduación. Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola. 135 p.

Bataglia, O.C.; Dechen, A.R.; Rodriguez dos Santos, W. 1992. **Diagnose visual e análise de plantas.** Em: Simpósio Adubação, Produtividade e Ecologia. Campinas, São Paulo, Fundação Cargill. XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, julho. p: 369-393.

Benton Jones, J.; Wolf, B.; Mills, H.A. 1991. **The Essential Elements.** In: Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Georgia, USA. Micro-Macro Publishing, Inc. p: 3-17.

Bertsch, F. 1998. **La Fertilidad de los Suelos y su Manejo.** 1ª ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 157 p.

Calcino, D.; Kingston, G.; Haysom, M. 2000. **Nutrition of the Plant. Chapter 9.** In: Manual of Canegrowing. Edited by Hogarth and Peter Allsopp. Brisbane, Australia. Bureau of Sugar Experiment Stations. p: 153-193.

Castro, RCP. 2016. **STAB-Fisiología Aplicada a Cana-de-Açúcar.** Piracicaba, São Paulo. STAB–Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Regional Sul. 208 p.

- Colmenero Flores, J.M.; Franco Navarro, J.D.; Cubero Font, P.; Peinado Torrubia, P.; Rosales, M.A. 2019. **Chloride as a beneficial macronutrient in higher plants: new roles and regulation.** International Journal of Molecular Sciences 20:4686.
- Chaves Solera, M. 1999. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017. **Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
- Chaves Solera, M.A. 2022a. **Esencialidad nutricional y fertilización de los cultivos agrícolas.** Revista Entre Cañeros N° 23. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, marzo. p: 5-41.
- Chaves Solera, M.A. 2022b. **Función y funcionalidad nutricional: orientado a la caña de azúcar.** Revista Entre Cañeros N° 24. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, setiembre.
- Cuellar Ayala, I.A.; Villegas delgado, R.; León Ortiz de, M.E.; Pérez Iglesias, H. 2002. **Manual de Fertilización de la Caña de Azúcar en Cuba.** La Habana, Cuba. Editorial PUBLINICA. 127 p.
- Epstein, E.; Bloom, A. 2006. **Nutrição Mineral de Plantas: Principios e Perspectivas.** 2 edic. Trad. María Edna Tenório Nunes. Londrina, Brasil. Editora Planta. 403 p.
- FAO 2019. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura <http://www.fao.org/soilsportal/soil-management/manejo-desuelos-problematicos/suelos-afectadospor-salinidad/more-information-onsalt-affected-soils/es/>. Consultado: diciembre 2023.
- FERTILAB. 2023. **Comportamiento del Cloro (Cl) en los Suelos y Plantas.** [https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas\\_Tecnicas/pdf\\_nota/Comportamiento\\_del\\_Cloro\\_en\\_Suelos\\_y\\_Planta.pdf](https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Comportamiento_del_Cloro_en_Suelos_y_Planta.pdf). Consultado: diciembre 2023.
- INPOFOS. 1993. **Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos.** Quito, Ecuador. Ind. Grafica Screen. 55 p.
- Kingston, G. 2014. **Mineral Nutrition of Sugarcane.** In: Chapter 5. SUGARCANE: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology. Edited by Paul H. Moore, Frederick C. Botha. New York: Ed John Wiley & Sons, Inc. Iowa USA. p: 85-120.
- Malavolta, E. 1980. **Os Elementos Minerais.** Em: Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. p:
- Malavolta, E. 2006. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas.** São Paulo. Editora Agronômica Ceres Ltda. 631 p.
- Marschner, H. 1986. **Mineral nutrition of higher plants.** London, Academic Press, Inc. 674 p.
- Marschner, H. 2012. **Marschner's Mineral nutrition of higher plants.** Third Edition. San Diego, California, USA: Academic Press. 649 p.
- Martínez Estévez, M. 2019. **Cloro ... el enemigo olvidado ... ¿o no?** Desde el Herbario, Centro de Investigación Científica de Yucatán (México) 11: 240-243, diciembre.
- Mello Morães, J.; Almeida, J.R.; Coury, T.; Pimentel Gomes, F.; Valsechi, O.; Ranzani, G.; Kiehl, E.J. sf. **Influência do cloro, sobre a composição do caldo da cana de açúcar Co 290, aplicado no solo, na forma de cloreto de sódio.** São Paulo, Brasil. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". p: 115-153.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. 2000. **Los Nutrientes de las Plantas.** En: Principios de Nutrición Vegetal. Traducción de 4ª edición (1987). Basel, Switzerland, International Potash Institute. p: 11-24.
- Méndez, J.C.; Bertsch, F. 2012. **Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica.** 1 ed. San José, C.R.: Asociación Costarricense de la ciencia del Suelo. 108 p.
- Montes de Oca Pino, P. 1994. **Respuesta de tres variedades de caña de azúcar (Saccharum spp) a tres contenidos de salinidad en dos suelos de Guanacaste, Costa Rica.** Tesis MSc. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado. 187 p.
- Montes de Oca, P.; Mata, R.; Chaves, M.A. 1996. **Estudios de salinidad, en la provincia de Guanacaste (Costa Rica) y caracterización de algunos suelos con influencia salina.**

- Agronomía Mesoamericana 7 (2): 77-83. *También en:* Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, San José, Costa Rica, Campus Universidad de Costa Rica y Universidad Estatal a Distancia, 8 al 12 de julio, 1996. Memoria: Suelos. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA. Volumen 3. p: 240.
- Orlando Filho, J.; Rosseto, R.; Casagrande, A.A. 2001. **Cana-de-açúcar**. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P.; Raij, B.; Abreu, C.A. (Editores). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p: 355-369.
- Parra Terraza, S. 2016. **Cloruro/Aniones y Sodio/Cationes en soluciones nutritivas y composición mineral de cultivares de tomate**. Terra Latinoamericana 34 (2): 219-227.
- Pérez Iglesias, H.; Santana Aguilar, I.; Rodríguez Delgado, I. 2015. **Manejo sostenible de tierras en la Producción de caña de azúcar Tomo II**. Ecuador. Segunda edición. Universidad Técnica de Machala. 188 p.
- Quintero Durán, R. 1995. **Fertilización y nutrición**. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. Editores Clímaco Cassalet Dávila, Jorge Torres Aguas y Camilo Isaacs Echeverri. Cali, CENICAÑA. p: 153-177.
- Reynolds, B.; Fowler, D.; Smith, R.I.; Hall, J.R. 1997. **Atmospheric inputs and catchment solute fluxes for mayor ions in five Welsh upland catchments**. J. Hydrol. 194: 305-329.
- Rosales, M.A.; Franco Navarro, J.D.; Moreno Racero, F.J.; Colmenero Flores, J.M. 2020. **Beneficios de una fertilización rica en cloruro para la agricultura y sus efectos en la salud humana**. España. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS).
- Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 1994. **Fisiología Vegetal**. México. Grupo Editorial Iberoamericano S.A. 759 p.
- Vicari mellis, E.; Quaggio, J.A.; Cantarella, H. 2008. **Micronutrientes**. En: Cana-de-Açúcar. Campinas, Brasil. Leila Luci Dinardo-Miranda; Antonio Carlos Machado de Vasconcelos; Marcos Guimarães de Andrade Landell (Editores). Campinas, Instituto Agronômico. p: 331-335.
- Wikipedia. 2023. Varios reportes consultados entre el 26 y 29 de diciembre 2023.
- White, P.J.; Broadley, M.R. 2001. **Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review**. Ann. Bot. 88: 967-988.
- Xu, G.; Magen, H.; Tarchitzky, J.; Kafkafi, V. 2000. **Advances in chloride nutrition of plants**. Advances in Agronomy 68, 97-110.

Recuerde que puede acceder los boletines en  
[www.imn.ac.cr/boletin-agroclima](http://www.imn.ac.cr/boletin-agroclima) y en  
[www.laica.co.cr](http://www.laica.co.cr)