



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Uso de pulsos eléctricos de alta intensidad como
pretratamiento en los procesos de extracción en productos
vegetales

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: Miota Fons, Carmen

Tutor/a: Clemente Polo, Gabriela

Cotutor/a: Benedito Fort, José Javier

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA

AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



**Uso de Pulsos Eléctricos de Alta Intensidad como
pretratamiento en los procesos de extracción
en productos vegetales**

CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Alumna: Carmen Miota Fons

Tutora: Gabriela Clemente Polo

Cotutor: José Javier Benedito Fort

Curso académico: 2023/2024

Valencia, Junio de 2024

Título: Uso de Pulsos Eléctricos de Alta Intensidad como pretratamiento en los procesos de extracción en productos vegetales.

Resumen:

Los procesos de extracción en matrices vegetales son muy comunes en la industria alimentaria. Estos procesos implican tradicionalmente el uso de técnicas mecánicas como el prensado y el centrifugado, que pueden provocar la pérdida de nutrientes y compuestos bioactivos. Por ello, es necesario investigar nuevas técnicas de pretratamiento que permitan obtener productos de alta calidad manteniendo las cualidades nutritivas y sensoriales.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar el efecto del tratamiento de la materia prima con pulsos eléctricos de alta intensidad (PEF) en productos obtenidos tras la extracción en tres matrices vegetales, un tejido duro (chufa), un tejido blando con semillas (uva) y un tejido blando sin semillas (mandarina).

Para ello se plantearon diferentes condiciones de tratamiento, teniendo en común los tres productos los parámetros de ancho de pulso (25 μ s) y la frecuencia de pulso (10 Hz), y variando en la chufa el tiempo de rehidratación (24 o 48 h) y de triturado (0,5, 1, 1,5 o 2 minutos), la aplicación de ultrasonidos (sin o con US) y el número de pulsos aplicado (100 o 200); y en la uva/mandarina la intensidad (4, 7 o 10 kV) y el número de pulsos deseado (40, 70 o 100).

A partir de las matrices vegetales tratadas y sin tratar se obtuvieron los extractos. Así, mediante una extracción sólido-líquido se obtuvo horchata de chufa. Por prensado de las matrices blandas, se obtuvo zumo de fruta. En el extracto de horchata se determinó el color, el pH, los sólidos solubles, la textura y la composición tras centrifugación; mientras que para el extracto de uva se determinó el pH, los sólidos solubles, la turbidez y el rendimiento, y para el extracto de mandarina se determinó lo mismo que para la uva más la conductividad.

Los resultados obtenidos mostraron que el pretratamiento con PEF tuvo efecto en productos de textura blanda (mandarina y uva) y no lo tuvo en el de textura dura (chufa). Esto indica que las características texturales/estructurales del producto son un factor para tener en cuenta al establecer un tratamiento con PEF. En los productos con tejidos blandos, la aplicación de la tecnología tuvo un efecto positivo en el rendimiento del zumo extraído. No obstante, se recomienda profundizar en el análisis del efecto del tratamiento con PEF en las características nutricionales y sensoriales del zumo obtenido.

Palabras clave: chufa; uva; mandarina; horchata; zumo; PEF.

Títol: Ús de Polsos Elèctrics d'Alta Intensitat com a pretractament en els processos d'extracció en productes vegetals.

Resum:

Els processos d'extracció en matrius vegetals són molt comunes en la indústria alimentària. Estos processos impliquen tradicionalment l'ús de tècniques mecàniques com el premsatge i el centrifugat, que poden provocar la pèrdua de nutrients i compostos bioactius. Per això, és necessari investigar noves tècniques de pretractament que permeten obtenir productes d'alta qualitat mantenint les qualitats nutritives i sensorials.

L'objectiu principal d'aquest treball és estudiar l'efecte del tractament de la matèria primera amb polsos elèctrics d'alta intensitat (PEF) en productes obtinguts després de l'extracció en tres matrius vegetals, un teixit dur (xufa), un teixit bla amb llavors (raïm) i un teixit bla sense llavors (mandarina).

Per a això es van plantejar diferents condicions de tractament, tenint en comú els tres productes els paràmetres d'ample de pols (25 μ s) i la freqüència de pols (10 Hz), i variant en la xufa el temps de rehidratació (24 o 48 h) i de triturat (0,5, 1, 1,5 o 2 minuts), l'aplicació d'ultrasons (sense o amb US) i el nombre de polsos aplicat (100 o 200); i en el raïm/mandarina la intensitat (4, 7 o 10 kV) i el nombre de polsos desitjat (40, 70 o 100).

A partir de les matrius vegetals tractades i sense tractar es van obtenir els extractes. Així, mitjançant una extracció sòlid-líquid es va obtenir orxata de xufa. Per premsatge de les matrius blanques, es va obtenir suc de fruita. En l'extracte d'orxata es va determinar el color, el pH, els sòlids solubles, la textura i la composició rere centrifugació; mentre que per a l'extracte de raïm es va determinar el pH, els sòlids solubles, la terbolesa i el rendiment, i per a l'extracte de mandarina es va determinar el mateix que per al raïm més la conductivitat.

Els resultats obtinguts van mostrar que el pretractament amb PEF va tindre efecte en productes de textura blana (mandarina i raïm) i no ho va tindre en el de textura dura (xufa). Això indica que les característiques texturals/estructurals del producte són un factor a tindre en compte en establir un tractament amb PEF. En els productes amb teixits blaus, l'aplicació de la tecnologia va tindre un efecte positiu en el rendiment del suc extret. No obstant això, es recomana aprofundir en l'anàlisi de l'efecte del tractament amb PEF en les característiques nutricionals i sensorials del suc obtingut.

Paraules clau: xufa; raïm; mandarina; orxata; suc; PEF.

Title: Use of High Intensity Electrical Pulses as pre-treatment in the extraction process of vegetable products.

Abstract:

Extraction processes in vegetable matrices are quite common in the food industry. These processes traditionally involve the use of mechanical techniques such as pressing and centrifuging, which can lead to the loss of nutrients and bioactive compounds. Therefore, it is necessary to investigate new pretreatment techniques that allow obtaining high quality products while maintaining nutritional and sensory qualities.

The main objective of this work is to study the effect of raw material treatment with high intensity electrical pulses (PEF) on products obtained after extraction in three vegetable matrices, a hard tissue (tiger nut), a soft tissue with seeds (grape) and a soft tissue without seeds (mandarin).

For this purpose, different treatment conditions were proposed, with the three products having in common the pulse width (25 μ s) and pulse frequency (10 Hz) parameters, and varying in the tigernut the rehydration time (24 or 48 h) and crushing time (0.5, 1, 1.5 or 2 minutes), the ultrasound application (without or with US) and the number of pulses applied (100 or 200); and in grape/mandarin the intensity (4, 7 or 10 kV) and the desired number of pulses (40, 70 or 100).

Extracts were obtained from treated and untreated plant matrices. Thus, by means of a solid-liquid extraction, tiger nut horchata was obtained. Fruit juice was obtained by pressing the soft matrices. In tigernut milk extract, color, pH, soluble solids, texture, and composition after centrifugation were determined; while for the grape extract, pH, soluble solids, turbidity, and yield were determined, and for the mandarin extract, the same was determined as for the grape plus conductivity.

The results obtained showed that pretreatment with PEF had an effect on soft-textured products (tangerine and grape) and no effect on the hard-textured (tiger nut). This indicates that the textural/structural characteristics of the product are a factor to be considered when establishing a FEP treatment. In products with soft tissues, the application of the technology had a positive effect on the yield of extracted juice. However, further analysis of the effect of FEP treatment on the nutritional and sensory characteristics of the juice obtained is recommended.

Key words: tigernut; grape; tangerine; tigernut milk; juice; PEF.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi gratitud a José Javier Benedito Fort y Gabriela Clemente Polo por haberme dado la oportunidad de llevar a cabo este proyecto y por su continuo apoyo, orientación y disposición a acompañarme durante todo el proceso de experimentación y redacción.

Agradezco a Alberto Yuste del Carmen, Juan Vicente López Baldó y Amparo Montesinos Guillot por su inestimable ayuda en sus respectivos campos de especialización, así como por su apoyo en el análisis de los parámetros físico-químicos llevados a cabo en este proyecto.

Me gustaría expresar mi gratitud a los estudiantes de doctorado y al personal de laboratorio del grupo ASPA por su amable disponibilidad y su apoyo técnico durante todo el proyecto.

Finalmente, mi más sinceras gracias a todas las personas que han estado alentándome, amigos y familiares que me han demostrado su apoyo y confianza en todo momento.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

ODS 12. Producción y consumo responsables

Meta 12.3. “De aquí a 2030, reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha”.

Se van a buscar soluciones para reducir las pérdidas y el desperdicio de alimentos, puesto que el objetivo de este TFG es que, mediante la aplicación del tratamiento previo PEF sobre las distintas matrices alimentarias, se consiga obtener la máxima cantidad de extracto vegetal posible a partir de la mínima cantidad de materia prima, generando menos cantidad de hollejos que acaban siendo desperdiciados en la industria del zumo.

ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras

Partiendo de que el TFG trata sobre el uso de una nueva tecnología para mejorar los procesos de extracción en vegetales, puesto que se va a investigar el efecto que puede tener la aplicación de PEF como pretratamiento para la obtención de extractos vegetales en diferentes matrices:

Meta 9.4. “De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas”.

Al mejorar la eficiencia de los procesos, el TFG contribuye a mejorar la sostenibilidad de la industria mediante el estudio de una nueva tecnología.

Meta 9.5. “Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo”.

Se contribuye a generar conocimiento científico con el fin de mejorar la capacidad tecnológica de la industria alimentaria.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 LA CHUFA.....	1
1.1.1 COMPOSICIÓN Y ELABORACIÓN DE LA HORCHATA	1
1.2 LA UVA.....	2
1.2.1 COMPOSICIÓN Y ELABORACIÓN DEL ZUMO DE UVA.....	2
1.3 LA MANDARINA	3
1.3.1 COMPOSICIÓN Y ELABORACIÓN DEL ZUMO DE MANDARINA	3
1.4 PRETRATAMIENTOS CON PEF PARA MEJORAR LOS PROCESOS DE EXTRACCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	5
3.1 MATERIA PRIMA	5
3.2 ELABORACIÓN DE LOS EXTRACTOS.....	6
3.2.1 HORCHATA DE CHUFA	6
3.2.2 ZUMO DE UVA	6
3.2.3 ZUMO DE MANDARINA	6
3.3 TRATAMIENTO DE ELECTROPORACIÓN CON PEF.....	7
3.3.1 PRETRATAMIENTO DE CHUFA CON PEF	8
3.3.2 PRETRATAMIENTO DE UVA Y MANDARINA CON PEF	10
3.4 DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS	11
3.4.1 COLOR.....	11
3.4.2 CONDUCTIVIDAD	11
3.4.3 TURBIDEZ.....	11
3.4.4 SÓLIDOS SOLUBLES.....	11
3.4.5 PH	12
3.4.6 RENDIMIENTO DEL ZUMO	12
3.4.7 OTROS PARÁMETROS ANALIZADOS EN CHUFA Y HORCHATA.....	12
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1 HORCHATA.....	13
4.1.1 PH	13
4.1.2 SÓLIDOS SOLUBLES.....	14
4.1.3 COLOR.....	15
4.1.4 TEXTURA.....	19
4.1.5 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA HORCHATA POR CENTRIFUGACIÓN ...	20
4.2 UVA.....	23
4.2.1 pH	24
4.2.2 SÓLIDOS SOLUBLES.....	26

4.2.3	TURBIDEZ.....	27
4.2.4	RENDIMIENTO	29
4.3	MANDARINA.....	31
4.3.1	PH	31
4.3.2	SÓLIDOS SOLUBLES.....	32
4.3.3	CONDUCTIVIDAD	34
4.3.4	TURBIDEZ.....	35
4.3.5	RENDIMIENTO	37
5.	CONCLUSIONES.....	39
6.	BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de electroporación reversible e irreversible.	4
Figura 2. Utensilio Vegan Milker (ChufaMix, España).....	6
Figura 3. Prensa utilizada en la elaboración del zumo de uva y mandarina.	6
Figura 4. Recipiente y cestillo donde se introduce la muestra para prensar y recoger el zumo.	6
Figura 5. Equipo PEF.	7
Figura 6. Celda de pulsos eléctricos de alta intensidad para el tratamiento de la chufa.	7
Figura 7. Celda de pulsos eléctricos de alta intensidad empleada para la uva y mandarina.	7
Figura 8. Cámara de tratamiento del equipo PEF.	8
Figura 9. Cubeta transparente para la medida de color.	11
Figura 10. Cubeta de cristal para medir la turbidez.....	11
Figura 11. Celda y émbolo utilizado para medir la textura de la chufa.....	12
Figura 12. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	13
Figura 13. Gráfico de medias e intervalos LSD de °Brix para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	15
Figura 14. Gráfico de medias e intervalos LSD de L* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	16
Figura 15. Gráfico de medias e intervalos LSD de a* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	17
Figura 16. Gráfico de medias e intervalos LSD de b* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	17
Figura 17. Gráfico de medias e intervalos LSD de hab* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	18
Figura 18. Gráfico de medias e intervalos LSD de C* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	18
Figura 19. Gráfico de las curvas de la textura de la chufa.	19
Figura 20. Figura ejemplo de composición de la horchata en el B6.....	20
Figura 21. Gráfico de medias e intervalos LSD de la fase grasa para muestras de horchata tratadas con diferente número de pulsos (PEF) y diferente tiempo de triturado	21
Figura 22. Gráfico de medias e intervalos LSD de la fase acuosa para muestras de horchata tratadas con diferente número de pulsos (PEF) y diferente tiempo de triturado	22
Figura 23. Gráfico de medias e intervalos LSD de la fase de sólidos en suspensión para muestras de horchata tratadas con diferente número de pulsos (PEF) y diferente tiempo de triturado	23
Figura 24. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para zumo de uva en función del número de pulsos (PEF)	25
Figura 25. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para zumo de uva en función de la intensidad de campo (PEF)	25
Figura 26. Gráfico de medias e intervalos LSD de sólidos solubles para zumo de uva en función de la intensidad de campo (PEF)	26
Figura 27. Gráfico de medias e intervalos LSD de sólidos solubles para zumo de uva en función del número de pulsos (PEF).....	27
Figura 28. Gráfico de medias e intervalos LSD de turbidez para zumo de uva en función del número de pulsos (PEF)	28
Figura 29. Gráfico de medias e intervalos LSD de turbidez para zumo de uva en función de la intensidad de campo (PEF).....	28
Figura 30. Gráfico de medias e intervalos LSD de rendimiento para zumo de uva en función del número de pulsos (PEF)	30
Figura 31. Gráfico de medias e intervalos LSD de rendimiento para zumo de uva en función de la intensidad de campo (PEF)	30
Figura 32. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para zumo de mandarina en función del número de	

pulsos (PEF)	32
Figura 33. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)	32
Figura 34. Gráfico de medias e intervalos LSD de sólidos solubles para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF)	33
Figura 35. Gráfico de medias e intervalos LSD de sólidos solubles para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)	34
Figura 36. Gráfico de medias e intervalos LSD de conductividad para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF)	35
Figura 37. Gráfico de medias e intervalos LSD de conductividad para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)	35
Figura 38. Gráfico de medias e intervalos LSD de turbidez para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF).....	36
Figura 39. Gráfico de medias e intervalos LSD de turbidez para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)	37
Figura 40. Gráfico de medias e intervalos LSD de rendimiento para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF)	38
Figura 41. Gráfico de medias e intervalos LSD de rendimiento para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferentes parámetros aplicados a los blancos de horchata.....	8
Tabla 2. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para obtener los blancos	9
Tabla 3. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para los diferentes tratamientos.....	9
Tabla 4. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para medir el color, los sólidos solubles y el pH.....	9
Tabla 5. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para medir la textura.....	9
Tabla 6. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para medir la composición por centrifugación.....	10
Tabla 7. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la uva y la mandarina	10
Tabla 8. Valores medios de pH en horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	13
Tabla 9. Valores medios de °Brix en horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	14
Tabla 10. Coordenadas CIEL*a*b* de horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	16
Tabla 11. Atributos de color y diferencia de color de horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)	19
Tabla 12. Valores medios de parámetros texturales medidos en chufa tratada con diferente número de pulsos (PEF)	20
Tabla 13. Valores medios de distribución de las fases para 8.5 mL de horchata tras la centrifugación de muestras tratadas con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)	20
Tabla 14. Valores medios de pH en zumo obtenido de uva tratada con PEF a diferente intensidad y número de pulsos.....	24
Tabla 15. Valores medios de °Brix en zumo de uva tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)	26
Tabla 16. Valores medios de turbidez en zumo de uva tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)	27
Tabla 17. Valores medios de rendimiento en zumo de uva tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)	29
Tabla 18. Valores medios de pH en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)	31
Tabla 19. Valores medios de °Brix en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)	33
Tabla 20. Valores medios de conductividad en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF).....	34
Tabla 21. Valores medios de turbidez en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)	36
Tabla 22. Valores medios de rendimiento en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF).....	37

1. INTRODUCCIÓN

1.1 LA CHUFA

La chufa, *Cyperus esculentus L.*, es una planta originaria de Oriente Próximo que se cree que fue cultivada en el siglo V a.C. en la región de Nilo Blanco, en el actual Sudán (Pascual-Seva, 2011).

Su cultivo tiene una larga historia, y se han descubierto tubérculos en sarcófagos y tumbas egipcias de las primeras dinastías. Antiguos libros de autores persas, árabes y chinos tienen referencias a la chufa, destacando sus propiedades terapéuticas y su uso como sustituto del café y en confituras.

La chufa llegó a la Península Ibérica durante la Edad Media, junto con las oleadas islámicas. Ibn al-'Awam, agrónomo andalusí, describe su cultivo en el Libro de agricultura hacia mediados del siglo XII o comienzos del XIII (Maroto Borrego *et al.*, 2017), y existen registros de ingesta de "llet de xufes" durante el *Regne de València* en el siglo XIII (Pascual y Maroto, 1984a).

En la actualidad la chufa se emplea fundamentalmente para la elaboración de horchata. En los últimos años, el consumo de horchata industrial ha aumentado de forma considerable, y actualmente representa entre el 80 y el 85% de toda la horchata producida (Maroto, 2003). A parte de la horchata, la chufa se ha utilizado en platos principales, entrantes y postres de autor. Además, se han desarrollado productos como licor o chocolate de horchata, así como aceite de chufa de alta calidad para aliñar ensaladas (Pascual-Seva, 2011).

1.1.1 COMPOSICIÓN Y ELABORACIÓN DE LA HORCHATA

La horchata de chufas, o simplemente horchata, es una bebida de aspecto turbio que se produce mecánicamente a partir de tubérculos de chufa y tiene el color, sabor y olor característicos de dichos tubérculos (Real Decreto 1338/1988; MRCSG, 1988).

La elaboración de la horchata consta de las siguientes etapas: lavado, selección (que incluye la eliminación de cualquier tubérculo defectuoso), rehidratación, molturación, extracción sólido-líquido, prensado, tamizado, adición de azúcar y enfriamiento. Obtener el máximo rendimiento de extracción durante la elaboración, a la vez que se mantiene la calidad de la horchata, se vuelve crucial para optimizar el proceso.

Hay que señalar que existen diferentes tipos de horchata. La horchata de chufa natural se elabora utilizando la cantidad apropiada de chufas, agua y azúcar, de forma que la horchata contenga al menos 12 de cada 100 partes de sólidos solubles, expresados en grados Brix a una temperatura de 20 grados. Tendrá un contenido máximo de almidón del 1,9% y un contenido mínimo graso del 2%. Su pH mínimo será de 6,3. Además, el porcentaje de azúcares no será inferior al 10%. La única fuente de almidón, sólidos solubles y grasa utilizados en la elaboración de la horchata serán los tubérculos empleados en dicho proceso (Real Decreto 1338/1988).

Opcionalmente, la horchata puede elaborarse simplemente mezclando chufas y agua, siendo conocida entonces como "horchata no azucarada". En esta formulación, la horchata debe contener al menos 4,5 por cada 100 partes de sólidos solubles, expresados en grados Brix a una temperatura de 20 °C. Asimismo, su contenido de almidón será, como mínimo, del 1,9% y el de grasas del 2%.

1.2 LA UVA

La viticultura, con más de 7,5 millones de hectáreas dedicadas al cultivo de la vid, se destaca como un sector clave a nivel mundial (OIV, 2006).

Según Mullins *et al.* (1992), en el sur de Caucasia es donde tuvo lugar por primera vez la producción de uva *V. vinifera*. La primera noticia que se tiene de las uvas (*V. vinifera* spp. *sativa*) es su recolección en estado silvestre. Los habitantes de estas regiones se dieron cuenta de su valor y comerciaron con la vid a través de diversas regiones hasta llegar al Mediterráneo, donde los griegos, fenicios y romanos adoptaron su cultivo, y lo difundieron por toda Europa, llegando incluso a Gran Bretaña. Posteriormente llegó a Norteamérica, Perú y Chile; mientras que los holandeses la introdujeron en Sudáfrica en el año 1616; los ingleses introdujeron las vides en Australia con la Primera Flota en 1788 y también en Nueva Zelanda en sus respectivos viajes.

La uva tiene un alto contenido de azúcar cuando está madura, pectina y una variedad de compuestos fragantes, dependiendo del cultivo. Estas cualidades, junto con el alto contenido de ácido de la fruta, especialmente ácido tartárico, la hacen adecuada para una gran variedad de usos finales, como las pasas, fruta fresca, conservas, zumos y vino. La uva de mesa ha adquirido gran importancia desde el año 2000, y en 2015 representaba el 36% del total. Por otro lado, aproximadamente la mitad de la producción mundial de uva se destina a la elaboración de vino y otros productos fermentados, mientras que las pasas representan el 8%, y el zumo y otros usos suponen algo más del 5% (OIV. 2006).

1.2.1 COMPOSICIÓN Y ELABORACIÓN DEL ZUMO DE UVA

El Código Alimentario Español (1967) define el mosto (también conocido como zumo de uva) como el zumo que se ha extraído de las uvas, ricas en azúcares, antes de que comience la fermentación, excluyendo el hollejo, las pepitas y los raspones. Esta descripción puede encontrarse bajo el epígrafe "Bebidas Alcohólicas". El mosto tiene la capacidad de fermentar y convertirse en alcohol, dando lugar al vino. Por otro lado, se establece que "zumo fresco" se refiere a los líquidos producidos mediante un proceso industrial utilizando uvas limpias, maduras y lavadas, el cuál puede someterse a un proceso adicional para prolongar su vida útil, como la pasteurización o esterilización (Carreño *et al.*, 2001). Cabe resaltar que la cantidad de uva utilizada para zumo y productos afines es poca en comparación con la empleada para hacer vino o para uvas de mesa (Basterra, 2018).

El RD 1044/1987 establece las características técnicas que debe tener el zumo de uva. Entre otras, que el zumo obtenido debe contener al menos 16 °Brix a una temperatura de 20 °C, que su acidez total (expresada en ácido tartárico) tiene que estar entre 3,5 y 10 g/L, que el contenido en azúcares totales (expresado como glucosa) debe ser superior a 140 g/L o que la relación glucosa/fructosa tiene que estar entre 0,95 y 1,05.

Otras características que se especifican son una densidad relativa 20/20° mayor a 1,065; un índice de formol superior a 9; un contenido en cenizas mayor a 1,4 g/L; un contenido alcohólico menor a 1°; una concentración de fósforo superior a 40 mg/L; un contenido total de nitrógeno mayor a 250 mg/L; una concentración de potasio de más de 400 mg/L; una cantidad de sulfatos menor a 1 g/L (expresado en forma de sulfato potásico); un contenido de magnesio mayor a 30 mg/L; o una concentración de prolina superior a 150 mg/L.

1.3 LA MANDARINA

Los cítricos, originarios del sudeste de Asia, son ampliamente cultivados a nivel mundial. Se reconocen tres grandes orígenes en su cultivo: el noroeste de la India, el norte de Bangladesh y la jurisdicción de China central y occidental de Yunnan (Gmitter y Hu, 1990).

Los principales países productores de cítricos en la actualidad son: China, Brasil, India, México y EE.UU (Sandri, 2023). El cultivo de cítricos en España tuvo un crecimiento gradual en los años 1800, pero fue en la región valenciana (productora del 90% de las naranjas del país) donde se obtuvieron resultados comerciales favorables debido a las condiciones climáticas, la calidad del suelo y la facilidad de replantación. Entre 1860 y 1870, los cítricos alcanzaron una gran importancia económica y exportadora, marcando el inicio de su desarrollo actual, donde la naranja es uno de los principales productos de España. Durante ese tiempo se introdujo la mandarina en 1845, seguida, un año después, por la variedad de naranja sanguina proveniente de Malta (Agustí, 2000).

La mandarina, o *Citrus reticulata* Blanco, es originaria de China e Indochina y pertenece a la familia de las rutáceas. Ha alcanzado su máximo desarrollo en las regiones subtropicales situadas entre los 30 y los 40 grados de latitud norte y sur. La producción en estas zonas es estacional, y los frutos tienen una excelente calidad para el consumo cuando aún están en estado fresco. Son jugosas, tienen un alto contenido de azúcar y se destinan tanto al consumo directo como a la fabricación de zumos.

1.3.1 COMPOSICIÓN Y ELABORACIÓN DEL ZUMO DE MANDARINA

En las frutas cítricas y sus zumos se pueden encontrar minerales y sustancias bioactivas, como carotenoides, flavonoides, vitaminas A y C. Estas mezclas tienen efectos beneficiosos para la salud, como la salvaguarda contra el deterioro oxidativo de las células y tejidos, junto con el control del proceso de división celular. Estos efectos beneficiosos son el resultado de las interacciones sinérgicas entre los numerosos componentes bioactivos, como los pigmentos carotenoides y la vitamina C.

Según el RD 781/2013, los "zumos de mandarina" se definen como aquellos que se extraen mecánicamente del endocarpio maduro de mandarinas en buen estado. Estos zumos deben conservarse únicamente por métodos físicos, sin fermentación, pero con potencial de fermentación. Además, deben estar destinados al consumo inmediato y tener un contenido mínimo de °Brix de 11,2 conservando el color y el sabor distintivos del zumo de mandarina.

1.4 PRETRATAMIENTOS CON PEF PARA MEJORAR LOS PROCESOS DE EXTRACCIÓN

A pesar de que la mayoría de las empresas productoras de zumo no utilizan ningún tipo de preparación previa, numerosas investigaciones científicas (Aguilera, 2017; Caminiti *et al.*, 2012; Aadil *et al.*, 2015) encaminadas a la mejora continua de los procesos han demostrado que, realizando tratamientos previos a la extracción del zumo, es posible aumentar su rendimiento y mejorar su calidad. Algunas de las tecnologías utilizadas en el tratamiento previo a la extracción son el uso de microondas, los tratamientos enzimáticos, o el uso de pulsos eléctricos de alta intensidad (PEF) (Rodríguez, 2015; Aguilera, 2017). A continuación, se hablará de la tecnología PEF, que es la que se ha utilizado en el presente TFG.

La tecnología PEF se basa en la utilización de campos eléctricos de corta duración (ms- μ s) y alta intensidad (superior a 0,5 kV/cm) para tratar un producto. Para ello, se conectan dos electrodos paralelos en una cámara o célula de tratamiento y se crea un campo eléctrico cuya intensidad depende de la diferencia de potencial (V) y de la distancia entre los electrodos.

El fenómeno de electroporación, también conocido como electro permeabilización, se produce al exponer las células de tejidos vegetales o animales a este campo eléctrico. Durante este proceso, se forman poros en la membrana celular, aumentando su permeabilidad (Aguilera, 2017).

La electroporación provoca la formación de poros en las membranas celulares, debido a que el campo eléctrico sobrepasa un umbral (a menudo entre 0,5 y 1,5 V) y provoca el desplazamiento de los lípidos de la membrana, la cual es semipermeable. Este cambio puede ser reversible o irreversible (Casado, 2015). El tamaño y número de estos poros es función de la cantidad de energía eléctrica aplicada y de la diferencia de potencial en la membrana celular.

La electroporación reversible se produce cuando los poros son pequeños, y la célula puede regenerar su membrana y recuperar su viabilidad tras el tratamiento. Por el contrario, la electroporación irreversible, que provoca la muerte celular ya que la célula no puede reparar el daño causado, se produce cuando los poros son grandes y estables como consecuencia de la alta intensidad del campo eléctrico aplicado (Martín Municio & Raso Pueyo, 2018). En la Figura 1 se muestra el esquema de estos procesos.

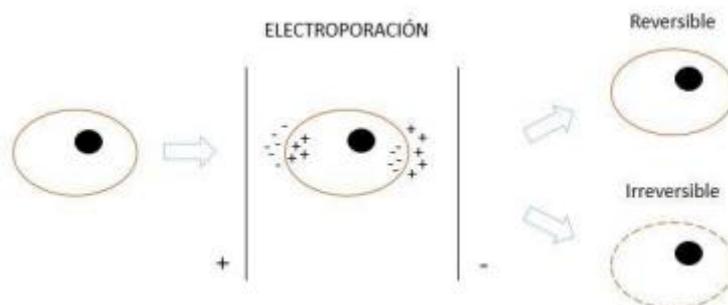


Figura 1. Esquema del proceso de electroporación reversible e irreversible.

Es esencial tener en cuenta una serie de parámetros clave durante el tratamiento con PEF. Entre ellos la intensidad del campo eléctrico, la forma y la duración del pulso, el tiempo de tratamiento, la energía específica utilizada, la frecuencia y la resistencia de la cámara de tratamiento. Además, es importante considerar el impacto de la temperatura del medio (Martín, 2018) y el tamaño de la célula, pues este desempeña un papel importante en la electroporación, ya que una célula más pequeña requiere un campo eléctrico externo más intenso para que su membrana conduzca la electricidad. Por ello se puede distinguir entre la electroporación de microorganismos, donde la intensidad de campo ha de ser mucho mayor (superiores a 15 kV/cm) y cuyo objetivo es su inactivación de los microorganismos; y la electroporación de células vegetales, las cuales tienen mayor tamaño que los microorganismos, y por lo tanto es necesaria una menor intensidad del campo (requieren campos inferiores a 10 kV/cm). En este caso el objetivo del tratamiento para favorecer la extracción de componentes valiosos para la industria alimentaria, como aceites, azúcar y colorantes, entre otros (Maza *et al.*, 2017).

Por ejemplo, el estudio de Bobinaitė *et al.*, (2015), que trabajó sobre arándanos con un tratamiento PEF a diferentes intensidades de campo (1, 3 y 5 kV/cm) y con una entrada de energía de 1,5 o 10 kJ/kg a una frecuencia (10 Hz) y anchura de pulso (20 μ s) constantes, concluyó que, a mayor intensidad, mayor rendimiento y contenido fenólico. Por otra parte, según el estudio de Caminiti *et al.*, (2012), donde realizó un tratamiento PEF con una intensidad de campo de 24 kV/cm, una frecuencia de 18 Hz, 89 pulsos, 1 μ s de anchura de pulso y 89 μ s de tiempo de tratamiento sobre un zumo de zanahoria y naranja, al aplicar el pretratamiento PEF provocaba un aumento sobre los valores de color, una disminución sobre los contenidos fenólicos totales y una inactivación del 78% de la pectin metilesterasa.

En el estudio realizado por Jemai y Vorobiev (2006) se utilizaba el PEF como un tratamiento intermedio para la extracción de zumo en frío de partículas largas ralladas de remolacha azucarera. Se utilizó un equipo de prensado multiplaca, un bastidor a escala piloto (presión de 5-15 bar; llenado de partículas de 4-5-15 kg) y un generador de pulsos (1000 V-1000 A). Se estudió el efecto de reducir la frecuencia del PEF (es decir, el número de pulsos, que es proporcional al tiempo de tratamiento) en el rendimiento del zumo. Para ello, se utilizaron diferentes números de pulsos: 100, 300, 500, 750 y 1000, manteniendo constante

la diferencia de potencial aplicada (1000 V). Este estudio confirmó que la aplicación de un tratamiento intermedio de PEF, tras una etapa inicial de prensado, mejoraba significativamente el rendimiento de extracción de zumo. A su vez, los zumos extraídos tras la aplicación del PEF presentaban una pureza más elevada. Por último, también se concluyó que además de una mejor calidad del zumo, el análisis de las pulpas prensadas y lavadas tras el tratamiento con PEF, contenían cantidades sustancialmente mayores de potasio, sodio y α -amino nitrógeno.

En el estudio de Guderjan *et al.* (2007) sobre semillas de colza, se utilizaron dos tratamientos PEF diferentes, uno con intensidades de campo eléctrico de 5,0 kV/cm y 60 pulsos, con un aporte específico de energía de 21,4 kJ/kg; y otro con 7,0 kV/cm y 120 pulsos y un aporte específico de energía de 84,0 kJ/kg, en ambos casos la duración de pulso fue de 30 μ s para inducir una permeabilización irreversible. Se concluyó que el tratamiento con PEF tenía un marcado efecto sobre el rendimiento de aceite y el contenido de ingredientes alimentarios funcionales. Tras la aplicación del tratamiento PEF se obtuvieron mayores concentraciones de antioxidantes totales, tocoferoles, polifenoles y fitosteroles en el aceite. Además, el rendimiento de aceite aumentó tras el prensado, así como tras la extracción con disolventes. No se determinó ningún efecto sobre las propiedades de insaturación y los valores de saponificación.

La bibliografía consultada indica que el tratamiento con PEF es una tecnología prometedora para mejorar los procesos de extracción de zumo, así como de compuestos de interés en semillas. Es por ello por lo que se plantea el estudio de su utilización como pretratamiento en la obtención de horchata y de zumo de uva y mandarina.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del TFG es determinar si la tecnología PEF es adecuada en el pretratamiento de diferentes matrices vegetales (chufa, uva y mandarina) para mejorar los extractos obtenidos a partir de las mismas.

Para cumplir el objetivo principal se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Establecer los parámetros de tratamiento con PEF para cada una de las matrices.
- Determinar el efecto de las condiciones del pretratamiento con PEF en el rendimiento del extracto obtenido para las tres matrices estudiadas (zumo en el caso de la mandarina y la uva, y extracto sólido-líquido en el caso de la chufa).
- Determinar el efecto de las condiciones del pretratamiento con PEF en los parámetros físico-químicos de interés para cada una de las tres matrices estudiadas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIA PRIMA

Como materia prima se eligieron tres matrices vegetales con diferentes características para elaboración de extractos: dos tejidos blandos, uno con semillas (uva) y otro sin semillas (mandarina) y un tejido duro (chufa). Tanto la chufa, como la uva y la mandarina, se adquirieron en una frutería en Valencia, España. Los tres productos se almacenaron en bolsas refrigeradas a una temperatura de 6°C hasta su utilización.

3.2 ELABORACIÓN DE LOS EXTRACTOS

3.2.1 HORCHATA DE CHUFA

La horchata fue elaborada utilizando una proporción de 200g de chufa por cada litro de agua. El proceso de elaboración comenzó con 100g de chufas deshidratadas, que, dependiendo del tratamiento empleado, se rehidrataron durante 24 h o 48 h sumergiéndolas en 200mL de agua a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo, las chufas se lavaron con agua de grifo hasta que el agua de lavado quedó limpia.

A continuación, las chufas rehidratadas se sometieron a un tratamiento PEF (EPULSUS-LPM1-10, EnergyPulse Systems, Lda, Lisboa, Portugal). Este paso no se llevó a cabo en los blancos (muestras sin tratar). Posteriormente, la chufa rehidratada se colocó en una batidora (TURBO BLENDER, Moulinex, Alençon, Francia) con 250mL de agua, y la mezcla se disgregó durante 2 minutos. Después, la mezcla se transfirió al cestillo de la ChufaMix (Vegan Milker Classic, Vegan Milker, Alboraiá, España), para proceder a su filtrado, asegurándose de obtener la mayor cantidad de horchata mediante el prensado del bagazo de la chufa utilizando el mortero de la ChufaMix (Figura 2).



Figura 2. Utensilio Vegan Milker (ChufaMix, España).

Se utilizó la otra mitad del agua (250mL) para enjuagar los restos de la chufa del vaso de la batidora y proceder a su filtrado y prensado. Por último, los dos extractos se mezclaron y filtraron mediante un colador de malla fina para reducir en contenido de sólidos en suspensión.

3.2.2 ZUMO DE UVA

Para la elaboración del zumo de uva, lo primero que se hizo fue pesar 60 g de uva previamente lavada. Seguidamente, a los granos de uva enteros, se les dio el tratamiento PEF correspondiente. Este paso no se llevó a cabo en los blancos (muestras sin tratar).

La extracción del zumo de uva se realizó en un texturómetro TA.XT2i (Texture Analyser, Stable Micro Systems, Godalming, United Kingdom; Figura 3). Para facilitar la tarea, las uvas se partieron por la mitad y se colocaron en un cestillo (Figura 4), que actuaba de filtro una vez el émbolo iniciaba la compresión. Se programó el texturómetro para que comprimiera la uva a 45 kg de fuerza durante 60 s. Se repitió el proceso de compresión (45 kg durante 60 s) una segunda vez, para aumentar la cantidad de zumo extraído.



Figura 3. Prensa utilizada en la elaboración del zumo de uva y mandarina.

3.2.3 ZUMO DE MANDARINA

En la elaboración del zumo de mandarina, el primer paso fue pelar la mandarina y separarla en gajos. Seguidamente, se pesaron 60 g y se le dio el tratamiento PEF correspondiente. Este paso no se llevó a cabo en los blancos (muestras sin tratar).

Para la extracción del zumo de mandarina se siguió el mismo proceso de extracción que en el caso de la uva, explicado en el apartado 3.2.2.



Figura 4. Recipiente y cestillo donde se introduce la muestra para prensar y recoger el zumo.

3.3 TRATAMIENTO DE ELECTROPORACIÓN CON PEF

El equipo PEF utilizado es el que se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Equipo PEF.

Su funcionamiento es el siguiente:

En primer lugar, en la celda de pulsos eléctricos de alta intensidad (Figuras 6 y 7), se introducen las materias primas correspondientes (chufa, uva o mandarina), junto con 100 mL de agua del grifo (conductividad de 1,04 mS/cm) que actúa como conductora de la corriente.

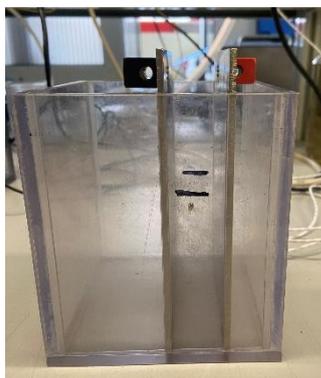


Figura 6. Celda de pulsos eléctricos de alta intensidad para el tratamiento de la chufa.

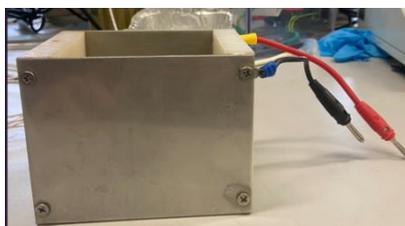


Figura 7. Celda de pulsos eléctricos de alta intensidad empleada para la uva y mandarina.

Seguidamente, se introduce la celda en la cámara de tratamiento (Figura 8).



Figura 8. Cámara de tratamiento del equipo PEF.

Una vez el equipo está en funcionamiento, se establecen los parámetros de ancho de pulso ($25 \mu\text{s}$), frecuencia de pulso (10 Hz), intensidad y número de pulsos deseado, de acuerdo con estudios realizados en productos similares. Los parámetros utilizados en los tratamientos de cada matriz están explicados en los apartados 3.3.1 y 3.3.2.

Posteriormente, se carga el equipo para que la celda reciba la intensidad deseada, y una vez el equipo se ha cargado, se procede a realizar el tratamiento. Al acabar este paso, se procede a la descarga del equipo para poder retirar la celda. Este proceso se realizó por triplicado para cada tipo de tratamiento.

Finalmente, se procedió a la limpieza de la celda con agua destilada.

3.3.1 PRETRATAMIENTO DE CHUFA CON PEF

Los parámetros establecidos en el equipo PEF para investigar el impacto del tratamiento sobre las chufas fueron una intensidad de campo de $3,63 \text{ kV/cm}$ (determinada aplicando 10.000 V y una distancia de $2,75 \text{ cm}$ entre los electrodos (Figura 6, apartado 3.3)). El número de pulsos utilizados varió (100 y 200 pulsos). Además, se fijó una duración del pulso de $25 \mu\text{s}$ y una frecuencia de 10 Hz. Cada tratamiento se realizó con una muestra de chufa rehidratada correspondiente a 100 g de chufa seca.

Respecto a las muestras sin tratamiento de PEF se establecieron diferentes parámetros de proceso para determinar si estos tenían influencia en las características de la horchata obtenida. Así se varió el tiempo de rehidratación de las chufas, el tiempo de triturado y se aplicaron o no ultrasonidos a las chufas enteras en un baño a 500 rpm durante 3 minutos (Tabla 1).

Tabla 1. Diferentes parámetros aplicados a los blancos de horchata

Tiempo rehidratación, T_r (h)	Tiempo trituración, T_t (min)	Aplicación de US (500 rpm , 3 min)
24	0,5	Si
48	1	No
	1,5	
	2	

Según las variables de la Tabla 1, se establecen las muestras control (Tabla 2)

Tabla 2. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para obtener los blancos

Muestra	T _r *(h)	T _t *(min)	Aplicación de US (500 rpm, 3 min)
Blanco 1	24	2	No
Blanco 2	24	2	Sí
Blanco 3	48	2	No
Blanco 4	24	0,5	No
Blanco 5	24	1	No
Blanco 6	24	1,5	No

*Donde T_r es tiempo de rehidratación y T_t es tiempo de trituración.

Se establecieron diferentes procesos de elaboración de muestras de horchata a partir de chufa tratada para ser comparadas con los blancos (Tabla 3).

Tabla 3. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para los diferentes tratamientos

Muestra	T _r *(h)	T _t *(min)	Nº pulsos
T1	24	2	100
T2	48	2	100
T3	24	2	200
T4	24	0,5	100
T5	24	0,5	200

*Donde T_r es tiempo de rehidratación y T_t es tiempo de trituración.

En el caso de la horchata, no se van a utilizar los mismos tratamientos para medir los distintos parámetros.

Para los parámetros de color, sólidos solubles y pH, se utilizan los tratamientos especificados en la Tabla 4.

Tabla 4. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para medir el color, los sólidos solubles y el pH

Muestra	T _r *(h)	T _t *(min)	Aplicación de US (500 rpm, 3 min)	Nº pulsos
Blanco 1	24	2	No	-
Blanco 2	24	2	Sí	-
Blanco 3	48	2	No	-
T1	24	2	No	100
T2	48	2	No	100
T3	24	2	No	200

*Donde T_r es tiempo de rehidratación y T_t es tiempo de trituración.

Por otro lado, para estudiar los apartados de textura y la composición de la horchata tras la centrifugación, se utilizaron otros tratamientos (presentados en las Tablas 5 y 6).

Tabla 5. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para medir la textura

Muestra	T _r *(h)	T _t *(min)	Nº pulsos
Blanco 4	24	0,5	-
T4	24	0,5	100
T5	24	0,5	200

*Donde T_r es tiempo de rehidratación y T_t es tiempo de trituración.

Tabla 6. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la chufa para medir la composición por centrifugación

Muestra	T _r *(h)	T _t *(min)	Nº pulsos
Blanco 4	24	0,5	-
Blanco 5	24	1	-
Blanco 6	24	1,5	-
Blanco 1	24	2	-
T4	24	0,5	100
T5	24	0,5	200
T1	24	2	100
T3	24	2	200

*Donde T_r es tiempo de rehidratación y T_t es tiempo de trituración.

Para cada muestra se prepararon 0,5 litros de horchata y se evaluaron los parámetros físico-químicos de color, pH, sólidos solubles, composición de la horchata por centrifugación (contenido en grasa, agua y sólidos en suspensión), y textura de la chufa tratada. Estos procedimientos se describen en la sección 3.4 del presente estudio.

3.3.2 PRETRATAMIENTO DE UVA Y MANDARINA CON PEF

Del mismo modo, el equipo de PEF utilizado para estudiar el impacto del tratamiento sobre la uva y la mandarina es el mismo que el utilizado para la chufa, con la diferencia de que, esta vez, se utilizó una celda diferente que la empleada en la chufa. Esta celda tiene una forma rectangular, y está formada por dos electrodos colocados en paralelo, a una distancia de 8 cm entre ellos (Figura 7, apartado 3.3). En ella se colocaron uvas/mandarinas y se añadió agua (100 mL) como medio de tratamiento.

Los parámetros establecidos fueron una intensidad de campo de 1,25 kV/cm (determinada aplicando 10.000 V), 0,875 kV/cm (determinada aplicando 7.000 V), y 0,5 kV/cm (determinada aplicando 4.000 V). Además, se fijó una duración del pulso de 25 μ s y una frecuencia de 10 Hz. El número de pulsos utilizados varió, y el tratamiento se realizó con 100, 70 y 40 pulsos, además de las correspondientes muestras sin tratar (blancos).

Por tanto, los estudios del impacto del tratamiento con PEF sobre las uvas y las mandarinas se realizaron mediante 10 tratamientos (nueve niveles de PEF y un blanco sin PEF por triplicado, Tabla 7). Cada tratamiento se realizó con una muestra de 60 g de fruta.

Tabla 7. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados sobre la uva y la mandarina

Tratamiento	Número de pulsos	Intensidad de campo (kV/cm)
Blanco	-	-
T1	100	1,25
T2	100	0,875
T3	100	0,5
T4	70	1,25
T5	70	0,875
T6	70	0,5
T7	40	1,25
T8	40	0,875
T9	40	0,5

Para cada muestra se extrajo el zumo según se explica en el apartado 3.2.2 y 3.2.3, y se evaluaron los parámetros físico-químicos de pH, sólidos solubles y turbidez, en el caso de la uva tratada; y los parámetros de pH, sólidos solubles, conductividad y turbidez en el caso de la mandarina tratada, además del rendimiento en ambos tejidos.

3.4 DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

3.4.1 COLOR

El color de las muestras de horchata se determinó utilizando un espectrofotómetro (CM2500d, KONICA MINOLTA, Osaka, Japón). Tras calibrarlo, se obtuvieron las coordenadas en el espacio CIEL*a*b*, teniendo en cuenta los valores de las coordenadas del componente espectral incluido (SCI). En cada muestra se realizaron las mediciones por triplicado.

Una vez obtenidos los valores L*, a* y b*, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 para evaluar los atributos del color, que incluyen la tonalidad (ecuación 1) y la pureza/croma del color (ecuación 2). Además, mediante la ecuación 3, se determinó si la diferencia de color entre las muestras obtenidas con chufas tratadas y no tratadas era igual o superior a un mínimo de tres, es decir, si era lo suficientemente grande como para ser detectable por el ojo humano (Talens Oliag, 2017).

$$hab^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (1)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

Al ser muestras líquidas, la medición se realizó dentro de una cubeta transparente (Figura 9). Esto se hizo para evitar cualquier interferencia provocada por el material de la cubeta, así como cualquier interferencia potencial provocada por el uso de un recipiente que creara una burbuja de aire en la parte superior (Redondo García, 2021).



Figura 9. Cubeta transparente para la medida de color.

3.4.2 CONDUCTIVIDAD

Para medir la conductividad de cada muestra, se utilizó un conductímetro (SevenExcellence, METTLER TOLEDO, Toledo, España), el cual, tras calibrarlo, expresaba la conductividad en $\mu\text{s}/\text{cm}$ a temperatura ambiente.

3.4.3 TURBIDEZ

Para determinar la turbidez, se utilizó un turbidímetro (D-110, DINKO, Barcelona, España), el cuál expresaba la turbidez en NTU. Para ponerlo a punto, se realizó una calibración previa con soluciones de 5, 40 y 400 NTU, y después medir el blanco con agua destilada, los cuales se ponían en una cubeta de cristal transparente (Figura 10).



Figura 10. Cubeta de cristal para medir la turbidez.

3.4.4 SÓLIDOS SOLUBLES

Se utilizó un refractómetro (Digital Refractometer HI96801, HANNA instruments, Padua, Italia) para medir los sólidos solubles contenidos en la muestra y expresados como °Brix a temperatura ambiente. El rango de medición del refractómetro fue de 0 a 85 °Brix. Cada muestra se analizó por triplicado.

3.4.5 PH

Se midió el pH con un pH-metro (pH/ION-metro, VWR, IS 2000L, Lovaina, Bélgica).

En primer lugar, había que calibrar el equipo antes de cada medición. A continuación, se colocaba una muestra, previamente agitada, en una cubeta de 20 mL mientras permanecía a temperatura ambiente. La lectura del pH tardaba unos 2 min en registrarse una vez que el valor se estabilizaba.

3.4.6 RENDIMIENTO DEL ZUMO

El rendimiento se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso del zumo (g)}}{\text{Peso de la futa (g)}} \times 100$$

El peso de la fruta fue anotado antes de partir la matriz.

El peso del zumo se determinó a partir del extraído tras la segunda prensada.

3.4.7 OTROS PARÁMETROS ANALIZADOS EN CHUFA Y HORCHATA

Además de los parámetros que se establecen en los apartados 3.4.1, 3.4.4 y 3.4.5, en el caso de las chufas y la horchata se determinó la textura y la composición por centrifugación.

La textura se midió para determinar si había influencia del número de pulsos aplicados, mientras que la proporción de cada una de las fases tras la centrifugación se determinó para establecer la influencia del tiempo de triturado y de la aplicación de PEF en la composición de la horchata.

En el caso de la textura, se analizaron muestras rehidratadas durante 24 h, una sin tratar (blanco) y 2 muestras sometidas a tratamiento con diferente número de pulsos (100 y 200, respectivamente). Estos tres tratamientos se realizaron por triplicado (Tabla 5, apartado 3.3.1)

La textura de la chufa antes y después del tratamiento con PEF se midió mediante un texturómetro universal (TA.XT2i Texture Analyser, Stable Micro Systems, Godalming, United Kingdom) utilizando la sonda de corte (referencia A/BS) que se muestra en la Figura 11. El ensayo de textura se realizó con una velocidad pre-test de 2 mm/s, una velocidad post-test de 10 mm/s y una distancia recorrida por la sonda de 25 mm. Se registró la curva fuerza-tiempo, a partir de la cual se calcularon los parámetros del área y la fuerza máxima.

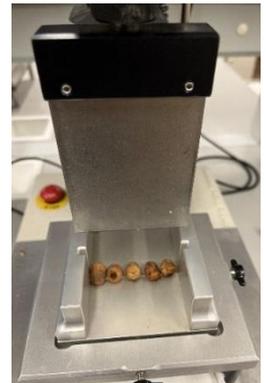


Figura 11. Celda y émbolo utilizados para medir la textura de la chufa.

Además, se determinó la composición de la horchata por centrifugación, realizándose un total de 4 blancos, los cuales tenían diferente tiempo de triturado entre ellos, y 4 tratamientos, los cuales diferían en el tiempo de triturado y en el número de pulsos. (Tabla 6, apartado 3.3.1).

La composición aproximada de las diferentes fases de la horchata (fase grasa, fase acuosa y sólidos en suspensión) se estimó centrifugando (5804R, Eppendorf, Hamburgo, Alemania) 8,5mL de horchata en tubos de 10mL durante 5 min a 800 rpm.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis estadístico utilizando la herramienta StatGraphics XVIII - X64 para determinar si los parámetros mencionados en el apartado 3.4 se ven influenciados por los diferentes tratamientos con PEF.

Con el fin de definir las diferencias y el nivel de significación entre las muestras examinadas, se utilizó un ANOVA simple y un ANOVA multifactorial, ambos con un nivel de confianza del 95%. El método utilizado para discriminar entre las medias fue el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados de la influencia de la aplicación de PEF en los parámetros físico-químicos, así como sobre el rendimiento de extracción en los tres productos analizados.

4.1 HORCHATA

4.1.1 PH

Los valores medios de pH para cada tipo de condición de tratamiento se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores medios de pH en horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

MUESTRA	pH
BLANCO 1 (24 h)	6,3625 ± 0,0005 ^a
BLANCO 2 (24 h, US)	6,287 ± 0,0030 ^b
BLANCO 3 (48 h)	6,332 ± 0,0030 ^c
T1 (24 h, 100 pulsos)	6,4095 ± 0,0005 ^d
T2 (48 h, 100 pulsos)	6,386 ± 0,0020 ^e
T3 (24 h, 200 pulsos)	6,466 ± 0,0020 ^f

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%.

Tras obtener los resultados de cada una de las muestras, se realizó un análisis estadístico para comprobar si existen diferencias significativas entre los valores. El análisis de la varianza (ANOVA) reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) de pH entre las diferentes muestras.

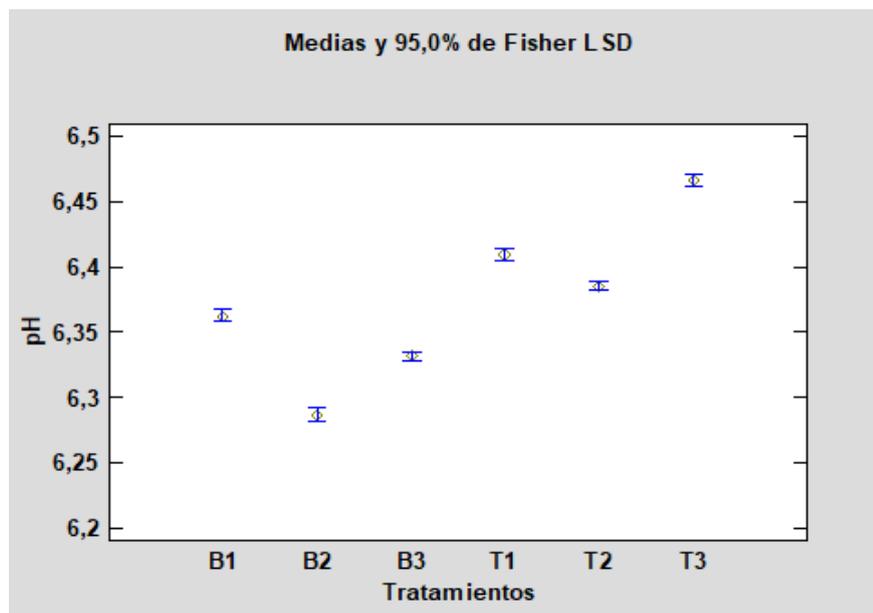


Figura 12. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

Además, observando el gráfico de medias e intervalos LSD (Figura 12), se pueden ver las diferencias significativas entre los tratamientos.

La primera es que se produce una disminución del pH entre el Blanco 1 y el Blanco 2; y entre el Blanco 1 y el Blanco 3, se produce una bajada del pH, pero no tan brusca como la anterior. Estos resultados indican que no merece la pena ni incrementar el tiempo de rehidratación de la chufa, ni aplicar US a las muestras, puesto que el pH de la horchata de chufa natural debe ser superior a 6,3 (apartado 1.1.1), cosa que no sucede con el Blanco 2, pero sí que se aplica para el resto de las muestras.

En la figura 12 se observa que la aplicación de PEF implica aumento del pH. Se observan valores mayores en el T3 (mayor número de pulsos). Se puede concluir que todas las muestras blanco tienen el pH más bajo que las muestras tratadas, y que, al tratar, conforme más intenso es el tratamiento, más aumenta el pH de las muestras, por lo que, en las condiciones ensayadas, la aplicación de PEF en chufas rehidratadas supone un aumento del pH de la horchata elaborada, no siendo necesario aplicar más de 100 pulsos ni rehidratar más de 24 horas.

4.1.2 SÓLIDOS SOLUBLES

Los valores medios de sólidos solubles expresados como °Brix para cada una de las condiciones de tratamiento aplicadas se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores medios de °Brix en horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

MUESTRA	°Brix
BLANCO 1 (24 h)	3,5 ± 0,10 ^a
BLANCO 2 (24 h, US)	3,95 ± 0,05 ^b
BLANCO 3 (48 h)	3,5 ± 0,10 ^a
T1 (24 h, 100 pulsos)	3,9 ± 0,10 ^b
T2 (48 h, 100 pulsos)	3,3 ± 0,06 ^a
T3 (24 h, 200 pulsos)	3,85 ± 0,05 ^b

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras con un nivel de confianza del 95%.

Tras el análisis estadístico (ANOVA), se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los niveles de °Brix entre los distintos tratamientos (Figura 13).

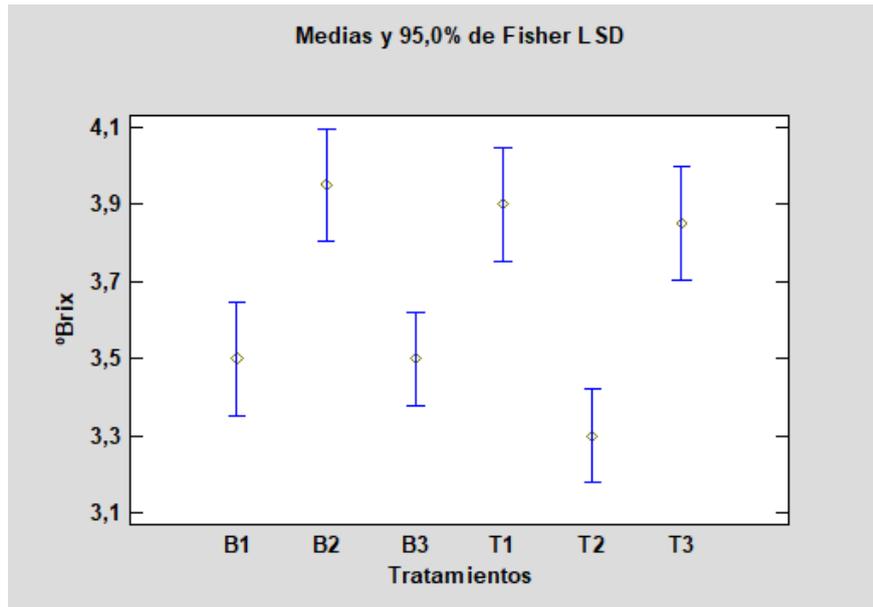


Figura 13. Gráfico de medias e intervalos LSD de °Brix para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

Valores superiores en el contenido en sólidos solubles indican que se ha producido una solubilización más intensa de los sólidos de la chufa al elaborar la horchata.

En primer lugar, se observa como el valor medio en el Blanco 1 es igual al Blanco 3; siendo estos valores menores al valor medio de °Brix del Blanco 2. Por lo tanto, la aplicación de US tiene una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre la cantidad de sólidos extraídos de la chufa en el momento de la elaboración de la horchata. Así pues, para extraer mayor cantidad de sólidos solubles, no interesaría aumentar el tiempo de rehidratación de la chufa y sí que puede convenir la aplicación de ultrasonidos.

Por otra parte, se ve un aumento de sólidos solubles entre el Blanco 1 y el Tratamiento 1, lo que indicaría que al aplicar PEF se aumenta la extracción de sólidos solubles. El Tratamiento 1 no difiere de los valores del Tratamiento 3, por lo que sí que hay un efecto del pretratamiento PEF sobre el parámetro de sólidos solubles, pero con 100 pulsos sería suficiente, no haría falta subir a 200 pulsos. Cuando el tiempo de rehidratación es de 48 h no se obtienen diferencias significativas en el contenido en sólidos solubles al aplicar PEF (Blanco 3 vs Tratamiento 2). Por otro lado, no se observan diferencias significativas entre el Blanco 2 y los Tratamientos 1 y 3. Esto indicaría que la aplicación de ultrasonidos y de PEF tiene un efecto similar en cuanto a la extracción de sólidos solubles.

Como conclusión, los resultados indican que la aplicación de PEF a las chufas supone un aumento de los sólidos solubles de la muestra, no siendo necesario ni rehidratar durante más de 24 horas la chufa, ni aplicar más de 100 pulsos durante el pretratamiento.

4.1.3 COLOR

Los resultados de la Tabla 10 muestran los valores medios del sistema de coordenadas CIEL*a*b* obtenidos para cada una de las condiciones ensayadas. Estos valores se utilizaron para calcular los atributos de color y la diferencia de color (ΔE) entre cada condición de Tratamiento y el Blanco (horchata no tratada con PEF) respectivo. Estas muestras se comparan en la Tabla 11 mostrada más adelante.

Tabla 10. Coordenadas CIEL*a*b* de horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

MUESTRA	L* (Luminosidad)	a*	b*
BLANCO 1 (24 h)	76,77 ± 0,40 ^a	0,13 ± 0,03 ^a	17,45 ± 0,11 ^a
BLANCO 2 (24 h, US)	77,3 ± 0,06 ^b	0,32 ± 0,04 ^b	17,74 ± 0,03 ^b
BLANCO 3 (48 h)	77 ± 0,90 ^b	0,14 ± 0,03 ^a	17 ± 0,40 ^c
T1 (24 h, 100 pulsos)	77,32 ± 0,05 ^b	0,145 ± 0,04 ^a	16,7 ± 0,10 ^c
T2 (48 h, 100 pulsos)	77,2 ± 0,05 ^b	0,103 ± 0,015 ^a	16,7 ± 0,70 ^d
T3 (24 h, 200 pulsos)	76,82 ± 0,04 ^{ab}	0,15 ± 0,014 ^a	17,1 ± 0,80 ^e

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras con un nivel de confianza del 95%.

Por otro lado, si nos centramos en el parámetro de la luminosidad (L*, Figura 14), observamos como tanto la aplicación de US como el aumento del tiempo de rehidratación suponen un aumento de la luminosidad en los blancos. Sin embargo, al aplicar el pretratamiento PEF, si bien es cierto que el T1 aumenta respecto al B1, no hay diferencia con entre el B1 y el T3, ni entre el B3 y el T2.

Respecto al parámetro del valor de a* (Figura 15) y la tonalidad (hab*, Figura 17), se observa como en ambos casos la aplicación de PEF no supone ninguna variación en ellos, sin embargo, al aplicar US sí que supone un aumento del valor de a* y un descenso de la tonalidad.

Por último, observando las Figuras 16 (b*) y la Figura del cromograma de color (C*, Figura 18), podemos ver cómo hay una bajada respecto al blanco correspondiente de estos dos factores cuando se aplica el pretratamiento PEF, habiendo también una bajada entre el Blanco 1 y el Blanco 3, y un aumento de estos factores entre el Blanco 1 y el Blanco 2.

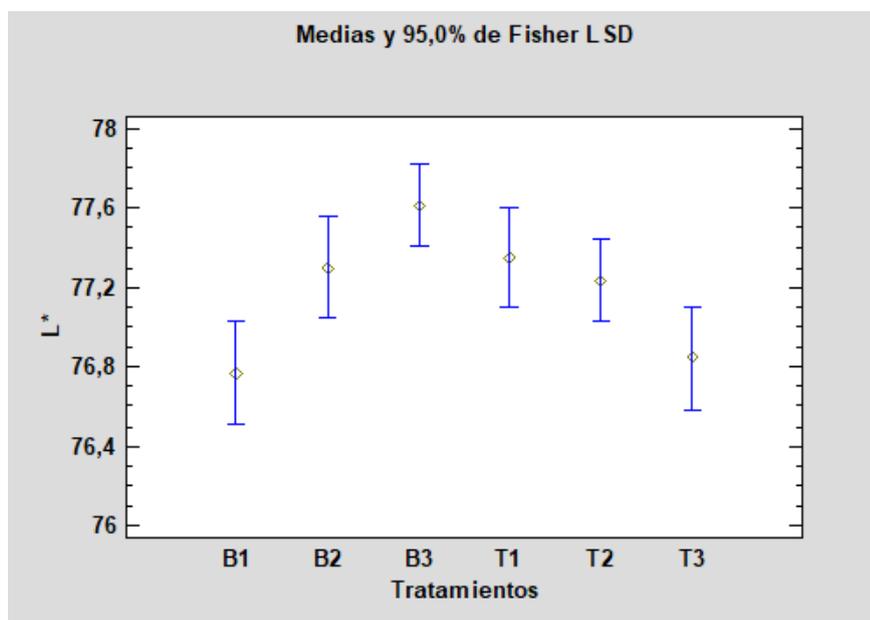


Figura 14. Gráfico de medias e intervalos LSD de L* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

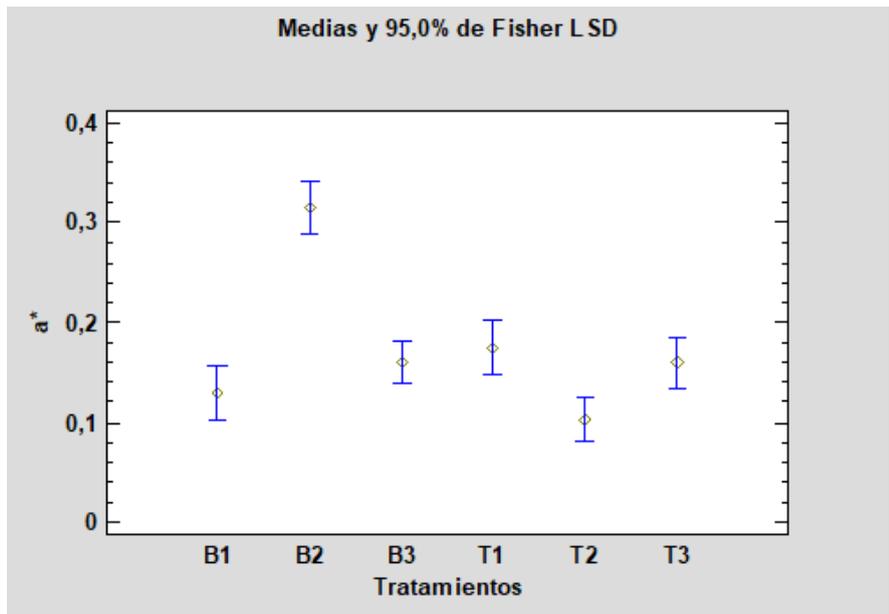


Figura 15. Gráfico de medias e intervalos LSD de a^* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

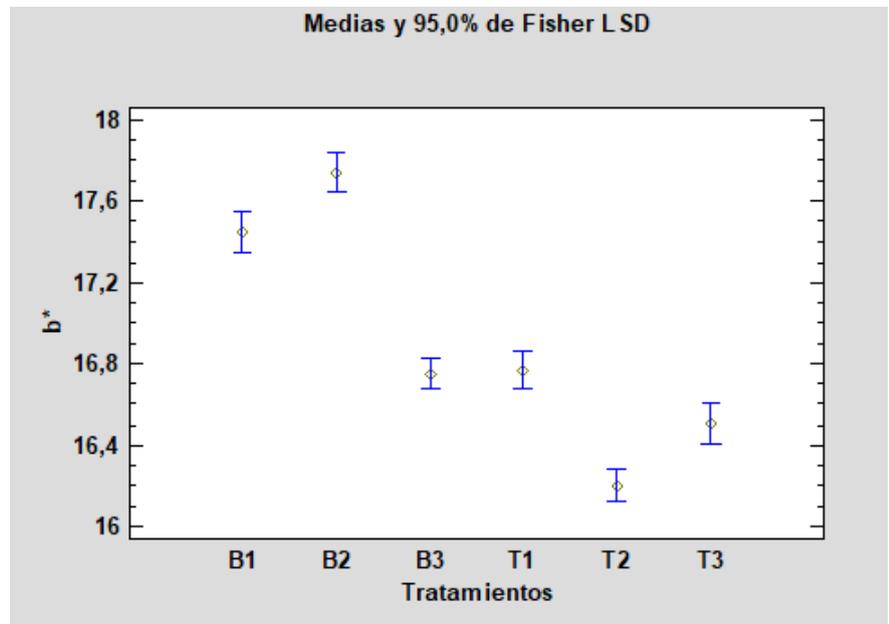


Figura 16. Gráfico de medias e intervalos LSD de b^* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

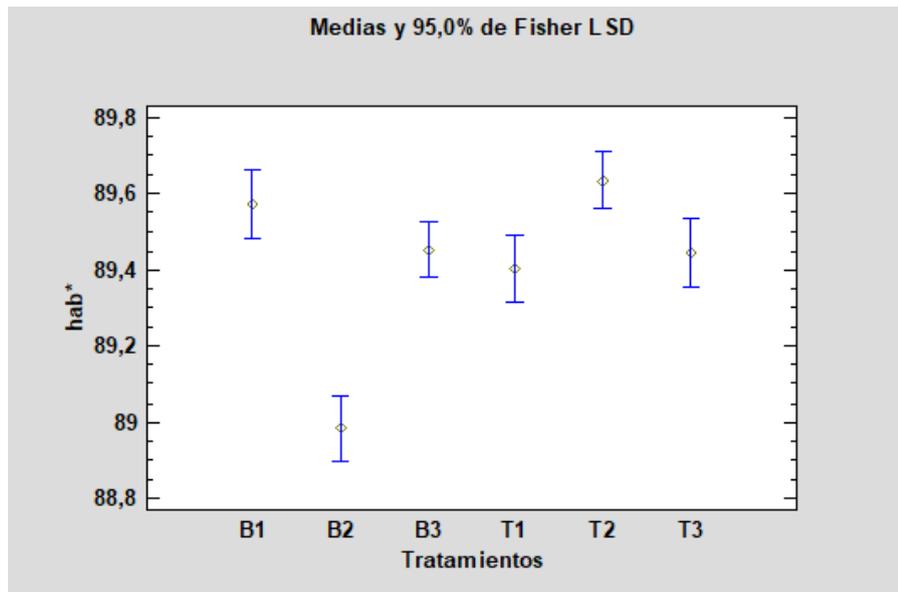


Figura 17. Gráfico de medias e intervalos LSD de hab* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

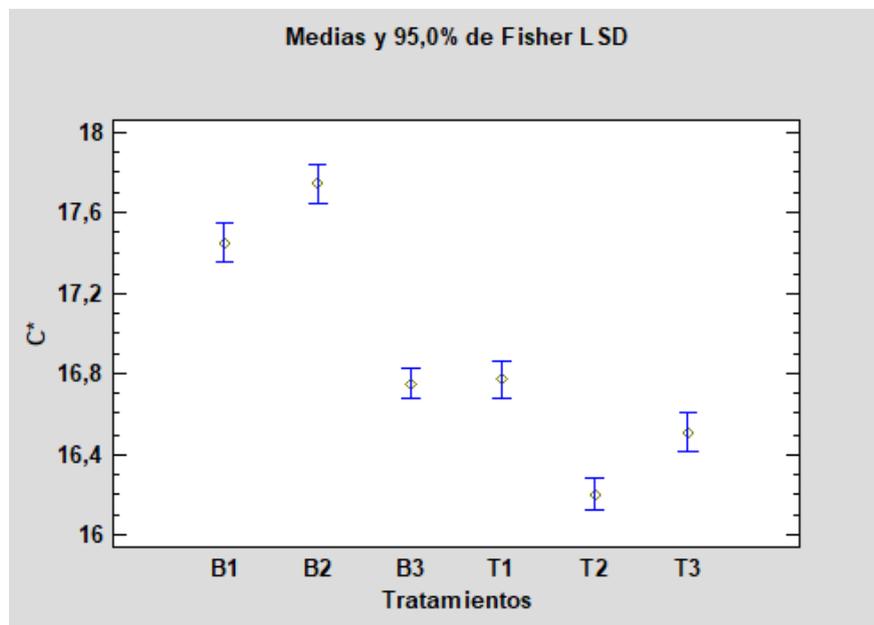


Figura 18. Gráfico de medias e intervalos LSD de C* para horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

Tabla 11. Atributos de color y diferencia de color de horchata tratada con diferente número de pulsos (PEF)

MUESTRA	hab* (Tonalidad)	C* (Pureza)	ΔE
BLANCO 1 (24 h)	89,57 \pm 0,10 ^a	17,45 \pm 0,11 ^a	-
BLANCO 2 (24 h, US)	88,98 \pm 0,11 ^b	17,74 \pm 0,03 ^b	-
BLANCO 3 (48 h)	89,45 \pm 0,09 ^a	16,75 \pm 0,13 ^c	-
T1 (24 h, 100 pulsos)	89,40 \pm 0,02 ^a	16,77 \pm 0,01 ^c	0,89
T2 (48 h, 100 pulsos)	89,63 \pm 0,05 ^a	16,20 \pm 0,03 ^d	0,58
T3 (24 h, 200 pulsos)	89,44 \pm 0,05 ^a	16,51 \pm 0,06 ^e	0,95

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras con un nivel de confianza del 95%.

Por tanto, los valores de diferencia de color (ΔE), cuando se compara la muestra tratada con PEF y la sin tratar, son inferiores a 1 unidad (Tabla 11), por lo que la variación de color no es detectable por el ojo humano, ya que no supera el umbral de 3 unidades. Por lo tanto, la aplicación de PEF en chufa no tiene influencia en el color de la horchata obtenida.

4.1.4 TEXTURA

Tal y como se ha indicado anteriormente, la textura se midió con el texturómetro en muestras sin ningún pretratamiento PEF y con el tratamiento correspondiente. En la Figura 19 se muestran un ejemplo de las curvas obtenidas en cada tratamiento. Las curvas obtenidas fueron similares, lo que indicaría que, en las condiciones ensayadas, debido a la elevada dureza de la chufa, el tratamiento con PEF no tuvo influencia en su textura.

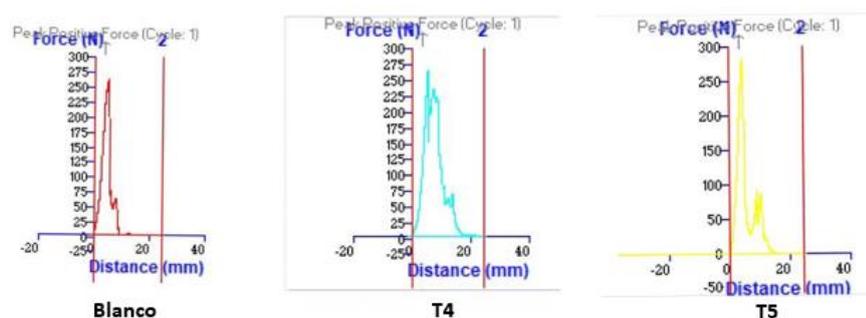


Figura 19. Gráfico de las curvas de la textura de la chufa.

En la Tabla 12 se muestran los valores obtenidos en el texturómetro en cuanto a la fuerza máxima y el área.

Tabla 12. Valores medios de parámetros texturales medidos en chufa tratada con diferente número de pulsos (PEF)

MUESTRA	Fuerza máxima (N)	Área (N.s)
BLANCO 4 (24 h, 30 s)	270 ± 13 ^a	906 ± 12 ^a
T4 (24 h, 100 pulsos)	258 ± 14 ^a	1219 ± 260 ^a
T5 (24 h, 200 pulsos)	287 ± 26 ^a	989 ± 24 ^a

Respecto a la fuerza máxima y al área (Tabla 12), se puede ver cómo no hay un efecto significativo ($p > 0,05$) del tratamiento PEF sobre la textura de la chufa. Esto puede ser debido, tal y como se ha dicho antes, a la elevada dureza de la misma.

4.1.5 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA HORCHATA POR CENTRIFUGACIÓN

Por otro lado, en la Tabla 13 se muestran los valores obtenidos en cuanto a la composición de la horchata (fase grasa, fase acuosa y fase de sólidos en suspensión) obtenida por centrifugación.

Tabla 13. Valores medios de distribución de las fases para 8.5 mL de horchata tras la centrifugación de muestras tratadas con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	Fase grasa (mL)	Fase acuosa (mL)	Fase de sólidos en suspensión (mL)
BLANCO 4 (24 h, 30 s)	0,6 ± 0,00 ^a	8,1 ± 0,00 ^a	0,4 ± 0,00 ^a
BLANCO 5 (24 h, 1 min)	0,8 ± 0,10 ^b	7,82 ± 0,19 ^{ab}	0,54 ± 0,04 ^b
BLANCO 6 (24 h, 1,5 min)	0,95 ± 0,05 ^{bc}	7,55 ± 0,15 ^b	0,5 ± 0,00 ^b
BLANCO 1 (24 h, 2 min)	0,95 ± 0,05 ^{bc}	7,7 ± 0,05 ^b	0,55 ± 0,00 ^{bc}
T4 (24 h, 100 pulsos, 30s)	0,8 ± 0,00 ^b	7,7 ± 0,10 ^b	0,6 ± 0,00 ^{bc}
T5 (24 h, 200 pulsos, 30s)	0,8 ± 0,00 ^b	7,93 ± 0,03 ^a	0,63 ± 0,03 ^c
T1 (24 h, 100 pulsos, 2 min)	1,05 ± 0,05 ^c	7,65 ± 0,10 ^b	0,65 ± 0,00 ^c
T3 (24 h, 200 pulsos, 2 min)	1,05 ± 0,05 ^c	7,7 ± 0,05 ^b	0,6 ± 0,05 ^{bc}

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras con un nivel de confianza del 95%.

En la figura 20, observamos las diferentes fases de la horchata tras haber sido centrifugada.



Figura 20. Figura ejemplo de composición de la horchata en el B6

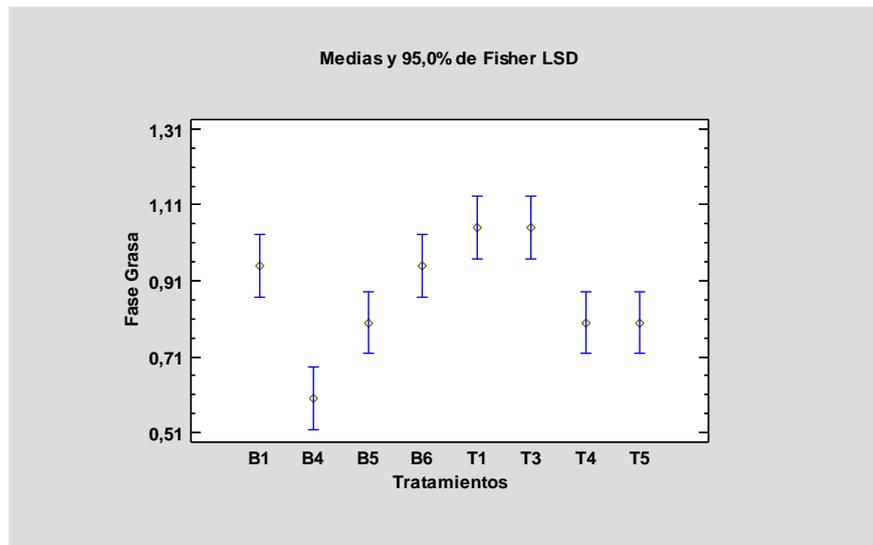


Figura 21. Gráfico de medias e intervalos LSD de la fase grasa para muestras de horchata tratadas con diferente número de pulsos (PEF) y diferente tiempo de triturado

Respecto al contenido de la fase grasa (Figura 21), se puede ver como la cantidad de grasa aumenta en las muestras que no están pretratadas con PEF conforme aumenta el tiempo de triturado para elaborar la horchata. El Blanco 4 presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) con el resto de los tratamientos. No obstante, el análisis estadístico indica que a partir de un tiempo de triturado de 1 min no se observan diferencias significativas en el contenido de grasa extraída para los diferentes tiempos de triturado.

Además, si se compara el Blanco 4 con el Tratamiento 4 y el Tratamiento 5, se puede ver cómo hay un aumento de la fase grasa debido al pretratamiento PEF, pero no hay diferencias al aplicar distintos números de pulsos.

Por otro lado, el Blanco 1 no presenta diferencias significativas ($p > 0,05$) con el Tratamiento 1 y el Tratamiento 3, lo que indicaría que al aumentar el tiempo de triturado la extracción de grasa no aumenta al aplicar PEF.

Estos resultados indicarían que, para tiempos cortos de triturado de la chufa el tratamiento con PEF implica una mayor extracción de grasa. Al triturar la chufa durante más tiempo se consigue extraer más grasa y en esos casos el efecto del PEF no es significativo.

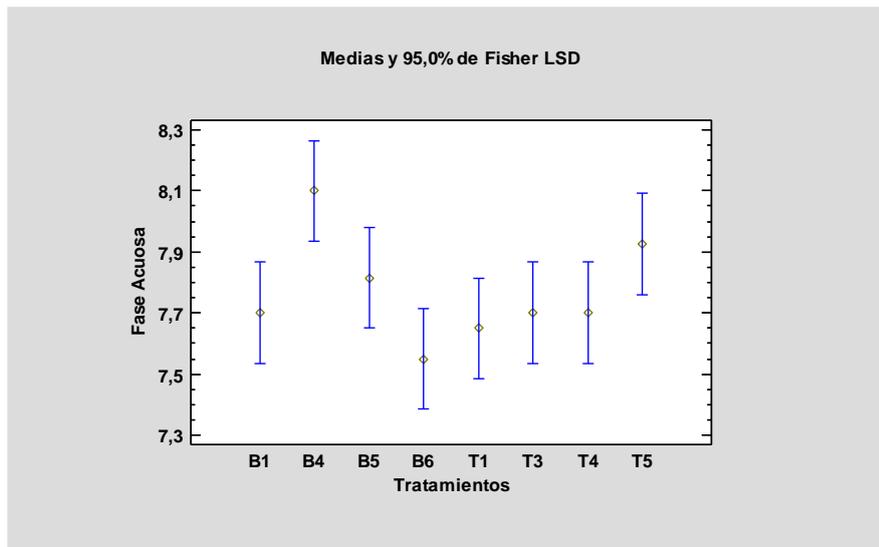


Figura 22. Gráfico de medias e intervalos LSD de la fase acuosa para muestras de horchata tratadas con diferente número de pulsos (PEF) y diferente tiempo de triturado

Si se pone el foco en la fase acuosa (Figura 22), se puede ver como disminuye generalmente en las muestras que no están pretratadas con PEF conforme aumenta el tiempo de triturado para elaborar la horchata. No obstante, el análisis estadístico indica que a partir de un tiempo de triturado de 1,5 min no se observan diferencias significativas en el contenido de la fase acuosa extraída para los diferentes tiempos de triturado. Sin embargo, en las muestras pretratadas con PEF no se observa ningún patrón específico.

Por otro lado, si se compara el Blanco 4 con el Tratamiento 4 y el Tratamiento 5, se puede ver cómo hay una disminución de la fase acuosa debido al pretratamiento PEF, pero no hay diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos números de pulsos, ni entre el Tratamiento 5 y el Blanco 4.

Del mismo modo, el Blanco 1 no presenta diferencias significativas ($p > 0,05$) con el Tratamiento 1 y el Tratamiento 3, manteniéndose la cantidad de fase acuosa con el uso del PEF, no notándose cambios con el número de pulsos tampoco.

Así pues, se observa un efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo de triturado, viéndose una disminución de la fase acuosa conforme aumenta el tiempo de triturado, ya que, tal y como se ha visto antes, el contenido graso aumenta. También se ve que no hay influencia del tratamiento PEF.

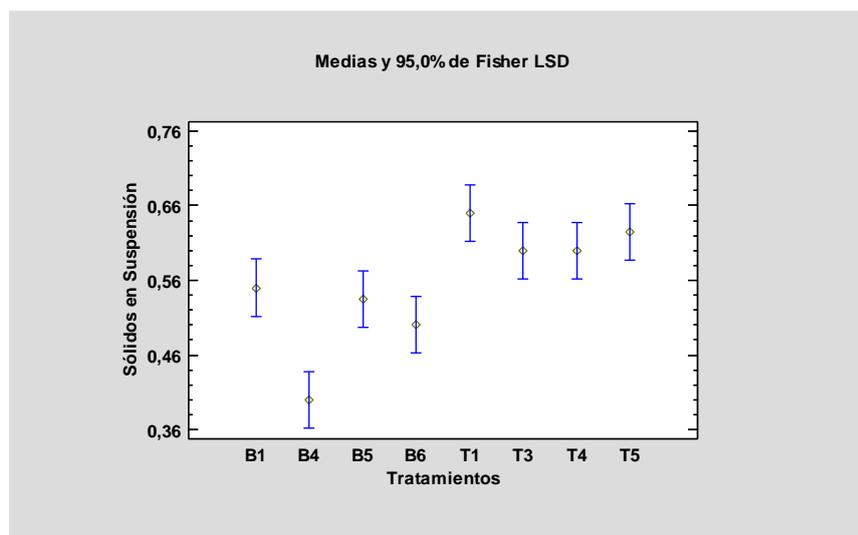


Figura 23. Gráfico de medias e intervalos LSD de la fase de sólidos en suspensión para muestras de horchata tratadas con diferente número de pulsos (PEF) y diferente tiempo de triturado

Respecto a los sólidos en suspensión (Figura 23), se puede ver como el Blanco 4 presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) con el resto de los tratamientos. Con respecto a los blancos a partir de un tiempo de triturado de 1 min no se observan diferencias significativas en el contenido de sólidos en suspensión. Si se compara el Blanco 4 con el Tratamiento 4 y el Tratamiento 5, se observa un aumento en los sólidos en suspensión debido al pretratamiento PEF, no habiendo diferencias significativas entre un distinto número de pulsos.

Sin embargo, el Blanco 1 no presenta diferencias significativas con el Tratamiento 3 y sí las presenta con el Tratamiento 1. Esto indica que en el caso de mayores tiempos de triturado se produce mayor extracción de sólidos en suspensión y en esas condiciones el tratamiento con PEF no parece tener un efecto claro. Al comparar los diferentes tratamientos aplicados, no se observan diferencias significativas entre ellos lo que indica que el número de pulsos aplicados no influye en la extracción de sólidos en suspensión.

4.2 UVA

Tanto en la uva (apartado 4.2) como en la mandarina (apartado 4.3), el efecto de los diferentes tratamientos (Tabla 7) empleados sobre estas frutas para los parámetros establecidos en el apartado 3.3.2 se analizó mediante: un ANOVA simple para ver el efecto del tratamiento PEF, comparado con el Blanco; y, por otro lado, mediante una ANOVA multifactorial, para estudiar el efecto de los factores de la intensidad de campo y el número de pulsos en los tratamientos de PEF.

4.2.1 pH

En la Tabla 14 se muestran los resultados de los valores medios de pH para los diferentes tratamientos realizados sobre la uva para la obtención de zumo.

Tabla 14. Valores medios de pH en zumo obtenido de uva tratada con PEF a diferente intensidad y número de pulsos

MUESTRA	pH
BLANCO	3,94 ± 0,06 ^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	3,941 ± 0,003 ^a
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	3,83 ± 0,05 ^b
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	4,066 ± 0,015 ^c
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	3,87 ± 0,03 ^{ab}
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	3,852 ± 0,010 ^{ab}
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	3,95 ± 0,03 ^a
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	4 ± 0,017 ^{ac}
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	4,11 ± 0,05 ^c
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	4,08 ± 0,04 ^c

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

En la tabla 14 se observa que hay diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre el blanco y los tratamientos 2, 3, 7, 8 y 9. Por tanto se observa que, en general, la aplicación de PEF produce un ligero aumento del pH respecto al blanco, aunque las diferencias no son muy marcadas y solo se observan en algunos tratamientos.

Para determinar el efecto que han tenido los factores del PEF (número de pulsos e intensidad de campo) sobre los tratamientos, se realizó un ANOVA multifactorial, siendo en este caso el pH la variable dependiente, y el número de pulsos y la intensidad de campo los factores.

Tras realizar el ANOVA multifactorial, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los niveles de pH tanto para el factor de número de pulsos (Figura 24), como el factor de intensidad de campo entre los distintos tratamientos (Figura 25).

Además, puede observarse en el gráfico de medias e intervalos LSD (Fig. 24) las diferencias significativas entre los diferentes números de pulsos (100, 70 y 40). Se puede ver cómo, con 40 pulsos, sí que hay un pH estadísticamente ($p < 0,05$) mayor con respecto a 70 y 100 pulsos.

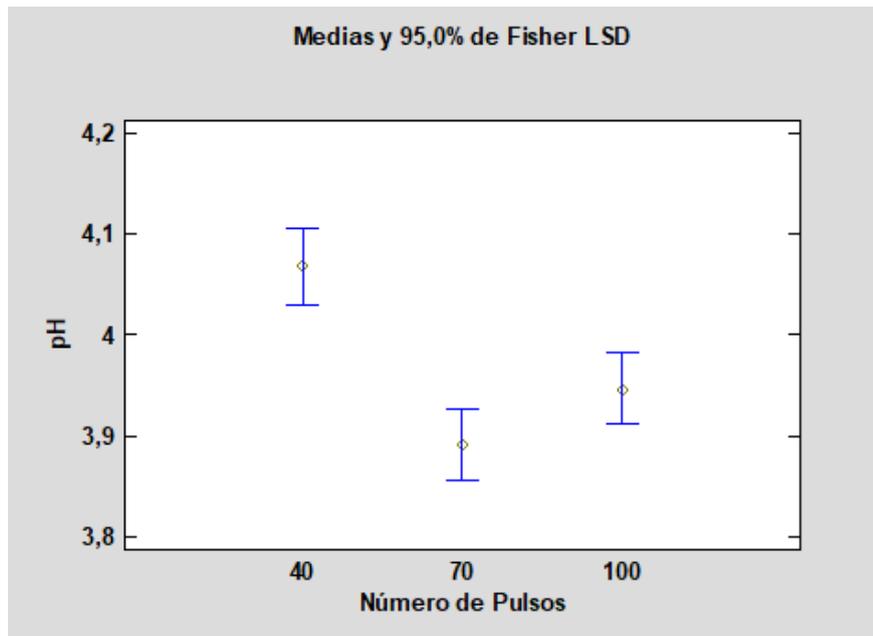


Figura 24. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para zumo de uva en función del número de pulsos (PEF)

Respecto al factor de intensidad de campo, pueden observarse en el gráfico de medias e intervalos LSD (Fig. 25) las diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las diferentes intensidades de campo (1,25, 0,875 y 0,5 kV/cm). Se puede ver como con 0,5 kV/cm sí que hay una pH estadísticamente ($p < 0,05$) superior al encontrado en los tratamientos con 0,875 y 1,25 kV/cm. Por otro lado, los tratamientos con 0,875 y 1,25 kV/cm no presentan diferencias significativas entre ellos ($p > 0,05$).

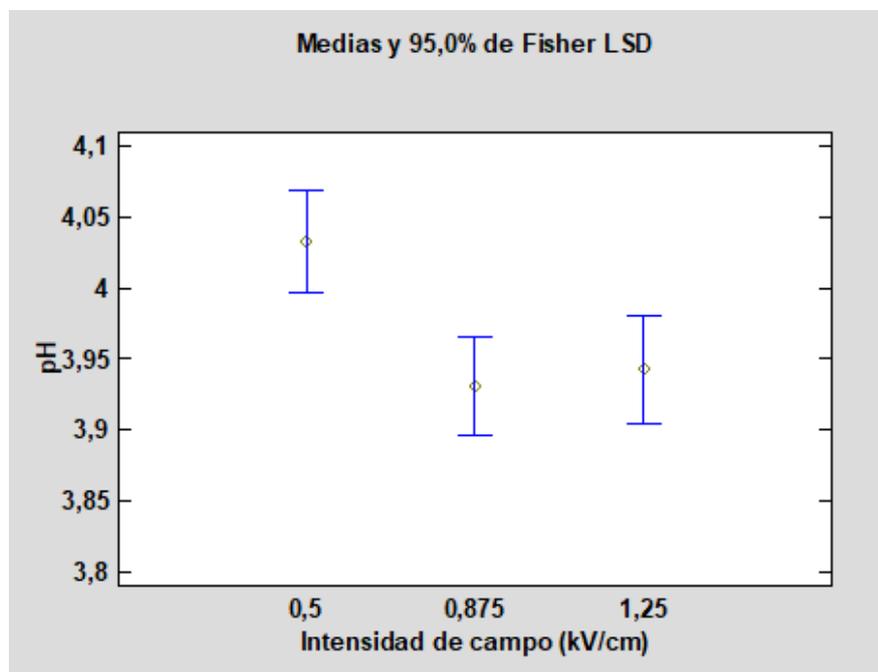


Figura 25. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para zumo de uva en función de la intensidad de campo (PEF)

Así pues, se puede concluir que, a mayor número de pulsos y mayor intensidad de campo, menor pH va a tener la muestra, no habiendo diferencias a partir de 0,875 kV/cm o 70 pulsos.

4.2.2 SÓLIDOS SOLUBLES

En la Tabla 15 se muestran los resultados de los valores medios de sólidos solubles para los zumos obtenidos a partir de uva sometida a diferentes tratamientos.

Tabla 15. Valores medios de °Brix en zumo de uva tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	°Brix
BLANCO	15,4 ± 0,50 ^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	17,6 ± 0,50 ^b
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	13,9 ± 0,50 ^c
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	17,37 ± 0,17 ^b
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	15,1 ± 0,60 ^a
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	15,59 ± 0,18 ^a
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	14,9 ± 0,30 ^{ac}
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	16 ± 0,30 ^a
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	17,1 ± 0,20 ^b
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	16,54 ± 0,16 ^{ab}

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

En la Tabla 15 se observa que sí que hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en los niveles de °Brix entre el blanco y los Tratamientos T1, T2, T3, T8 y T9. En general, se observa que la aplicación de PEF produce un ligero aumento del contenido en sólidos solubles, respecto a las muestras no tratadas, aunque las diferencias no son muy marcadas y solo se observan en algunos tratamientos.

Además, tras la realización del ANOVA multifactorial, no fue posible identificar diferencias significativas ($p > 0,05$) en los niveles de °Brix para el factor de intensidad de campo (Figura 26).

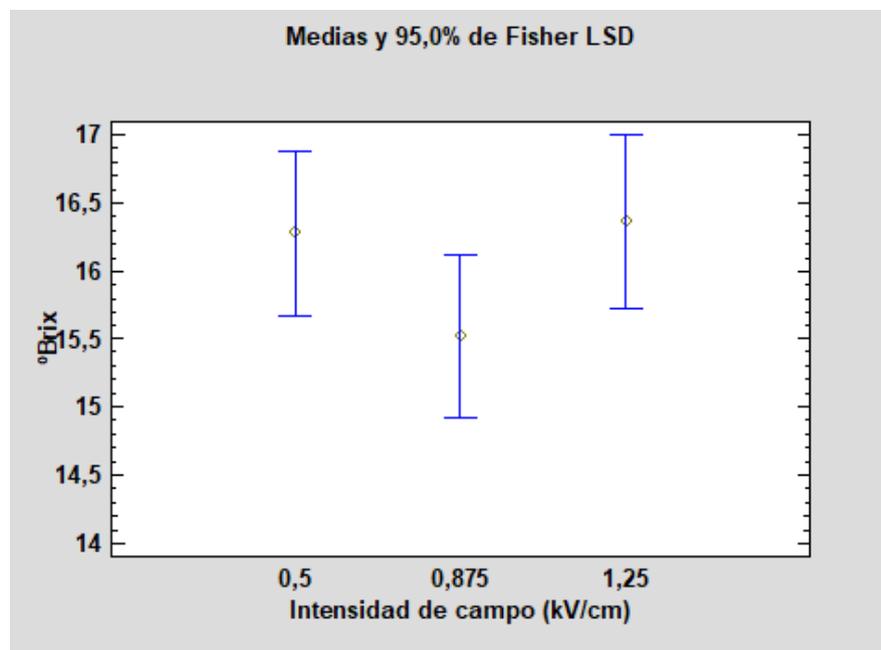


Figura 26. Gráfico de medias e intervalos LSD de sólidos solubles para zumo de uva en función de la intensidad de campo (PEF)

Sin embargo, sí que hay efecto significativo en función del número de pulsos, puesto que, tal y como se observa en la Figura 27, con un número de pulsos de 70 se obtienen valores menores de sólidos solubles que con 40 pulsos. No obstante, al aumentar el número de pulsos a 100 no hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) respecto al uso de 40 y 70 pulsos.

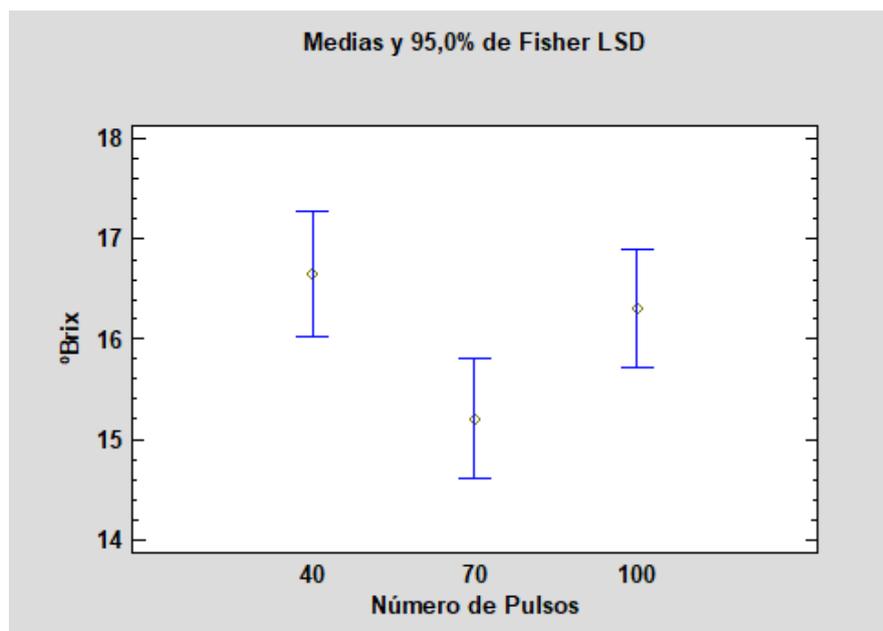


Figura 27. Gráfico de medias e intervalos LSD de sólidos solubles para zumo de uva en función del número de pulsos (PEF)

Así pues, los resultados obtenidos indican que no hay un efecto claro del tratamiento con PEF sobre la cantidad de sólidos solubles en el zumo de uva extraído.

4.2.3 TURBIDEZ

En la Tabla 16 se muestran los resultados de los valores medios de turbidez para los diferentes tratamientos realizados sobre la uva para la obtención de zumo.

Tabla 16. Valores medios de turbidez en zumo de uva tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	Turbidez (NTU)
BLANCO	798 ± 0 ^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	797 ± 0 ^b
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	797 ± 0 ^b
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	797 ± 0 ^b
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	797 ± 0 ^b
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	797 ± 0 ^b
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	797 ± 0 ^b
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	797 ± 0 ^b
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	798 ± 0 ^a
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	798 ± 0 ^a

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

Tras examinar la Tabla 16 para analizar las diferencias entre el blanco y las muestras tratadas con PEF, se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre el blanco y los T8 y T9. Por otro lado, se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) con el resto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7), disminuyendo la turbidez con el tratamiento de PEF. En general, la aplicación de PEF produce una ligera disminución de la turbidez respecto al blanco, aunque las diferencias son mínimas y solo se observan en algunos tratamientos.

Por otro lado, según el ANOVA multifactorial, tanto en el factor de número de pulsos (Figura 28) como en el factor de intensidad de campo (Figura 29) se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos tratamientos. Se puede ver como con 40 pulsos sí que hay una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) con respecto a 70 y 100 pulsos, es decir, que con los tratamientos de uva con 40 pulsos se obtienen valores de turbidez del zumo superiores a los obtenidos al tratar la uva con 70 y 100 pulsos.

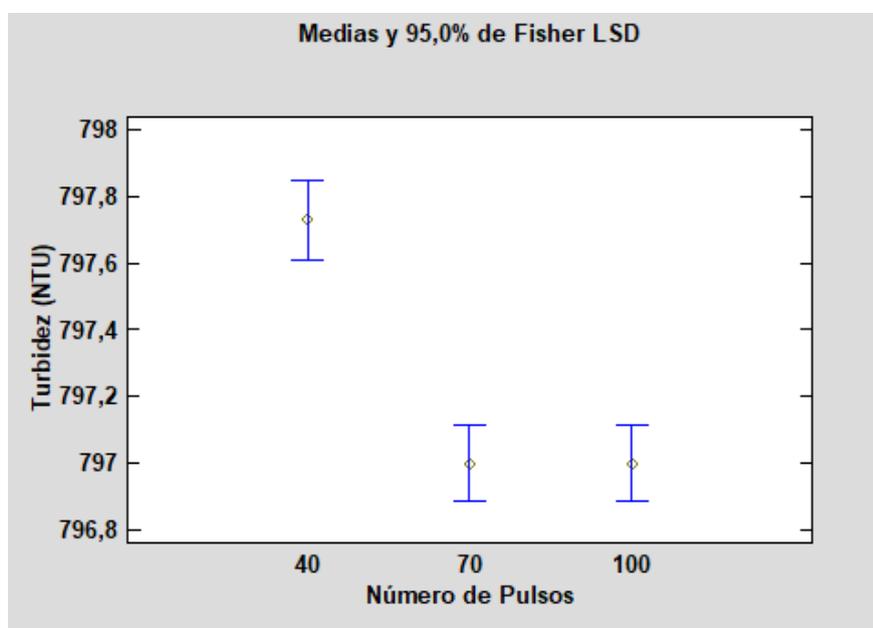


Figura 28. Gráfico de medias e intervalos LSD de turbidez para zumo de uva en función del número de pulsos (PEF)

Respecto al factor de intensidad de campo, se puede ver como con 1,25 kV/cm sí que hay una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) con respecto a 0,5 y 0,875 kV/cm, obteniéndose una mayor turbidez en los zumos obtenidos a partir de uva tratada a 0,5 y 0,875 kV/cm. Los tratamientos con 0,5 y 0,875 kV/cm no presentan diferencias significativas entre ellos ($p > 0,05$).

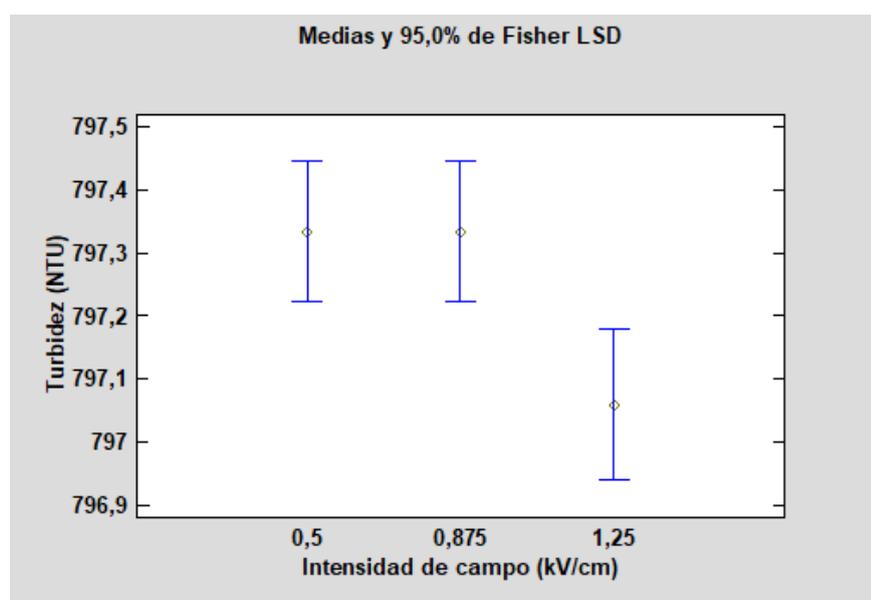


Figura 29. Gráfico de medias e intervalos LSD de turbidez para zumo de uva en función de la intensidad de campo (PEF)

Así pues, se puede concluir que, a mayor número de pulsos, o mayor intensidad de campo, menor turbidez va a tener la muestra, no habiendo diferencias a partir de 1,25 kV/cm o 70 pulsos.

4.2.4 RENDIMIENTO

En la Tabla 17 se muestran los resultados de los valores medios de rendimiento para los diferentes tratamientos de zumo de uva.

Tabla 17. Valores medios de rendimiento en zumo de uva tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	Rendimiento (%)
BLANCO	19 ± 3 ^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	36 ± 3 ^b
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	44 ± 3 ^{bc}
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	41 ± 5 ^{bc}
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	47 ± 3 ^c
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	44 ± 3 ^{bc}
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	33 ± 5 ^b
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	37 ± 4 ^{bc}
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	28 ± 3 ^{ab}
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	33 ± 5 ^b

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

Tras obtener los resultados individuales de cada muestra, se compara el blanco con las muestras tratadas con PEF, para ver el efecto que ha tenido. Observando la Tabla 17, se puede ver que hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre el blanco y el resto de los tratamientos, a excepción del Tratamiento 8. Es decir, que el tratamiento del blanco es diferente al del resto de tratamientos excepto el 8.

Los resultados muestran que el pretratamiento con PEF mejora notablemente el rendimiento en comparación con la muestra no tratada.

Si se evalúa cómo afectan los factores del PEF (número de pulsos e intensidad del campo) en los tratamientos (Figura 30), se identifica que sí que hay diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los diferentes números de pulsos (100, 70 y 40, Figura 30). Se puede ver como con 40 pulsos se obtiene menor rendimiento que con 70 y 100 pulsos.

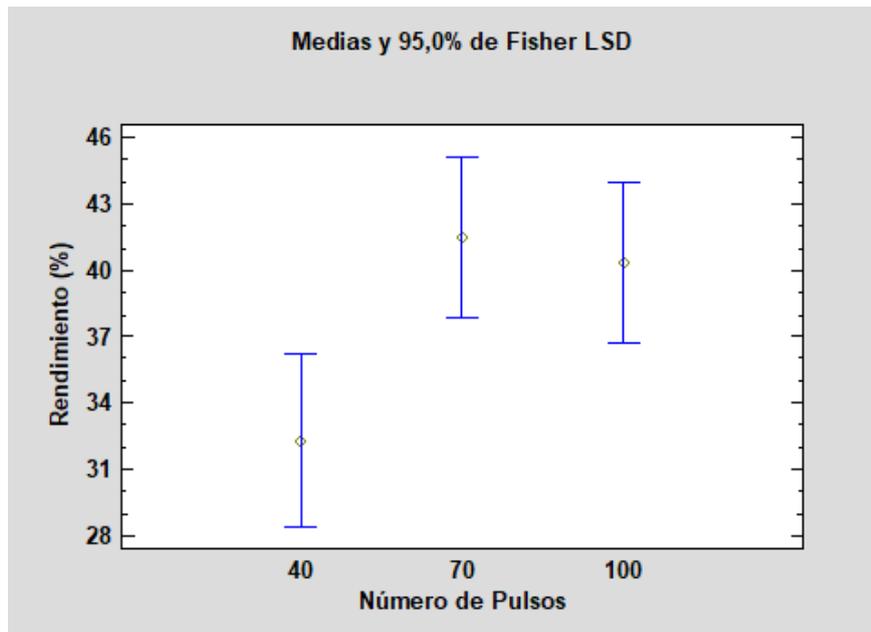


Figura 30. Gráfico de medias e intervalos LSD de rendimiento para zumo de uva en función del número de pulsos (PEF)

Por otro lado, no fue posible identificar diferencias significativas ($p > 0,05$) para el factor de intensidad de campo en los niveles de rendimiento entre los distintos tratamientos (Figura 31).

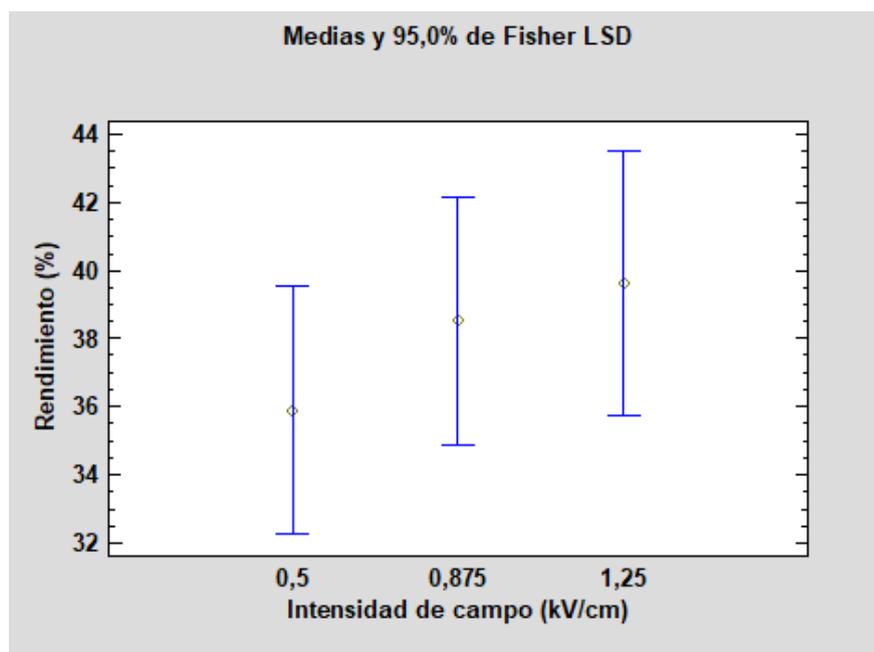


Figura 31. Gráfico de medias e intervalos LSD de rendimiento para zumo de uva en función de la intensidad de campo (PEF)

En conclusión, se puede decir que hay un efecto del tratamiento con PEF respecto al blanco, provocando una mejora del rendimiento. Por otro lado, no hay ningún efecto de la intensidad de campo sobre el rendimiento del zumo de uva, aunque sí que hay un efecto del número de pulsos, concluyéndose que, a mayor número de pulsos, mayor es el rendimiento de la muestra, no habiendo mejora a partir de 70 pulsos.

4.3 MANDARINA

4.3.1 PH

En la Tabla 18 se muestran los resultados de los valores medios de pH para los diferentes tratamientos realizados sobre la mandarina antes de la obtención de zumo.

Tabla 18. Valores medios de pH en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	pH
BLANCO	4,348 ± 0,016 ^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	4,15 ± 0,03 ^b
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	4,211 ± 0,016 ^b
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	4,68 ± 0,06 ^c
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	4,39 ± 0,04 ^a
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	4,41 ± 0,05 ^a
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	4,27 ± 0,03 ^a
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	4,186 ± 0,017 ^b
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	4,26 ± 0,03 ^{ab}
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	4,315 ± 0,005 ^a

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

En la Tabla 18 se observa que no hay diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre el blanco, en cuanto a pH, y los T4, T5, T6 y T9. Entre el blanco, y los T1, T2, T3 y T7 sí que hay diferencias significativas ($p < 0,05$), lo que indica que el pH medio del zumo obtenido a partir de mandarina sin tratar es ligeramente más alto que el de los tratamientos anteriormente citados. El T8, sin embargo, no posee diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) ni con el blanco ni con el T1. En general se observa que la aplicación de PEF produce una ligera disminución del pH respecto al blanco, aunque las diferencias no son muy marcadas y solo se observan en algunos tratamientos.

Para ver el efecto que tienen los factores del PEF (número de pulsos e intensidad de campo) sobre el pH del zumo, se realizó un ANOVA multifactorial. No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de pH considerando el factor de número de pulsos (Figura 32). Sin embargo, si se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) para el factor de intensidad de campo (Figura 33) obteniéndose un menor pH a medida que aumenta la intensidad de campo.

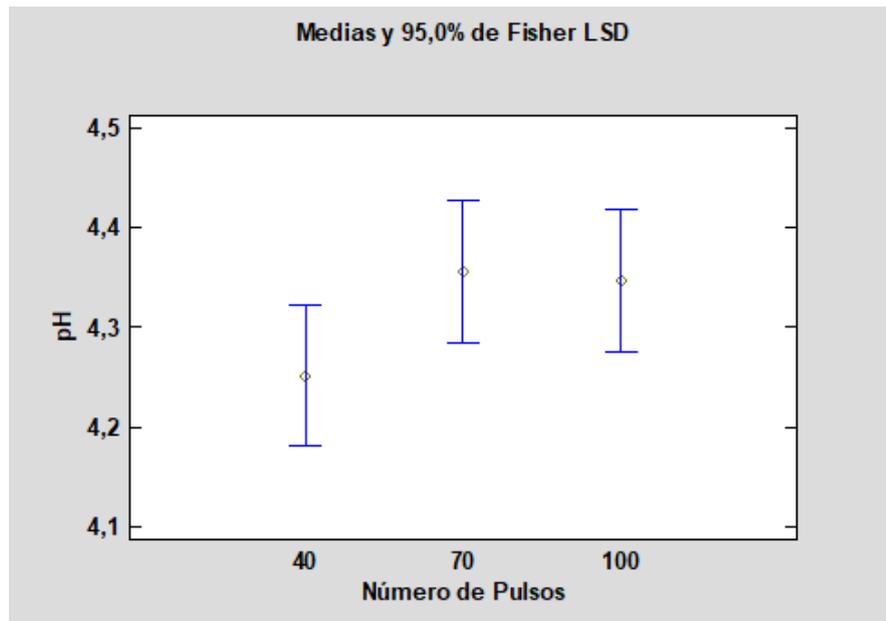


Figura 32. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF)

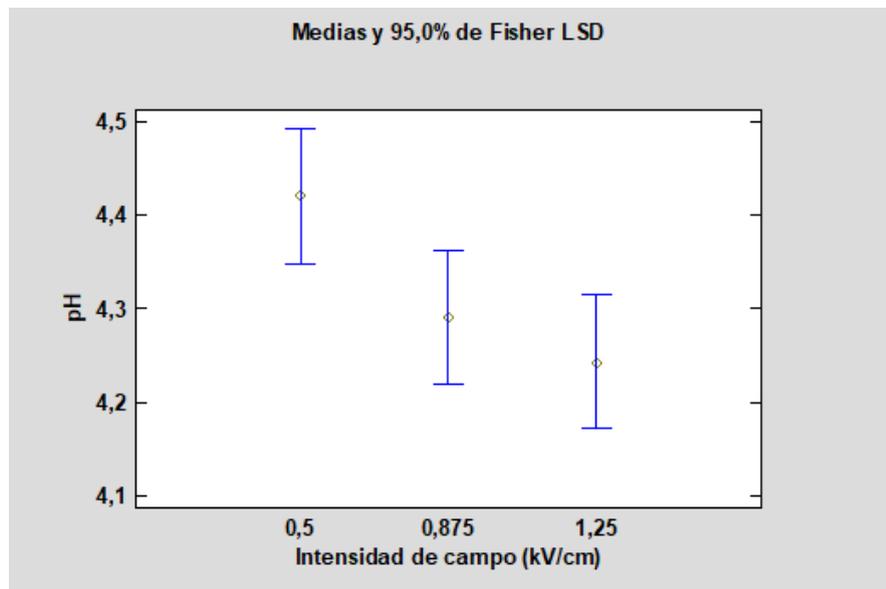


Figura 33. Gráfico de medias e intervalos LSD de pH para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)

En conclusión, se puede decir que no hay un efecto claro del tratamiento con PEF sobre el pH en el zumo de mandarina extraído.

4.3.2 SÓLIDOS SOLUBLES

En la Tabla 19 se muestran los resultados de los valores medios de sólidos solubles para los diferentes tratamientos realizados sobre la mandarina para la obtención de zumo.

Tabla 19. Valores medios de °Brix en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	°Brix
BLANCO	13 ± 0,00 ^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	14,2 ± 0,20 ^b
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	14,2 ± 0,06 ^b
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	13,47 ± 0,03 ^a
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	13,5 ± 0,30 ^a
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	14,2 ± 0,20 ^b
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	15,1 ± 0,40 ^c
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	14,1 ± 0,20 ^b
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	14,21 ± 0,19 ^b
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	14,42 ± 0,09 ^b

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

Tras evaluar la Tabla 19 para analizar las diferencias entre las muestras de mandarina no tratadas y las tratadas con PEF, se observa que el contenido en sólidos solubles del zumo obtenido a partir de mandarina sin tratar presenta diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) con el del obtenido a partir de mandarina tratada según T1, T2, T5, T6, T7, T8 y T9, obteniéndose valores superiores en las muestras tratadas. Entre las muestras tratadas se observa que el valor más alto se corresponde al T6, el cual presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) con el resto de los tratamientos. En otras palabras, se observa que la aplicación de PEF aumenta la cantidad de sólidos solubles en comparación con el blanco.

Por otro lado, según los resultados del ANOVA multifactorial, no fue posible identificar diferencias significativas ($p > 0,05$) en los niveles de °Brix ni para el factor de número de pulsos (Figura 34), ni para el factor intensidad de campo (Figura 35).

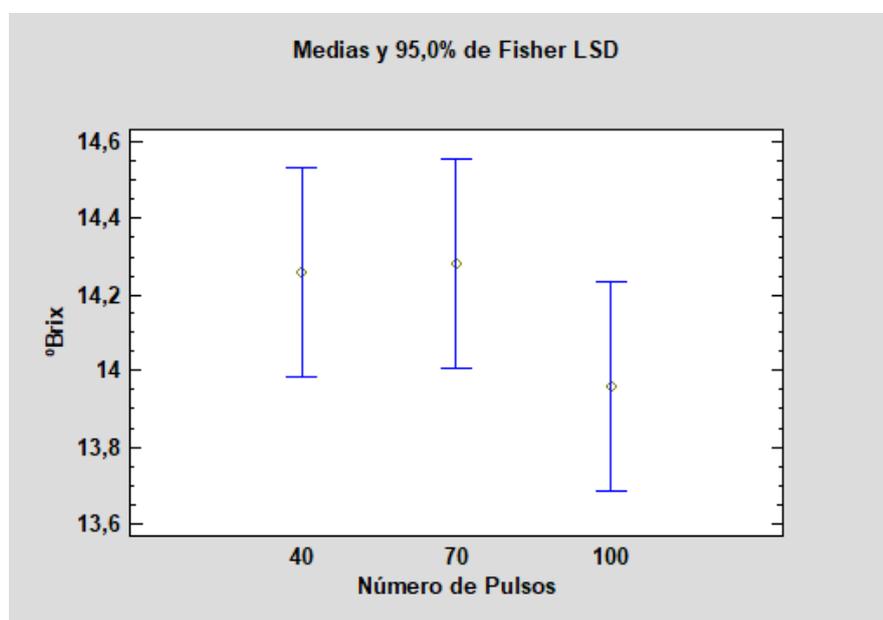


Figura 34. Gráfico de medias e intervalos LSD de sólidos solubles para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF)

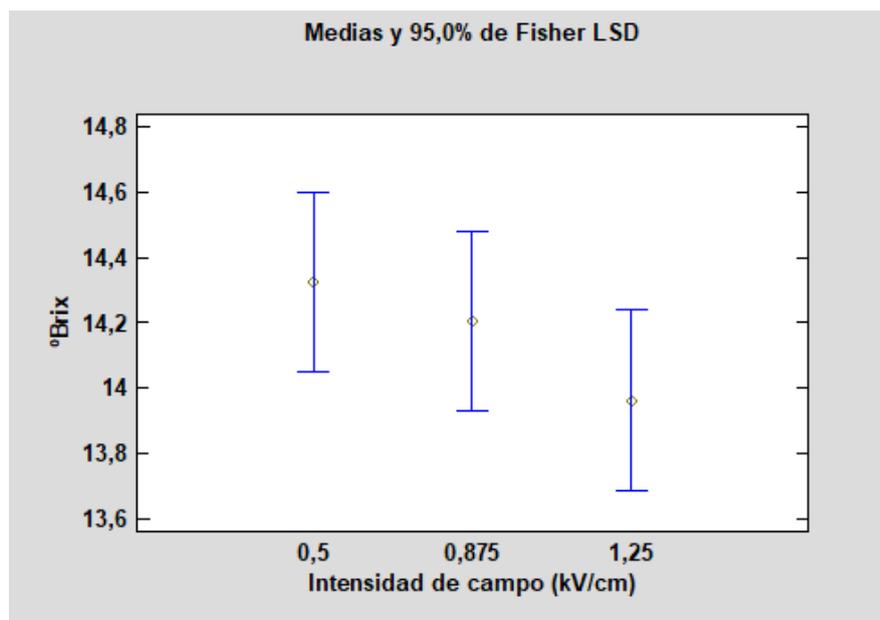


Figura 35. Gráfico de medias e intervalos LSD de sólidos solubles para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)

Por lo tanto, se puede decir que, aunque los resultados indican que a partir de muestras tratadas se obtienen valores superiores en el contenido en sólidos solubles, no se observa ningún efecto de los factores de dichos tratamientos (número de pulsos e intensidad de campo), lo que refleja que el tratamiento menos intenso (0,5kV/cm y 40 pulsos) ya produce un nivel de electroporación suficiente y que no es mejorado por tratamientos de PEF más intensos.

4.3.3 CONDUCTIVIDAD

En la Tabla 20 se muestran los resultados de los valores medios de conductividad para los diferentes tratamientos realizados sobre la mandarina para la obtención de zumo.

Tabla 20. Valores medios de conductividad en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
BLANCO	3602 ± 127^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	3159 ± 92^b
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	3155 ± 15^b
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	3156 ± 72^b
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	3182 ± 11^b
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	3088 ± 3^b
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	3136 ± 43^b
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	3153 ± 104^b
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	3149 ± 46^b
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	3353 ± 20^c

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

En la Tabla 20 se observa que la conductividad media del blanco es significativamente ($p < 0,05$) superior a la de los tratamientos con PEF. Además, la conductividad del zumo obtenido con mandarina tratada con el T9 es significativamente superior a la del resto de tratamientos. Por lo tanto, puede decirse que el pretratamiento con PEF disminuye la conductividad en comparación con la muestra no tratada.

Además, tras el análisis estadístico (ANOVA multifactorial), no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de conductividad considerando ni en el factor número de pulsos (Figura 36), ni la intensidad de campo (Figura 37).

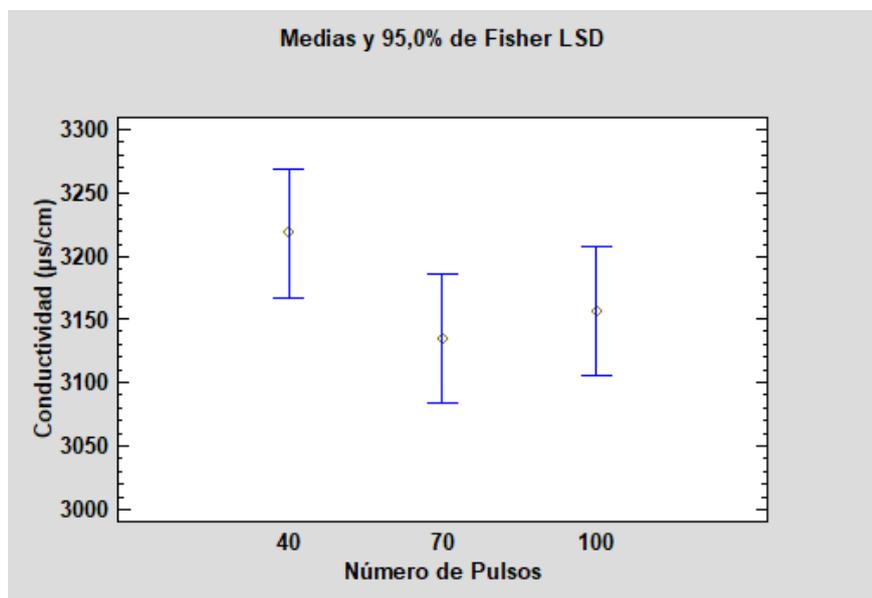


Figura 36. Gráfico de medias e intervalos LSD de conductividad para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF)

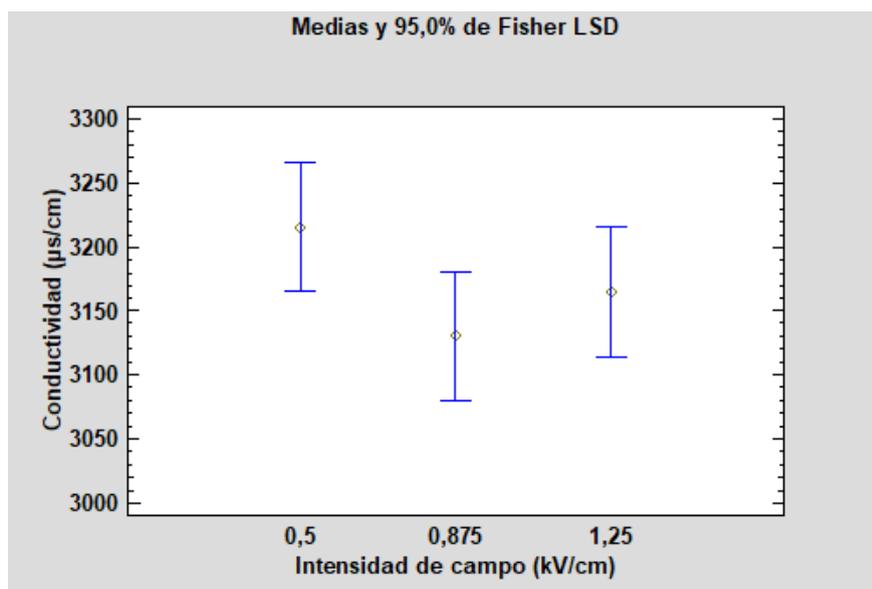


Figura 37. Gráfico de medias e intervalos LSD de conductividad para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)

En resumen, no hay ningún efecto de los factores de dichos tratamientos (número de pulsos e intensidad de campo), lo que refleja que el tratamiento menos intenso (0,5 kV/cm y 40 pulsos) ya produce un nivel de electroporación suficiente y que no es mejorado por tratamientos de PEF más intensos.

4.3.4 TURBIDEZ

En la Tabla 21 se muestran los resultados de los valores medios de turbidez para los diferentes tratamientos realizados sobre la mandarina para la obtención de zumo.

Tabla 21. Valores medios de turbidez en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	Turbidez (NTU)
BLANCO	796 ± 0 ^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	796 ± 0 ^a
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	797 ± 0 ^b
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	797 ± 0 ^b
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	797 ± 0 ^b
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	797 ± 0 ^b
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	796 ± 0 ^a
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	796 ± 0 ^a
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	797 ± 0 ^b
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	797 ± 0 ^b

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

En la Tabla 21 se observa que no hay diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) en la turbidez entre el blanco, y el T1, T6 y T7. Por otro lado, sí que hay diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre el blanco y los T2, T3, T4, T5, T8 y T9, es decir que la turbidez del zumo obtenido a partir de mandarina sin tratar es significativamente inferior a la de los tratamientos anteriormente citados. Por tanto, en general, la aplicación de PEF produce un ligero aumento de la turbidez respecto al blanco, aunque las diferencias son mínimas y solo se observan en algunos tratamientos.

No fue posible identificar diferencias significativas ($p > 0,05$) en la turbidez del zumo tras el ANOVA multifactorial respecto a ninguno de los factores de tratamiento considerados. Es decir, no hay ningún efecto ni del número de pulsos (Figura 38), ni de la intensidad de campo (Figura 39), sobre la turbidez del zumo de mandarina, y tampoco hay un efecto claro del tratamiento con PEF entre las muestras tratadas y las no tratadas. Esto puede ser debido a la variabilidad experimental que podría no hacer visibles los efectos.

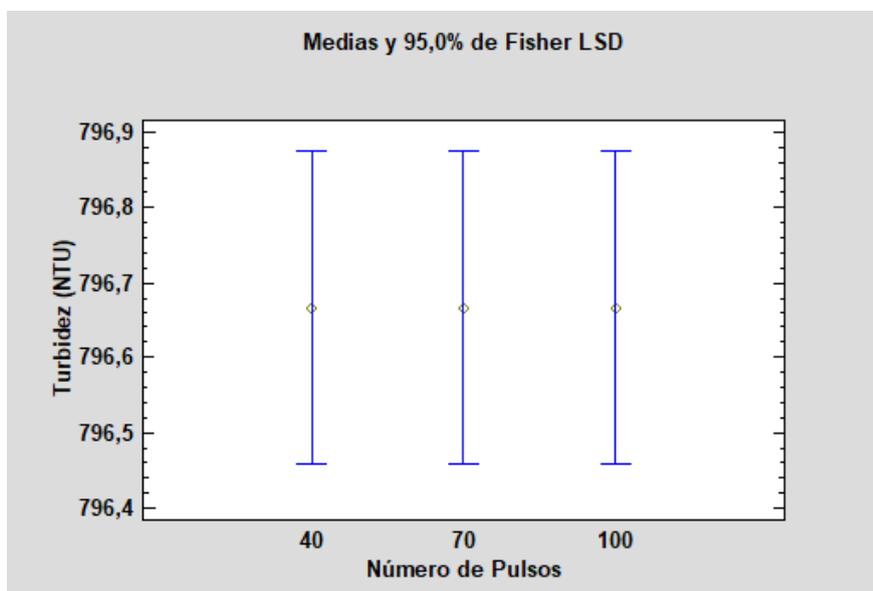


Figura 38. Gráfico de medias e intervalos LSD de turbidez para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF)

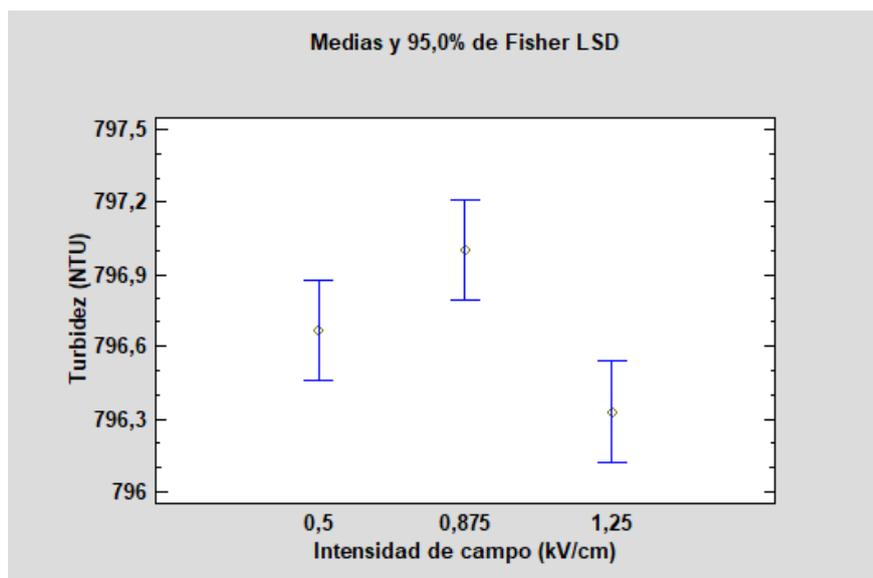


Figura 39. Gráfico de medias e intervalos LSD de turbidez para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)

4.3.5 RENDIMIENTO

En la Tabla 22 se muestran los resultados de los valores medios de rendimiento para los diferentes tratamientos realizados sobre la mandarina para la obtención de zumo.

Tabla 22. Valores medios de rendimiento en zumo de mandarina tratado con diferente intensidad y número de pulsos (PEF)

MUESTRA	Rendimiento (%)
BLANCO	42 ± 5,0 ^a
T1 (1,25 kV/cm, 100 pulsos)	51,6 ± 1,8 ^b
T2 (0,875 kV/cm, 100 pulsos)	54,4 ± 1,7 ^b
T3 (0,5 kV/cm, 100 pulsos)	54 ± 3,0 ^b
T4 (1,25 kV/cm, 70 pulsos)	55 ± 2,0 ^b
T5 (0,875 kV/cm, 70 pulsos)	51,2 ± 0,9 ^b
T6 (0,5 kV/cm, 70 pulsos)	43 ± 2,0 ^a
T7 (1,25 kV/cm, 40 pulsos)	50,5 ± 0,5 ^b
T8 (0,875 kV/cm, 40 pulsos)	53 ± 3,0 ^b
T9 (0,5 kV/cm, 40 pulsos)	52,34 ± 0,10 ^b

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre muestras, con un nivel de confianza del 95%

Los resultados de la Tabla 22 muestran que hay diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre el rendimiento medio obtenido en mandarina sin tratar respecto al obtenido a partir de mandarinas tratadas mediante T1, T2, T3, T4, T5, T7, T8 y T9. En este sentido, los valores de rendimiento de las muestras tratadas son superiores. Puede decirse que el pretratamiento con PEF mejora el rendimiento en comparación con las muestras no tratadas.

Tras el análisis estadístico (ANOVA multifactorial), no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de rendimiento de zumo considerando ninguno de factores del tratamiento. Así pues, se puede decir que no hay efecto ni del número de pulsos (Figura 40) ni de la intensidad de campo (Figura 41) sobre el rendimiento del zumo de mandarina, lo que indica que el tratamiento menos intenso (0,5 kV/cm y 40 pulsos) produce un nivel de electroporación suficiente para obtener el mejor rendimiento.

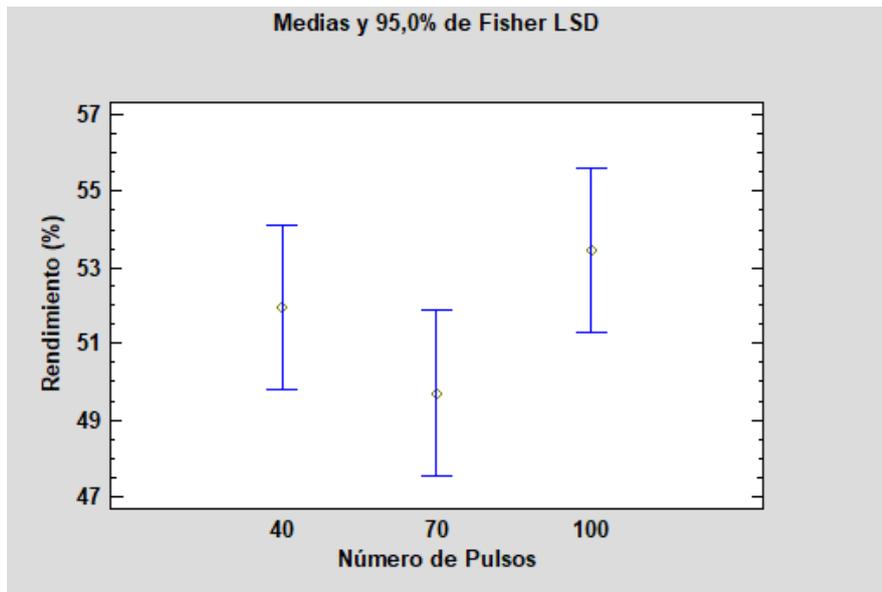


Figura 40. Gráfico de medias e intervalos LSD de rendimiento para zumo de mandarina en función del número de pulsos (PEF)

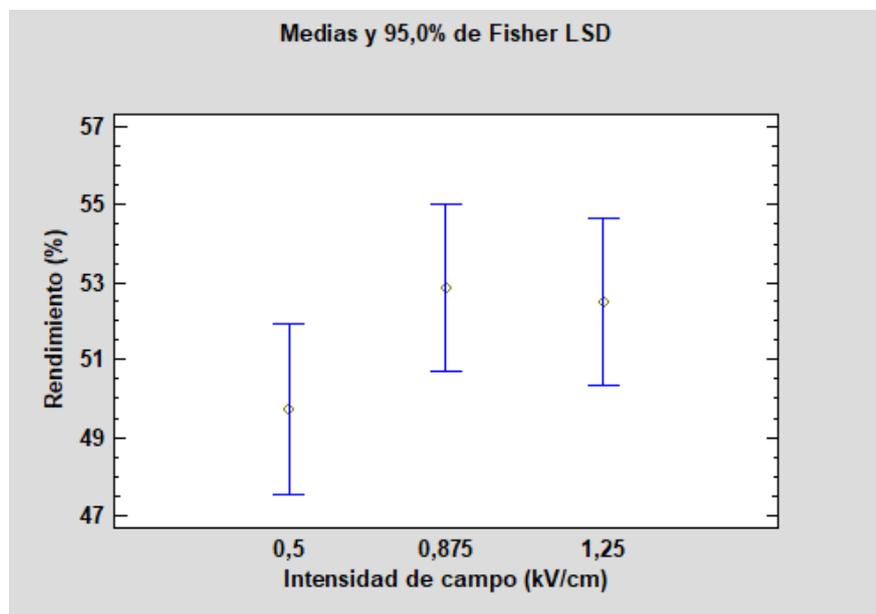


Figura 41. Gráfico de medias e intervalos LSD de rendimiento para zumo de mandarina en función de la intensidad de campo (PEF)

5. CONCLUSIONES

Se ha analizado el efecto del tratamiento con PEF sobre los procesos de extracción en tres matrices vegetales, un tejido duro (chufa), un tejido blando con semillas (uva) y un tejido blando sin semillas (mandarina), obteniéndose resultados distintos para cada uno de ellos.

Una vez establecidos los parámetros de tratamiento con PEF para cada una de las matrices, se determinaron el efecto de las condiciones del pretratamiento con PEF tanto en el rendimiento como en los parámetros físico-químicos de interés de cada uno de los extractos.

En el caso de la horchata obtenida, viendo los resultados tanto en color, como en pH, sólidos solubles, textura y la composición de la horchata, es interesante aplicar un pretratamiento PEF para obtener los mejores resultados, con los parámetros más bajos, es decir, un tiempo de rehidratación de la chufa de 24h, y 100 pulsos. No obstante, el efecto del tratamiento PEF no fue muy elevado, debido a la elevada dureza del tejido celular de la chufa.

Por otro lado, en la uva, en términos de rendimiento sí que es interesante aplicar un pretratamiento PEF. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para los parámetros de pH, sólidos solubles y turbidez, conviene que el tratamiento PEF sea con el mayor número de pulsos (100) y la mayor intensidad de campo (1,25 kV/cm), para obtener los mejores resultados.

El pretratamiento con PEF en la mandarina también tiene un efecto positivo en el rendimiento entre las muestras tratadas. Sin embargo, al observar los resultados obtenidos en pH, sólidos solubles, conductividad y turbidez y no ver ningún efecto ni del número de pulsos ni de la intensidad de campo aplicada entre los distintos tratamientos el tratamiento menos intenso sería suficiente.

Como conclusión, puede decirse que el pretratamiento con PEF tuvo efecto tanto en productos de textura blanda (mandarina y uva) como en el de textura dura (chufa), aunque no con los mismos resultados. Esto indica que las características del producto son un factor para tener en cuenta al establecer un tratamiento con PEF. Por ello, se recomienda profundizar en el análisis del efecto del tratamiento con PEF en otras matrices vegetales y con otros parámetros de tratamiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aadil, R. M., Zeng, X.-A., Ali, A., Zeng, F., Farooq, M. A., Han, Z., Khalid, S., & Jabbar, S. (2015). Influence of different pulsed electric field strengths on the quality of the grapefruit juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(10), 2290–2296. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12891>
- Aguilera Inés, J. (2017). *Influencia de los tratamientos de pulsos eléctricos de alto voltaje en la extracción de componentes de interés de las endrinas durante el proceso de elaboración de pacharán* - Repositorio Institucional de Documentos. (2017). Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/63664?ln=es>
- Agustí, M. (2000). *Citricultura*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767589/citricultura-3%C2%AA-ed->
- Basterra Muzás, Í. (2018). Análisis económico del sector vitivinícola español. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/34802/TFG-E-695.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bobinaitė, R., Pataro, G., Lamanuskas, N., Šatkauskas, S., Viškelis, P., & Ferrari, G. (2015). Application of pulsed electric field in the production of juice and extraction of bioactive compounds from blueberry fruits and their by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5898–5905. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1668-0>
- Caminiti, I. M., Noci, F., Morgan, D. J., Cronin, D. A., & Lyng, J. G. (2012). The effect of pulsed electric fields, ultraviolet light, or high intensity light pulses in combination with manothermosonication on selected physico-chemical and sensory attributes of an orange and carrot juice blend. *Food and Bioprocess Processing*, 90(3), 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.11.006>
- Carreño, O. P., Isasa, M. E. T., & Zapata, M. A. (2001). Contribución al conocimiento del mosto o zumos de uva comerciales. *Offarm: farmacia y sociedad*, 20(5), 150-157.
- Casado, I. C. (2015). *Deshidratación de ciruelas asistida por Pulsos Eléctricos de Alto Voltaje (PEAV)* (Doctoral dissertation, Universidad de Zaragoza).
- Gmitter, F. G., & Hu, X. (1990). The possible role of Yunnan, China, in the origin of contemporary citrus species (rutaceae). *Economic Botany*, 44(2), 267–277. <https://doi.org/10.1007/bf02860491>
- Guderjan, M., Elez-Martínez, P., & Knorr, D. (2007). Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil. *Innovative Food Science & Emerging Technologies: IFSET: The Official Scientific Journal of the European Federation of Food Science and Technology*, 8(1), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.07.001>
- Maroto, J. V. (2003): «La chufa. Introducción histórica y su cultivo»; en Fundación Valenciana de Estudios Avanzados, ed.: *Jornada Chufa y Horchata, tradición y salud*. Valencia, Generalitat Valenciana, Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación; pp. 19-28.
- Maza, M., Martínez, J. M., Saldaña, G., Ballesteros, F., Álvarez, I., & Raso, J. (2017). Pulsos Eléctricos de Alto Voltaje (PEF), una tecnología innovadora en el proceso de elaboración de vinos. *Interempresas Vitivinícola*, 8.
- Mullins, M.G., Bouquet, A., AND Williams, L.E. (1992) *Biology of the Grapevine*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 251 pp. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2116629>
- OIV (2006) *State of the Vitiviniculture World Report*. L'Organisation Internationale de la Vigne et du Vin, Paris, 14 pp.
- Pascual, B. Y Maroto, J. V. (1984a): *Estudios agronómicos realizados en el cultivo de la chufa (Cyperus esculentus L.)*. Valencia, Diputación Provincial de Valencia.
- Pascual-Seva, N. (2011). *Estudios agronómicos sobre el cultivo de la chufa (Cyperus esculentus L. var. sativus Boeck.)*: Estrategias de riego, tipos de plantación, absorción de nutrientes, y análisis fitoquímico (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=250911>
- Rábago-Panduro, L. M., Morales-de la Peña, M., Romero-Fabregat, M. P., Martín-Belloso, O., & Welti-Chanes, J. (2021). Effect of pulsed electric fields (PEF) on extraction yield and stability of oil obtained from dry pecan nuts (*Carya illinoensis* (wangenh. K. Koch)). *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(7), 1541. <https://doi.org/10.3390/foods10071541>
- BOE-A-1987-20232 Real Decreto 1044/1987, de 31 de julio, por el que se regula la elaboración de zumos de uva en armonización con la normativa comunitaria. (s/f). Boe.es. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1987-20232>
- BOE-A-1988-25809 Real Decreto 1338/1988, de 28 de octubre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración y Venta de Horchata de Chufa. (s/f). Boe.es. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1988-25809>
- Redondo García, N. (2021). *Elaboración de horchata pasteurizada: mejora del rendimiento de extracción y establecimiento de los parámetros de proceso térmico* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Sandri, P. M. (2023, diciembre 11). *La producción mundial de cítricos se hunde por el clima y una plaga bacteriana*. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/economia/20231211/9438853/produccion-mundial-citricos-hunde-clima-plaga-bacteriana.html>
- Talens Oliag, P. (2017, junio 23). Descripción del color en el espacio Ciel*a*b*. <https://media.upv.es/#/portal/video/c1d03780-57f2-11e7-8498-234f214cea31>
- Vorobiev, E., & Lebovka, N. I. (2006). Extraction of intercellular components by pulsed electric fields. En *Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry* (pp. 153–193). Springer US.