

RESUMEN

La técnica de impedancia bio-eléctrica permite la caracterización de sistemas biológicos mediante la aplicación de una corriente eléctrica en un rango de frecuencias determinado, logrando así la observación del comportamiento de las propiedades eléctricas, parámetros que están relacionados con la estructura y composición del material. Asimismo, el análisis de la impedancia bio-eléctrica, aplicada a los materiales biológicos, proporciona información acerca de los cambios fisiológicos dentro y fuera de la célula, así como de las membranas y los tejidos. Esta técnica tiene la ventaja de ser simple y no destructiva. Algunos estudios relacionados con esta propiedad se han llevado a cabo en frutos como la nectarina, manzana, pepino, kiwi, caqui y fresa.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un procedimiento para medir de manera no destructiva la impedancia bio-eléctrica de tres variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) ('Sweet charly', 'Festival' y 'Camino real') con el propósito de conocer si existe una relación entre las variables de impedancia con la firmeza y el "grado de madurez" de las variedades en mención. La selección del fruto de la fresa se debió a que es un cultivo importante en el estado de Guanajuato.

Seis grupos por variedad fueron definidos utilizando como criterio de clasificación tres "grados de madurez" y dos tipos de tamaño según el diámetro ecuatorial, ambos indicados en la Norma mexicana NMX-FF-9-1982. La clasificación utilizando el primer criterio se llevó a cabo de manera subjetiva ya que se utilizó la tabla de los "grados de maduración" de la fresa a través de los colores y el segundo de manera objetiva utilizando un calibrador tipo Vernier.

Para lograr el objetivo se diseñó, construyó y probó un prototipo que permitió llevar a cabo los ensayos para medir la impedancia en el fruto de la fresa. Las mediciones se llevaron a cabo conectando el prototipo a un analizador de impedancia. Con los datos obtenidos se generaron los espectros de impedancia de los cuales a partir de un modelo de circuito predefinido se obtuvieron los elementos eléctricos R_s (resistor en serie), CPE (elemento de fase constante: magnitud CPE-T y fase CPE-P) y R_p (resistor en paralelo).

Así mismo y con el uso de un espectrofotómetro, se midió el color superficial de las fresas obteniendo los valores de la luminosidad L^* , y las coordenadas cromáticas a^* y b^* , los cuales también fueron utilizados para analizar su relación con los valores de la firmeza y el "grado de madurez".

Los valores obtenidos de las variables de color L^* , a^* y b^* , para cada uno de los tres “*grados de madurez*”, fueron analizados utilizando la prueba estadística ANOVA, con el propósito de determinar si entre ellos existía una diferencia estadísticamente significativa. Los resultados mostraron en general para las tres variedades de fresas que los valores de L^* entre los diferentes grupos clasificados según su “*grado de madurez*”, son estadísticamente diferentes. Los valores de esta variable, en todos los casos, muestran una tendencia descendente conforme va madurando el fruto.

Para evaluar la diferencia de color medido con el colorímetro entre los frutos pertenecientes a cada grupo clasificados según su “*grado de madurez*”, se utilizó el índice de grado de diferencia de color ΔE^*_{ab} . En general los resultados mostraron diferencias significativas en ΔE^*_{ab} entre los diferentes grupos preestablecidos según su “*grado de madurez*”.

Con la finalidad de clasificar los “*grados de madurez*” preestablecidos según las variables de color L^* , a^* y b^* , se utilizó la prueba estadística de análisis discriminante, obteniendo para las variedades ‘Festival’ y ‘Camino real’ un porcentaje alto de casos correctamente clasificados. En promedio se obtuvieron valores de 94 % y 93 %, respectivamente.

En el caso de los resultados obtenidos de las mediciones de impedancia la prueba estadística ANOVA se utilizó con el objetivo de conocer si existían diferencias estadísticamente significativas en los valores de las variables de impedancia para los distintos niveles de “*grados de madurez*”. Los resultados no fueron los esperados, ya que no se observó una tendencia en los resultados obtenidos. Sin embargo, la prueba de análisis discriminante de los “*grados de madurez*” en función de las variables de impedancia mostró porcentajes de casos correctamente clasificados muy alentadores, ya que en el caso de los grupos tamaños B y C, de las fresas de la variedad ‘Camino real’, se obtuvieron porcentajes de 84 % y 82 %, respectivamente, según las variables de impedancia R_s , CPE-P, CPE-T y R_p .

Los resultados de las pruebas de análisis discriminante de los grupos de las variedades ‘Sweet charly’ mostraron que las variables que mejor discriminan para los grupos clasificados según su “*grado de madurez*” son para color, L^* y para impedancia, CPE-P; para ‘Festival’ fueron las variables de color, a^* y de impedancia, R_s ; y finalmente, para ‘Camino real’ fueron las variables de color L^* y a^* y las variables de impedancia CPE-P y R_s .

En relación a los resultados de las mediciones destructivas de firmeza en general mostraron que las fresas más pequeñas son más resistentes. La variedad que mostró los valores más altos de firmeza fue 'Festival' seguida de las fresas de la variedad 'Camino real' y 'Sweet charly'. Finalmente, se utilizó la prueba estadística de regresión lineal múltiple con el objetivo de explicar el comportamiento de la variable firmeza a partir de las variables explicativas de impedancia bio-eléctrica (R_s y CPE-P) y color (L^* , a^* y b^*).

Los modelos obtenidos a partir de las variables explicativas de color L^* , a^* y b^* mostraron para las variedades 'Sweet charly' y 'Festival', valores del coeficiente de determinación R^2 mayores a los modelos que incluyen las variables explicativas de impedancia R_s y CPE-P. Los modelos que muestran la relación entre la variable firmeza con las variables explicativas R_s y CPE-P para la variedad 'Camino real' presentaron los valores mas altos del coeficiente de determinación.