

Desafíos del control de calidad en los refrescos modernos: estrategias analíticas y estudios de caso

Dra. Francesca Bruni - Investigadora del Laboratorio Químico "Francesco Bonicolini" del CDR

Resumen

La evolución del mercado global de bebidas refrescantes hacia formulaciones funcionales, bajas en azúcar y alcohol ha incrementado significativamente la complejidad analítica requerida para el control de calidad industrial. Los métodos oficiales tradicionales, como HPLC y cromatografía de gases, si bien representan la referencia regulatoria, a menudo requieren mucho tiempo y son costosos para el monitoreo de rutina. Este estudio presenta una caracterización analítica avanzada realizada en un panel heterogéneo de bebidas comerciales (incluyendo bebidas energéticas, refrescos cítricos, colas artesanales y aperitivos a base de vino) utilizando el sistema fotométrico enzimático CDR DrinkLab. El objetivo fue evaluar la aplicabilidad de un flujo de trabajo analítico simplificado para la determinación de parámetros críticos como cafeína, alcohol, azúcares y perfil acidometrónico. Los resultados demuestran la efectividad del método para cuantificar con precisión la cafeína en matrices complejas (rango detectado 65–249 mg/L) y detectar trazas de alcohol con una sensibilidad de hasta 0,002% vol., lo cual es esencial para asegurar el cumplimiento regulatorio para productos no alcohólicos. Además, la caracterización del perfil acidometrónico (cítrico vs. fosfórico) proporcionó información consistente con las expectativas sensoriales y de estabilidad. En conclusión, el enfoque fotométrico se confirma como una alternativa operativa válida a los métodos tradicionales, ofreciendo una ejecución rápida y una menor manipulación de las muestras, lo que facilita el cumplimiento normativo y la gestión de la vida útil.

1. Introducción: El escenario del mercado y la evolución del sector

Los refrescos representan hoy en día una categoría amplia y heterogénea de bebidas no alcohólicas, que ha evolucionado significativamente desde las primeras mezclas históricas de agua y jugos de cítricos en el siglo XVII.

Las formulaciones modernas son tecnológicamente sofisticadas y normalmente se producen a partir de agua mineral con la adición de uno o más de los siguientes componentes:

- monosacáridos y disacáridos o edulcorantes intensos
- acidulantes y reguladores de acidez, principalmente ácido cítrico, fosfórico y málico
- sabores naturales o idénticos a los naturales
- extractos botánicos, jugos o purés de frutas
- dióxido de carbono
- Ingredientes funcionales autorizados como cafeína hasta 320 mg/L, taurina, vitaminas
- posible contenido de alcohol residual o añadido intencionadamente inferior al 1,2 % vol. en bebidas listas para beber con bajo contenido de alcohol

El mercado está experimentando una profunda transformación. Si bien el consumo per cápita en

Italia (unos 50 L/año) es inferior a la media de la UE (95 L/año en 2023), se observa un descenso de los productos tradicionales con alto contenido en azúcar en favor de segmentos en crecimiento como las bebidas *premium*, *artesanales*, bajas en azúcar y funcionales (bebidas energéticas, aperitivos sin alcohol). A nivel mundial, la demanda se está orientando hacia las etiquetas limpias y *los ingredientes naturales*. En este entorno competitivo, el control analítico se convierte en una necesidad estratégica no solo para el cumplimiento normativo, sino también para garantizar la consistencia de la formulación y la estabilidad *de la vida útil*.

2. El desafío analítico: parámetros críticos y metodologías

La caracterización química de los refrescos es esencial para garantizar el cumplimiento normativo, la seguridad del producto y una calidad sensorial constante. Dada la extrema heterogeneidad de esta categoría, los métodos analíticos deben seleccionarse cuidadosamente y adaptarse a cada parámetro, considerando tanto su papel tecnológico como su impacto sensorial.

• **Cafeína e ingredientes funcionales:** este segmento está estrictamente regulado; en Europa, las concentraciones de cafeína superiores a 150 mg/L requieren un etiquetado específico.

• **Marcadores de alcohol y fermentación:** En productos con bajo contenido de alcohol (<1,2 % vol.) y sin alcohol, el contenido de alcohol es crucial. Incluso niveles mínimos (<0,5 % vol.) pueden indicar una fermentación no deseada por levaduras, lo que afecta el perfil aromático y la clasificación legal. Al mismo tiempo, el ácido láctico (D y L) actúa como marcador de contaminación bacteriana y deterioro del producto.

• **Acidez y perfil de azúcar:** El pH (típicamente 2,5–4,0) y el perfil de acidez (cítrico, málico, fosfórico) influyen directamente en la estabilidad microbiológica y el sabor. Asimismo, el control de la glucosa, la fructosa y la sacarosa es esencial para definir el poder edulcorante y prevenir fermentaciones secundarias.

3. El estudio: selección de muestras y flujo de trabajo analítico

Para evaluar la aplicabilidad de métodos rápidos en este escenario complejo, se realizó un estudio en un

panel representativo de bebidas del mercado italiano.

Descripción del panel de muestra

Se seleccionaron muestras pertenecientes a diferentes categorías de productos:

- **Muestras A y B:** Bebidas a base de café con alto contenido de cafeína.
- **Muestras C, D, H:** Bebidas alcohólicas carbonatadas a base de vino (incluidos cócteles spritz).
- **Muestras E e I:** Refrescos cítricos (naranja y mandarina).
- **Muestra F:** Cola artesanal clásica.
- **Muestra G:** Aperitivo carbonatado sin alcohol.

Metodología analítica

Los análisis se realizaron con el sistema **CDR DrinkLab**. Los métodos empleados se basan en reactivos enzimáticos precalibrados que requieren microvolúmenes de muestra. El pretratamiento se limitó a una simple desgasificación de la muestra, lo que hace que el flujo de trabajo sea adecuado para entornos de control de calidad industrial.

4. Resultados y discusión

El análisis demostró la capacidad del sistema para caracterizar matrices complejas con un tiempo reducido y una preparación mínima.

A continuación se presentan los principales hallazgos que surgen de los datos experimentales.

Tipo de muestra	Cafeína (mg/L)	Alcohol (% vol.)	Acidez total (g/L de ácido cítrico)	Ácido cítrico (g/L)	Azúcares (g/L)	pH	Ácido fosfórico (mg/L)
A - Bebida con cafeína	249	< 0,002	-	-	-	-	-
B - Bebida con cafeína	118	< 0,002	-	-	-	-	-
C - Bebida alcohólica carbonatada	< 10	8.3	-	-	-	-	-
D - Bebida alcohólica carbonatada	< 10	8.4	-	-	-	-	-
E - Refresco de naranja	< 10	< 0,002	4.6	3.3	118	3.49	< 10
F-Cola	65	< 0,002	-	-	105	-	886
G - Aperitivo sin alcohol	< 10	9.5	-	-	-	-	-
H - Spritz de cóctel de fresa	< 10	7.2	-	-	-	-	-
I - Refresco de mandarina	< 10	< 0,002	6.9	6.3	146	3.58	< 10

Cuantificación de cafeína Se ha demostrado que la determinación de cafeína es confiable independientemente de la coloración o complejidad de la matriz.

- En la muestra A (bebida de café) se detectó una concentración de **249 mg/L**, lo que confirma la capacidad del método para cuantificar con precisión dosis altas típicas de bebidas energéticas y formulaciones especiales.
- En la muestra F (Cola), el valor detectado fue **65 mg/L**, consistente con las formulaciones estándar de esta categoría.

Sensibilidad y estabilidad del alcohol. Dado el auge de las bebidas con bajo contenido de alcohol y sin alcohol, la sensibilidad analítica fue crucial. El método permitió cuantificar el alcohol hasta el **0,002 % vol.** en aproximadamente 10 minutos.

- Las muestras no alcohólicas (A, B, E, F, I) presentaron valores < 0,002% vol., confirmando la ausencia de fermentación en curso.
- Las muestras de base vino (C, D, G, H) mostraron valores entre 7,2% y 9,5% vol., demostrando la versatilidad del sistema en diferentes rangos de concentración.

Perfil Ácido y pH El estudio destacó una marcada diferenciación en los perfiles acidimétricos, correlacionando la composición química con la estabilidad del producto.

- **Cola (Muestra F):** Se detectó la presencia de ácido fosfórico únicamente (**886 mg/L**), en consonancia con su uso típico como agente acidificante principal en esta categoría de bebida.

- **Refresco cítrico (Muestras E, I):** Presentaron una acidez dominada por el ácido cítrico (**3,3 g/L** y **6,3 g/L respectivamente**) y un pH bajo (rango **3,49-3,58**), consistente con los requerimientos de estabilidad microbiológica y frescura sensorial.

5. Análisis comparativo: Métodos oficiales vs. CDR DrinkLab

Si bien las técnicas cromatográficas (HPLC, GC) representan el *estándar de referencia regulatorio*, su implementación en el control de calidad rutinario presenta importantes limitaciones operativas en términos de costo y tiempo. Una comparación directa entre los métodos de referencia y el sistema CDR DrinkLab muestra cómo el enfoque fotométrico satisface mejor las necesidades de monitoreo frecuente *in situ*.

Para la **determinación de cafeína**, el método oficial de HPLC requiere instrumentación costosa,

personal altamente especializado y largos tiempos de ejecución cromatográfica; por el contrario, el método fotométrico permite una cuantificación rápida sin el uso de disolventes tóxicos, lo que hace que el análisis sea accesible incluso para operadores no especializados. De igual manera, para la **determinación de contenido de alcohol** y **azúcares**, donde los métodos clásicos (destilación, cromatografía de gases, HPLC-RI) implican procedimientos laboriosos, el sistema probado ofrece resultados comparables en aproximadamente 10 minutos, con una preparación de la muestra limitada a una simple desgasificación.

A continuación se muestra una tabla resumen que compara los beneficios operativos del sistema CDR DrinkLab con los métodos analíticos tradicionales:

	Método de referencia (oficial)	Cuestiones críticas Método oficial	Enfoque de CDR DrinkLab	Beneficios operativos del CDR
Cafeína	HPLC (cromatografía Líquido)	Altos costos de instrumental, personal especializado, largos tiempos.	Fotométrico	Análisis rápido, sin calibración compleja, uso en línea.
Alcohol (% vol.)	Destilación / Cromatografía de gases (GC)	Procedimiento complejo, tiempos largos para un solo análisis.	Fotométrico Enzimático	Resultado en 10 min, sensibilidad hasta 0,002% vol, ideal para <i>bajo contenido de alcohol</i> .
Azúcares	HPLC con detector RI	Alto costo, mantenimiento frecuente, tiempos de balanceo de columnas.	Fotométrico Enzimático	Cuantificación rápida de glucosa, fructosa y sacarosa para el control de la fermentación.
Flujo de trabajo	Preparación de muestra clásica	Filtraciones complejas, extracciones con disolventes, se requieren grandes volúmenes.	Micrométodo	Desgasificación simple, volúmenes de micromuestras, reactivos pre-llenados.

6. Conclusiones

Los resultados analíticos obtenidos en este estudio confirman la importancia de un enfoque integral y flexible para el control de calidad en la industria moderna de refrescos y bebidas listas para beber. La amplia variedad de formulaciones, que abarca desde bebidas con alto contenido de cafeína hasta refrescos carbonatados a base de cítricos y productos con bajo contenido alcohólico o sin

CDR DrinkLab ha demostrado ser adecuado para la determinación de parámetros clave como cafeína, contenido de alcohol, perfil acidimétrico (**ácido cítrico**, **ácido fosfórico**), azúcares y **pH**, con una preparación mínima de la muestra y tiempos de análisis cortos.

Este enfoque respalda el monitoreo de rutina, el cumplimiento normativo y la evaluación de la estabilidad del producto, lo que permite a los fabricantes mantener una calidad constante y responder eficazmente a las necesidades cambiantes del mercado de bebidas gaseosas.

Referencias:

Emmins , D. (2025). The History of Soft Drinks.

Everything Everywhere. Available on :

<https://everything-everywhere.com/the-history-of-soft-drinks/>

UNESDA. (2024). Soft drink consumption per capita EU 2010–2023. Statista. Available at:

<https://www.statista.com/statistics/620186/soft-drink-consumption-in-the-european-union-per-capita/>

Food Research Lab. (2025). Difference in FDA and EU Caffeine regulations in energy drinks. Food Research Lab. Available at :

<https://www.foodresearchlab.com/insights/regulation-updates/fda-and-eu-regulations-on-caffeine-recommendations-in-energy-drinks/>

Naegle, E. (2011). Determination of Caffeine in Coffee Products According to DIN 20481. Agilent Technologies. Available at :

<https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-2851EN.pdf>

Food Compliance International. (2025). Low and no alcohol beer in the EU: status and legal challenges.

Food Compliance International. Available at:

<https://foodcomplianceinternational.com/industry-insight/scholarly-articles/3255-low-and-no-alcohol-beer-in-the-eu-status-and-legal-challenges>