

*Efecto de las bebidas energéticas Monster y Red Bull en el crecimiento del tomate (*Solanum lycopersicum*) y el desarrollo radicular de la cebolla (*Allium cepa*)*



ALUMNADO:

Gonzalo Antonio Ruiz Moure (2º Bach, IES Fidiana (Córdoba))

Alejandro Flores Cuevas (2º Bach, IES Fidiana (Córdoba))

PROFESORA COORDINADORA:

Dra. Elena León Rodríguez (IES Fidiana de Córdoba)

TABLA DE CONTENIDO

1.- INTRODUCCIÓN.....	4
2.- OBJETIVOS.....	4
3.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
4.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
4.1.- Material experimental.....	6
4.2.- Diseño experimental.....	7
4.3.- Variables de estudio.....	8
4.4.- Análisis y tratamiento de resultados.....	8
5.- RESULTADOS	8
6.- CONCLUSIONES	12
7.- AGRADECIMIENTOS.....	13
8.- BIBLIOGRAFÍA	13

EFFECTO DE LAS BÉBIDAS ENERGÉTICAS MONSTER Y RED BULL EN EL CRECIMIENTO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum*) Y EL DESARROLLO RADICULAR DE LA CEBOLLA (*Allium cepa*)

Flores-Cuevas, A.¹, Ruiz-Moure, G.A.1, E. León-Rodríguez1

¹IES Fidiana de Córdoba.

RESUMEN

Las bebidas energéticas como Red Bull y Monster contienen cafeína, taurina y azúcares, que pueden afectar los procesos biológicos. Este estudio evalúa su impacto en el crecimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme) y el desarrollo radicular de la cebolla (*Allium cepa*), usando soluciones de 100%, 50% y 25% de estas bebidas, comparadas con controles de agua destilada y medio Murashige & Skoog (MS) durante tres meses. Los resultados mostraron que las bebidas energéticas afectaron negativamente el crecimiento de las plantas. En el caso del tomate, se observó una disminución en el número de hojas, altura y biomasa aérea, siendo más severo el efecto con Red Bull. La supervivencia de las plantas fue también menor, especialmente en el tratamiento con Red Bull al 100%. El pH del sustrato se acidificó progresivamente con el aumento de la concentración de bebida, lo que podría alterar la absorción de nutrientes. En cebolla, el crecimiento radicular fue significativamente menor en las soluciones de Red Bull, especialmente al 100%, en comparación con Monster, que tuvo un efecto menos severo. El agua destilada promovió el mejor crecimiento, mostrando mayores resultados en todos los parámetros evaluados. Las plantas tratadas con bebidas energéticas perdieron el color verde y presentaron signos de clorosis y marchitez. Estos resultados sugieren que el consumo excesivo de bebidas energéticas puede tener efectos perjudiciales para la salud, especialmente en jóvenes.

Palabras clave: bebidas energéticas, *Solanum lycopersicum*, *Allium cepa*, crecimiento vegetal, pH del sustrato, Red Bull, Monster, efectos fisiológicos.

ABSTRACT

Energy drinks such as Red Bull and Monster contain caffeine, taurine, and sugars, which can affect biological processes. This study evaluates their impact on the growth of tomato (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme) and root development of onion (*Allium cepa*), using solutions of 100%, 50%, and 25% of these drinks, compared with controls of distilled water and Murashige & Skoog (MS) medium over three months. The results showed that energy drinks negatively affected plant growth. In the case of tomato, there was a decrease in the number of leaves, height, and aerial biomass, with the most severe effect observed with Red Bull. Plant survival was also lower, especially in the 100% Red Bull treatment. The pH of the substrate progressively acidified with increasing drink concentration, which could alter nutrient absorption. For onion, root growth was significantly lower in Red Bull solutions, particularly at 100%, compared to Monster, which had a less severe effect. Distilled water promoted the best growth, showing better results in all evaluated parameters. Plants treated with energy drinks lost their green color and showed signs of chlorosis and wilting. These results suggest that excessive consumption of energy drinks may have harmful effects on health, especially in young people.

Keywords: Energy drinks, *Solanum lycopersicum*, *Allium cepa*, plant growth, substrate pH, Red Bull, Monster, physiological effects.

1.- INTRODUCCIÓN

Las bebidas energéticas contienen componentes como cafeína, azúcares y aditivos que están diseñados para estimular el sistema nervioso humano. Su consumo ha aumentado significativamente, especialmente entre adolescentes y jóvenes, a menudo sin una conciencia clara de sus efectos potenciales sobre la salud.

Aunque se han documentado efectos fisiológicos en humanos, poco se sabe sobre su impacto en organismos vegetales. Dado que las plantas también responden a sustancias bioactivas, este estudio se propone evaluar si los componentes de las bebidas energéticas afectan procesos fundamentales del desarrollo vegetal.

Para ello, se aplicaron tratamientos con diferentes concentraciones de Red Bull y Monster a **plántulas cultivadas in vitro** y a **raíces de cebolla**, midiendo variables como: altura, número de hojas, biomasa, color y supervivencia en plántulas de tomate. Así como longitud y número de raíces en *Allium cepa*. Se establecen comparaciones con controles positivos y negativos, como el medio MS y agua destilada respectivamente

Establecemos como **hipótesis** de partida que las bebidas energéticas tienen un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a la presencia de cafeína, azúcares y otros compuestos no esenciales para la vida vegetal.

Este trabajo no solo busca entender los efectos fisiológicos en modelos vegetales, sino también promover la reflexión sobre el consumo excesivo de estas bebidas en humanos, utilizando las plantas como bioindicadores accesibles y pedagógicos.

2.- OBJETIVOS

Objetivo general: Evaluar el efecto de dos bebidas energéticas (Red Bull y Monster) sobre el desarrollo de *Solanum lycopersicum* y raíces de *Allium cepa*

Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de distintas concentraciones de Red Bull y Monster (25%, 50% y 100%) sobre el **crecimiento y desarrollo de plántulas** de tomate cultivadas en medio inerte.
- Evaluar el impacto en termino de supervivencia, número de hojas, altura y biomasa de las plántulas
- Analizar el impacto de estas bebidas en el **sistema radicular de cebolla** (longitud y número de raíces).
- Evaluar la acidificación del sustrato (pH) en relación con la concentración de bebida aplicada.
- Comparar los resultados con dos controles: agua destilada y medio MS, frente a las dos bebidas energéticas.
- **Concienciar** sobre los posibles efectos negativos del consumo excesivo de bebidas energéticas, especialmente en adolescentes.

3.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Las bebidas energéticas son productos de consumo popular que contienen estimulantes como cafeína, taurina y altas concentraciones de azúcares simples. Su uso habitual genera residuos que pueden llegar al entorno agrícola o natural, afectando potencialmente a la microbiota del suelo o incluso a cultivos.

Las bebidas energéticas tienen algunos ingredientes estimulantes como la taurina y extractos de hierba como la guaraná cuyo principio activo es la cafeína y ginseng (solo lo contiene el Monster) que corresponde al grupo de las saponinas y también se agrega a veces, inositol como es el caso de Monster y Red Bull (McLellan & Lieberman, 2012).

La composición química más concreta de cada bebida utilizada en esta investigación es:

- **Monster:** Agua carbonatada, sacarosa, jarabe de glucosa, acidulante (ácido cítrico), aromas, taurina (0.4%), corrector de acidez (citratos de sodio), extracto de raíz de panax ginseng (0.08%), L-carnitina L-tartrate (0.04%), cafeína (0.03%), conservadores (ácido sórbico, ácido benzoico), colorante (antocianinas), vitaminas (B2, B3, B6, B12), cloruro sódico, glucuronolactona, extracto de semilla de guaraná (0.002%), inositol, edulcorante (sucralosa), maltodextrina.
- **Red Bull:** Agua carbonatada, sacarosa, glucosa, ácido cítrico, taurina (0.4%), citrato de sodio, carbonato de magnesio, glucuronolactona, cafeína (0.02%), inositol, vitaminas (niacina, ácido pantoténico, piridoxina, riboflavina, cobalamina), saborizantes artificiales, colorante caramelo (E 150a)




Bebida	Taurina (%)	Cafeína (%)	Azúcares cada 100 ml
Monster	0.4%	0.03%	11 gramos
Red Bull	0.4%	0.02%	11 gramos



Los expertos en nutrición dicen que el consumo de estas bebidas puede llegar a tener efectos negativos a medio y largo plazo. Estos pueden ser: alteraciones del sueño, irritabilidad, problemas de concentración, hipertensión arterial, diabetes y trastornos tanto cardiovasculares como neurológicos (en un caso muy extremo podría llevar a una muerte súbita). Además, al interactuar con medicamentos como los antidepresivos o medicamentos para el corazón puede ser muy peligroso para la salud. Estos efectos son provocados por los elevados contenidos de azúcar y cafeína que poseen las bebidas.

Estudios previos han demostrado que ciertos aditivos presentes en bebidas procesadas pueden afectar negativamente la germinación o crecimiento de plantas, debido a alteraciones del pH, toxicidad osmótica o bloqueo de nutrientes. Por tanto, se hace pertinente explorar los efectos directos de estas bebidas sobre especies vegetales, incluso si su uso no es agrícola.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.- MATERIAL EXPERIMENTAL

<p>Plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)</p>	
<p>Bulbos de cebolla (<i>Allium cepa</i>): para observación radicular.</p>	
<p>Soluciones de Red Bull y Monster: a concentraciones de 100%, 50% y 25% de ambas bebidas.</p>	
<p>Agua destilada: usada para tratar al grupo de control negativo</p>	
<p>Medio MS: utilizado para tratar al grupo de control positivo, además de ser usado para germinar las semillas.</p>	

<p>Fungicida: usado para eliminar los hongos que aparecieron durante el periodo de trato de las plantas.</p>	
<p>Invernaderos y montaje de luces programadas: utilizados para mantener la temperatura de las plantas, así como un correcto fotoperiodo.</p>	

4.2.- DISEÑO EXPERIMENTAL

Las plantas fueron divididas en grupos de tratamiento:

- Control negativo: riego con agua destilada.
- Control positivo: riego con medio MS.
- Tratamientos: riego con diferentes concentraciones de Red Bull y Monster (diluido con agua al 25%, 50% y 100%).

a) Ensayo con plántulas de tomate

Las plántulas de tomate fueron germinadas en un vaso de precipitado con algodón humedecido y en oscuridad a 25 °C. Una vez germinadas se crecieron en macetas convencionales con medio inerte, constituido por perlita y vermiculita en proporción 1:1. El montaje fue cubierto con un plástico para conseguir mantener la temperatura y humedad constante durante todo el experimento. Estos parámetros fueron controlados a diario para asegurarnos que la humedad se mantenía en el rango del 50% y la temperatura mantenida era la óptima para el crecimiento de la plántula (25°C).

Se prepararon un par de pies con soportes metálicos para sujetar un foco de luz, el cual se conectó a un temporizador, con un fotoperiodo de 16 h de luz y ocho horas de oscuridad que corresponde a un ciclo de crecimiento rápido.

Se prepararon las soluciones de las bebidas energéticas, Monster y Red Bull, al 25%, 50% y 100%. Para la preparación del control positivo, se pesó 2 gramos de Murashige & Skoog (MS) (Murashige & Skoog, 1962) y se diluyeron en 1 litro de agua.

El estudio tuvo una duración de seis semanas y se tomaron los datos de las variables dependientes analizadas cada 3 o 4 días (altura, número de hojas, color de las hojas, biomasa final, tasa de supervivencia y pH del sustrato). En cada tratamiento se estudiaron 10 réplicas biológicas.

Durante el experimento, debido a exceso de azúcar presente en las bebidas energéticas utilizadas, se produjo el día 14 una infección por hongos. Estos organismos se desarrollaron en los tratamientos con bebidas energéticas y medio MS, pero no en el control con agua destilada. Por ello, todo el ensayo tuvo que ser tratado con fungicida. Afortunadamente, se actuó a tiempo y se consiguió salvar el estudio.

b) Ensayo con raíces de cebolla

Además, se colocaron bulbos de cebolla para observar crecimiento radicular. Las cebollas se apoyaron sobre un vaso de precipitado que contenían las diferentes concentraciones de Red Bull y Monster al 25%, 50% y 100% y los dos controles (agua destilada y MS). Solo la parte basal del bulbo tocaba levemente la superficie de la solución para facilitar el desarrollo radicular de la cebolla. El estudio tuvo una duración de dos semanas y se tomaron los datos de las variables dependientes analizadas cada 2 o 3 días: número de raíces y longitud de las mismas.

4.3.- VARIABLES DE ESTUDIO

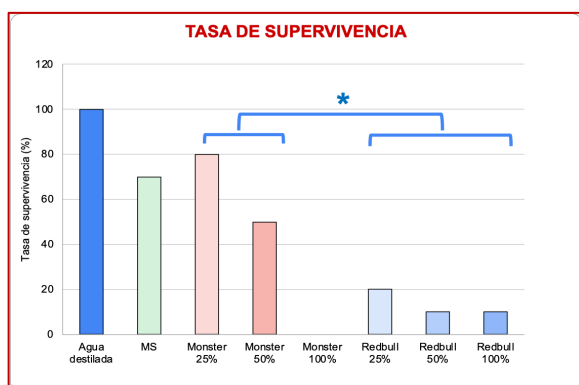
- Independientes: tipo de tratamiento aplicado, es decir soluciones al 25%, 50% y 100% de Monster y Red Bull, agua destilada y medio MS.
- Dependientes. En las plántulas de tomate se midió: altura, número de hojas, color general, biomasa, tasa de supervivencia y pH del sustrato. Además, se complementó con los datos de número y longitud radicular en cebollas.

4.4.- ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE RESULTADOS

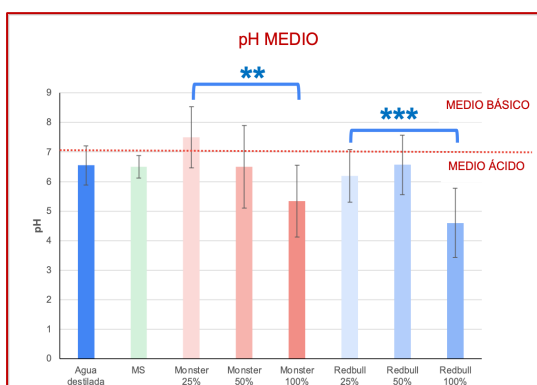
Los resultados obtenidos, viniendo de 10 réplicas biológicas, se analizaron empleando Excel y se representaron como la media \pm SD (Desviación estándar). Para el análisis del efecto de los diferentes tipos de bebidas energéticas se realizó una t de Student de dos colas. Se establecieron cuatro niveles de significancia: (*) valor de $p < 0,05$; (**) valor de $p < 0,01$; (***) valor de $p < 0,001$ y (****) p -valor $< 0,0001$.

5.- RESULTADOS

a) Ensayo con plántulas de tomate



Gráfica 1: Tasa de supervivencia de las plantas de tomate en los distintos tratamientos

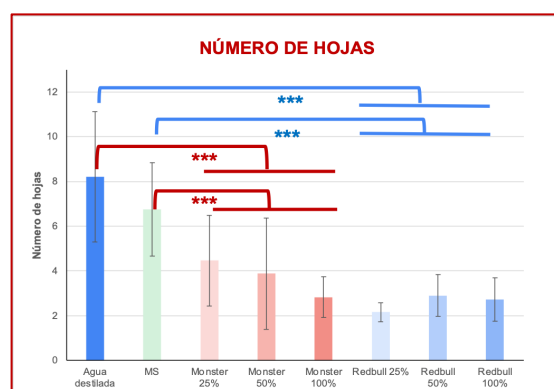


Gráfica 2: pH en los medios sólidos (perlita/vermiculita) en los que han crecido las plántulas de tomate.

En la Gráfica 1, se observa que el agua destilada tuvo una supervivencia del 100%, mientras en el medio MS fue solo del 70%, que, aunque es menos, es aceptable. Respecto a los tratamientos con las bebidas energéticas, las plantas tratadas con la solución 25% de Monster alcanzó, el 80% de supervivencia, mejor resultado que con MS. Monster 50% bajó al 50 % de supervivencia y las plantas sometidas 100% Monster no tuvo ningún superviviente a los 36 días del ensayo (0%), lo que indica que su toxicidad es letal. En comparación con los datos obtenidos con Red Bull, 25% de Red Bull obtuvo solo 20% de supervivencia. En las soluciones de 50% y 100% de Red Bull, apenas sobreviven el 10% de las plántulas. Estos datos nos confirman un **efecto tóxico de Red Bull más severo que el de Monster**, siendo este efecto estadísticamente significativo.

En el análisis del pH del sustrato en los que han crecido las plántulas de tomate (Gráfica 2) se vio que el agua destilada y el medio MS mantuvieron un pH neutro (pH 6.5), ideal para el crecimiento vegetal. Monster 25% elevó significativamente el pH (alcalinización), mientras que Monster 100% lo redujo (pH 5.3). **Red Bull 100% acidificó notablemente el sustrato** (pH 4.6), con diferencias altamente significativas.

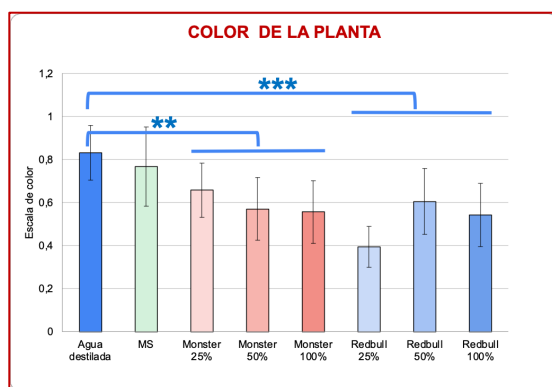
Los cambios extremos en el pH pueden alterar la disponibilidad de nutrientes y la absorción radicular, contribuyendo al efecto fitotóxico observado. Es evidente que, las bebidas energéticas modifican el pH del sustrato, destacando en especial, la acidificación provocada por Red Bull 100%, lo que puede haber intensificado sus efectos negativos sobre raíces, hojas y biomasa, interfiriendo con la fisiología general de las plantas (Koca & Karaman, 2015; Taiz et al., 2015).



Gráfica 3: Número de hojas de cada grupo tratado.

Ambos controles son los grupos más exitosos. Las plantas tratadas con agua destilada y MS se desarrollan una media de 8,2 hojas y 6,8 hojas por planta, respectivamente (Gráfica 3). El número de hojas disminuye progresivamente con el incremento de la concentración de Monster: 25% Monster presenta una media de 4.5 hojas (significativo frente MS y agua destilada), con 50% Monster es de 3.9 hojas (significativo frente MS y agua destilada y en 100% Monster la media es tan solo de 2.8 hojas (muy significativo). Podemos concluir que Monster reduce significativamente el desarrollo folicular (Gráfica 3).

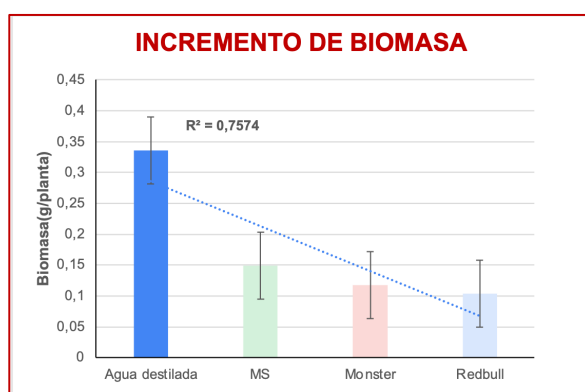
Todos los tratamientos con Red Bull tienen menos de 3 hojas en promedio, con alta significancia estadística respecto a controles (Gráfica 3). Monster tiene un efecto intermedio, y Red Bull es claramente más perjudicial. Esto apoya la idea de que los ingredientes de estas bebidas (como cafeína, taurina, aditivos) pueden interferir con el desarrollo vegetal.



Gráfica 4. Color y apariencia general de las hojas

Se tomó como referencia el valor 1 para indicar que la planta presentaba un aspecto saludable y sus hojas era de color verde intenso. Valores por debajo del máximo, eran indicadores de signos de clorosis, bordes arrugados y aspecto menos saludable del vegetal.

Las plantas regadas con agua destilada (0.83) y MS (0.77) mantienen los valores más altos, indicando plantas sanas, verdes y lustrosas. Respecto al tratamiento con Monster, a medida que aumenta la concentración, el valor del color disminuye ligeramente (Monster 25%:0.66, Monster 50%: 0.57 y Monster 100%: 0.56) (Gráfica 4). Aunque baja, la pérdida de color no es tan drástica como con Red Bull. Red Bull 25% ya muestra una gran degradación visual (0.40) con significancia estadística alta. Red Bull 50% y 100% tienen valores más altos que Red Bull 25%, pero siguen mostrando alteraciones (color apagado, aspecto deteriorado) (Gráfica 4). Existe correlación entre **color** y **vitalidad general de vegetal**. Además, los tratamientos que mantuvieron mejor el color también tuvieron mayor altura (Gráfica 6) y supervivencia (Gráfica 1).



Gráfica5. Biomasa total por tratamiento.

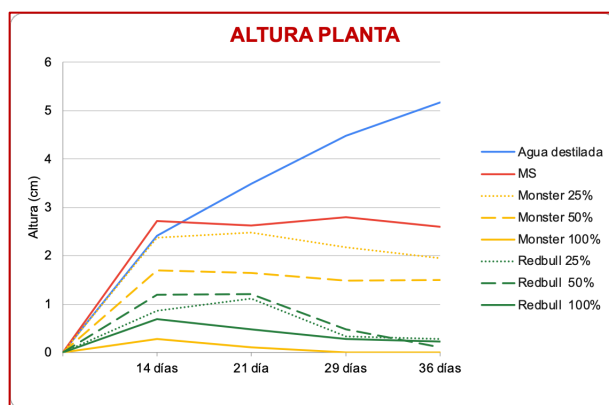
Para el cálculo de la biomasa, se sumaron las masas (gramos) de todas las plantas que sobreviven, independientemente de concentración de bebida energética empleada, es decir el tratamiento completo.

A los 36 días del inicio de los diferentes tratamientos, el agua destilada permitió conseguir casi el triple de biomasa total de las plantas supervivientes. Monster y Red Bull tuvieron resultados muy similares, pero ligeramente peor con Red Bull, alineado con lo observado en otras variables (altura, hojas, color, supervivencia) (Gráfica 5). Los valores de MS fueron intermedios, no tan buenos como el agua, pero claramente mejores que las bebidas energéticas (Gráfica 5). Así pues, esta disminución de

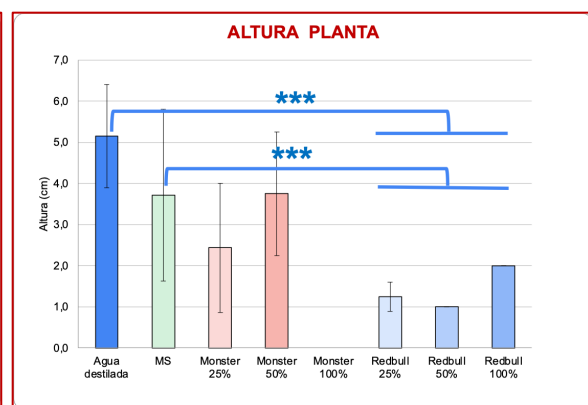
biomasa confirma que **las bebidas energéticas no favorecen el crecimiento vegetal**, incluso cuando las plantas logran sobrevivir.



Imagen 1. Aspecto de las plantas supervivientes después de 36 días en los diferentes tratamientos. C+(control positivo), C-(control negativo), 25M (25%Monster), 50 M(50%Monster), 25R (25% Red Bull) y 50R (50% Red Bull)



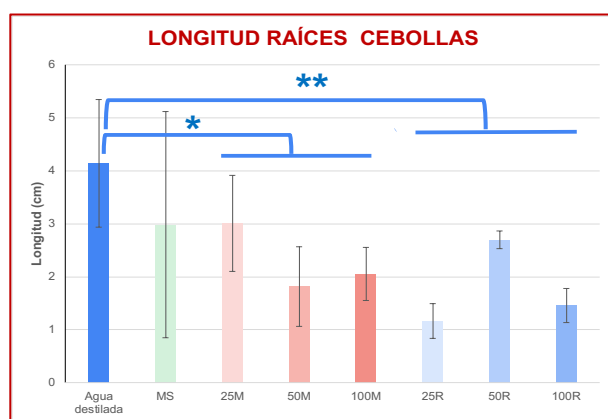
Gráfica 6. Altura planta en función del tiempo.



Gráfica 7. Altura media final por tratamiento.

El agua destilada produjo mayor crecimiento en las plántulas, ya que alcanzan hasta 5,2 cm, por lo que se trata del crecimiento natural más favorable. El medio MS (medio nutritivo utilizado en cultivo in vitro) también provocó un crecimiento adecuado de las plantas; con la leve caída al final. Monster 25% permitió un crecimiento hasta de 2 cm, pero menor al de los controles. Monster 25% y 50% no muestra diferencias significativas frente a los controles lo que indican que estas concentraciones no afectan negativamente al crecimiento, pero si lo reducen. Red Bull 25% y 50% empezaron con un crecimiento inicial pequeño, que después cae bruscamente, probablemente por toxicidad del compuesto por acumulación (Gráficas 6 y 7). Concentraciones altas de Monster (100%) prácticamente inhibieron el crecimiento, lo que sugiere que a esas dosis es muy tóxico (Gráficas 6 y 7). Estas diferencias son estadísticamente muy significativas respecto a ambos controles (Gráfica 7). Estos resultados indican que, a concentraciones bajas, las bebidas energéticas podrían proporcionar azúcares, promoviendo ligeramente el crecimiento. A concentraciones medias y altas, los azúcares, junto al exceso de cafeína y taurina presentes en las bebidas, tienen un efecto tóxico y puede alterar los procesos osmóticos celulares (Zhou et al., 2016).

b) Ensayo con raíces de cebolla



Gráfica 7. Longitud raíces por tratamiento.



Imagen 2: Tratamiento con Red Bull



Imagen 3: Tratamiento con Monster

El agua destilada promovió la mayor longitud radicular (4,14 cm), muy por encima del resto. MS y Monster 25% permitieron cierto desarrollo (unos 3 cm), aunque sin diferencias significativas. Monster 50% y 100% mostraron reducción progresiva. Red Bull (25%, 50%, 100%) generó las raíces más cortas, con efectos negativos significativos (Gráfica 7, Imagen 2). Así pues, el efecto tóxico de las bebidas energéticas se extiende también al **sistema radicular**, limitando el desarrollo de raíces en cebolla. Los compuestos de las bebidas energéticas podrían interferir en procesos como división celular y absorción de agua. Red Bull volvió a ser el tratamiento más perjudicial.

6.- CONCLUSIONES

- Las bebidas energéticas afectan negativamente al desarrollo de las plántulas reduciendo altura, nº de hojas, color, supervivencia y biomasa
- El tratamiento con agua destilada promovió el mayor crecimiento en altura, biomasa y número de hojas
- Red Bull fue tóxico incluso a bajas concentraciones (25%), afectando significativamente altura, hojas, color, biomasa y supervivencia de las plántulas
- Las plantas regadas con Monster consiguieron una mayor supervivencia con respecto a los grupos de Red Bull, siendo el grupo de agua destilada el que más sobrevivió.

- El pH presentó un incremento hacia la acidez a medida que se aumentaba la concentración de las bebidas. Los tratamientos con Monster presentaron un pH ligeramente más básico con respecto a los de Red Bull.
- La altura de la planta se vio fuertemente afectada por el Red Bull.
- El número de hojas de la planta fue menor en las plantas con ambas bebidas energéticas
- El color verde lustroso se perdió progresivamente, especialmente con Red Bull, indicando daño fisiológico de la plántula.
- Las bebidas energéticas afectaron la formación y elongación de raíces de cebolla. Red Bull redujo significativamente tanto la longitud como el número de raíces de la cebolla, especialmente a 25% y 100%, mientras que Monster fue menos severo.

REFLEXIÓN FINAL: Este estudio, además de su valor científico, tiene un enfoque educativo. Así como estas sustancias alteran procesos biológicos en plantas, su consumo frecuente en adolescentes puede tener consecuencias para la salud: alteraciones cardiovasculares, trastornos del sueño, ansiedad y dependencia. Es urgente fomentar una reflexión crítica sobre el uso excesivo de bebidas energéticas, especialmente en jóvenes.

7.- AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro centro el IES Fidiana, a la profesora Elena León Rodríguez que nos orientó durante el proyecto, y a nuestras compañeras y compañeros de clase por su colaboración y compañía. Al proyecto de Innovación Educativa y Desarrollo Curricular Fidiciencia 3.0 por crear un espacio adecuado para realizar proyectos de investigación en Secundaria y Bachillerato.

8.- BIBLIOGRAFÍA

Heckman, M.A., Sherry, K. and Gonzalez de Mejia, E., 2010. Energy drinks: An assessment of their market size, consumer demographics, ingredient profile, functionality, and regulations in the United States. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), pp.303–317.

McLellan, T.M. and Lieberman, H.R., 2012. Do energy drinks contain active components other than caffeine? *Nutrition Reviews*, 70(12), pp.730–744.

Murashige, T. and Skoog, F., 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), pp.473–497

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A., 2015. *Plant Physiology and Development*. 6th ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

Zhou, Y., Zheng, L. and Zhang, J., 2016. Taurine in plants: Transport, stress response, and metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, 100, pp.63–68.

Koca, N. and Karaman, Ş., 2015. The effects of pH on nutrient availability and plant growth in soilless culture systems. *Journal of Plant Nutrition*, 38(8), pp.1218–1231.