

## Resum

La tècnica d'impedància bio-elèctrica permet la caracterització de sistemes biològics per mitjà de l'aplicació d'un corrent elèctric en un rang de freqüències determinat, aconseguint així l'observació del comportament de les propietats elèctriques, paràmetres que estan relacionats amb l'estructura i composició del material. Així mateix, l'anàlisi de la impedància bio-elèctrica, aplicada als materials biològics, proporciona informació sobre els canvis fisiològics dins i fora de la cèl·lula, així com de les membranes i els teixits. Esta tècnica té l'avantatge de ser simple i no destructiva. Alguns estudis relacionats amb esta propietat s'han dut a terme en fruits com la nectarina, poma, cogombre, kiwi, caqui i maduixa.

L'objectiu del present treball va ser desenrotllar un procediment per a mesurar de manera no destructiva la impedància bio-elèctrica de tres varietats de maduixa (*Fragaria x ananassa* Duch) ('Sweet charly', 'Festival' i 'Camino real') amb el propòsit de conèixer si hi ha una relació entre les variables d'impedància amb la fermesa i el "grado de madurez" de les varietats en menció. La selecció del fruit de la maduixa es va deure al fet que és un cultiu important en l'estat de Guanajuato.

Sis grups per varietat van ser definits utilitzant com a criteri de classificació tres "grados de madurez" i dos tipus de grandària segons el diàmetre equatorial, ambdós indicats en la Norma mexicana NMX-FF-9-1982. La classificació utilitzant el primer criteri es va dur a terme de manera subjectiva ja que es va utilitzar la taula dels "grados de maduración" de la maduixa a través dels colors i el segon de manera objectiva utilitzant un calibrador tipus Vernier. Per a aconseguir l'objectiu es va dissenyar, va construir i va provar un prototip que va permetre dur a terme els assajos per a mesurar la impedància en el fruit de la maduixa. Els mesuraments es van dur a terme connectant el prototip a un analitzador d'impedància. Amb les dades obtinguts es van generar els espectres d'impedància dels quals a partir d'un model de circuit predefinit es van obtenir els elements elèctrics  $R_s$  (resistor en sèrie), CPE (element de fase constant: magnitud CPE-T i fase CPE-P) i  $R_p$  (resistor en paral·lel).

Així mateix i amb l'ús d'un espectrofotòmetre, es va mesurar el color superficial de les maduixes obtenint els valors de la lluminositat  $L^*$ , i les coordenades cromàtiques  $a^*$  i  $b^*$ , els

quals també van ser utilitzats per a analitzar la seua relació amb els valors de la fermesa i el "grado de madurez".

Els valors obtinguts de les variables de color  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ , per a cada un dels tres "grados de madurez", van ser analitzats utilitzant la prova estadística ANOVA, amb el propòsit de determinar si entre ells existia una diferència estadísticament significativa. Els resultats van mostrar en general per a les tres varietats de maduixes que els valors de  $L^*$  entre els diferents grups classificats segons el seu "grado de madurez", són estadísticament diferents. Els valors d'esta variable, en tots els casos, mostren una tendència descendent conforme va madurant el fruit. Per a avaluar la diferència de color mesurat amb el colorímetre entre els fruits pertanyents a cada grup classificats segons el seu "grado de madurez", es va utilitzar l'índex de grau de diferència de color  $\Delta E^*_{ab}$ . En general els resultats van mostrar diferències significatives en  $\Delta E^*_{ab}$  entre els diferents grups preestablits segons el seu "grado de madurez". Amb la finalitat de classificar els "grados de madurez" preestablits segons les variables de color  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ , es va utilitzar la prova estadística d'anàlisi discriminant, obtenint per a les varietats 'Festival' i 'Camino real' un porcentaje alt de casos correctament classificats. Com a mitjana es van obtindre valors de 94 % i 93 %, respectivament.

En el cas dels resultats obtinguts dels mesuraments d'impedància la prova estadística ANOVA es va utilitzar amb l'objectiu de conèixer si hi havia diferències estadísticament significatives en els valors de les variables d'impedància per als distints nivells de "grados de madurez". Els resultats no van ser els esperats, ja que no es va observar una tendència en els resultats obtinguts. No obstant això, la prova d'anàlisi discriminant dels "grados de madurez" en funció de les variables d'impedància va mostrar percentatges de casos correctament classificats molt encoratjadors, ja que en el cas dels grups grandàries B i C, de les maduixes de la varietat 'Camino real', es van obtindre percentatges de 84 % i 82 %, respectivament, segons les variables d'impedància  $R_s$ , CPE-P, CPE-T i  $R_p$ .

Els resultats de les proves d'anàlisi discriminant dels grups de les varietats 'Sweet charly' van mostrar que les variables que millor discriminen per als grups classificats segons el seu "grado de madurez" són per a color,  $L^*$  i per a impedància, CPE-P; per a 'Festival' van ser la variables de color,  $a^*$  i d'impedància,  $R_s$ ; i finalment, per a 'Camino real' van ser les variables de color  $L^*$  i  $a^*$  i les variables d'impedància CPE-P i  $R_s$ .

En relació als resultats dels mesuraments destructius de fermesa en general van mostrar que les maduixes més xicotetes són més resistents. La varietat que va mostrar els valors més alts de fermesa va ser 'Festival' seguida de les maduixes de la varietat 'Camino real' i 'Sweet charly'. Finalment, es va utilitzar la prova estadística de regressió lineal múltiple amb l'objectiu d'explicar el comportament de la variable fermesa a partir de les variables explicatives d'impedància bio-elèctrica ( $R_s$  i CPE-P) i color ( $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ ).

Els models obtinguts a partir de les variables explicatives de color  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  van mostrar per a les varietats 'Sweet charly' i 'Festival', valors del coeficient de determinació  $R^2$  majors als models que inclouen les variables explicatives d'impedància  $R_s$  i CPE-P. Els models que mostren la relació entre la variable fermesa amb les variables explicatives  $R_s$  i CPE-P per a la varietat 'Camí real' van presentar els valors més alts del coeficient de determinació.