

# Étude comparative de la perméabilité aux gaz d'emballages de fruits frais en film synthétique

H MUJICA PAZ  
MN DUCAMP-COLLIN  
M LEBRUN  
M REYNES  
Cirad-FIhor  
Maison de la technologie  
BP 5035  
34032 Montpellier cedex 01  
France

## Comparative studies of the permeability for gases of fresh fruit synthetic wrappers.

### ABSTRACT

**INTRODUCTION.** The changes in the atmosphere surrounding a vegetable enveloped in a plastic wrapping depends on the respiratory intensity of the vegetable as well as on the wrapping film's permeability for different gases. **MATERIALS AND METHODS.** The film tested, the Pebax MV 3 000 film, is a thermoplastic elastomer. Its permeability has been evaluated through changes in the chemical constitution of the carrier gas passing through a permeability module O<sub>2</sub> cell; the evaluation was made by gas chromatography; a Hot Wire Detector (HWD) measured the oxygen and the carbon dioxide while a flame ionization detector measured the ethylene. **RESULTS AND DISCUSSION.** Both the Pebax MV 3 000 permeability and selectivity coefficients proved to be far more significant than those of other synthetic films tested. Contrary to what was observed for the ethylene, the film's permeability for oxygen and carbon dioxide is all the more significant when the percentage of relative humidity is high. **CONCLUSION.** The study analysed with accuracy the film's permeability when used in very similar conditions to those experienced by tropical fruits when stored. The results show that this type of film would be suitable for the wrapping, in a modified atmosphere, of fresh vegetable products, and more particularly for the packing of fruits and vegetables with a high respiratory intensity; by using this film, the modified atmosphere should be kept intact during a long storage period.

### KEYWORDS

Packaging equipment, controlled atmosphere storage, permeability.

## Étude comparative de la perméabilité aux gaz d'emballages de fruits frais en film synthétique.

### RÉSUMÉ

**INTRODUCTION.** L'atmosphère environnant un végétal conditionné en sachet plastique se modifie en fonction de l'intensité respiratoire de ce végétal et de la perméabilité aux différents gaz du film employé. **MATÉRIEL ET MÉTHODES.** Le film testé, du Pebax MV 3 000, est un élastomère thermoplastique. Sa perméabilité a été mesurée par le changement de composition chimique du gaz vecteur traversant une cellule de mesure ; les mesures ont été faites par chromatographie en phase gazeuse, par détection catharométrique pour l'oxygène et le gaz carbonique et par détection à ionisation de flamme pour l'éthylène. **RÉSULTATS ET DISCUSSION.** Les perméabilités et le coefficient de sélectivité du Pebax MV 3 000 se sont révélés beaucoup plus importants que ceux des autres films synthétiques testés. À l'inverse de ce qui est observé pour l'éthylène, les perméabilités à l'oxygène et au gaz carbonique de ce film sont d'autant plus importantes que le taux d'humidité relative de mesure est important. **CONCLUSION.** L'étude a conduit à identifier avec précision les perméabilités du film lorsqu'il employé dans des conditions se rapprochant de celles du stockage des fruits tropicaux. Les résultats montrent que ce type de film serait adapté à l'emballage, sous atmosphère modifiée, de produits végétaux frais et, plus particulièrement, au conditionnement des fruits et légumes qui ont une intensité respiratoire élevée ; son utilisation devrait permettre le maintien de l'atmosphère modifiée pendant une période de stockage prolongée.

### MOTS CLÉS

Matériel de conditionnement, stockage en atmosphère contrôlée, perméabilité.

Reçu le 17 février 1997  
Accepté le 15 septembre 1997

Fruits, 1997, vol 52, p 331-338  
© Elsevier, Paris

RESUMEN ESPAÑOL, p 338

## ● introduction

Les fruits et légumes, en tant qu'organes vivants, continuent à respirer après leur récolte et leur conditionnement, ils sont le siège de nombreuses réactions chimiques.

La qualité première de certains organes végétaux peut être conservée après récolte en les maintenant dans une atmosphère de composition spéciale, convenablement appauvrie en oxygène et enrichie en gaz carbonique par rapport à l'air. Cette technique, utilisée pour allonger la durée de vie des produits récoltés, est généralement associée à la réfrigération et connue sous le nom de conservation en atmosphère modifiée (SOLOMOS, 1993).

La modification de l'atmosphère à l'intérieur de l'emballage est le résultat de l'interaction de la respiration du produit et de la perméabilité aux gaz des films utilisés. Au cours de la respiration, le fruit consomme de l'oxygène, rejette du gaz carbonique et produit, dans le cas de certaines espèces, de l'éthylène. À l'intérieur de l'emballage, il y a donc une diminution du taux d'oxygène et une augmentation du gaz carbonique ; cette nouvelle composition atmosphérique autour du produit provoque une réduction de la respiration et de ce fait un ralentissement de la maturation et de la sénescence du produit (KADER et al, 1989 ; CHAU et TALASILA, 1994). La composition atmosphérique à l'intérieur de l'emballage dépend de la perméabilité aux gaz des films employés.

Les films à base de polymères tels que le LDPE (polyéthylène basse densité), le PP (polypropylène), le PE (polyéthylène), l'EVOH (éthylène vinyl alcool) et le PVC (chlorure de polyvinyl) sont les plus couramment utilisés pour générer des atmosphères modifiées (ZAGORY et KADER, 1988 ; CHURCH, 1994). Cependant, leur perméabilité aux gaz peut ne pas convenir aux exigences requises par certains produits et elle peut entraîner des conditions anaérobiques provoquant des dégradations des produits (EXAMA et al, 1993 ; YAM et LEE, 1995).

Les récents progrès réalisés dans la technologie des plastiques ont permis de produire des films polymères ayant de très hautes perméabilités à l'oxygène et au gaz carbonique tout en ayant une forte sélectivité qui

porte sur le rapport « perméabilité au  $\text{CO}_2$ /perméabilité à l' $\text{O}_2$  ». Ces propriétés physiques sont généralement données pour des conditions standard, à 23 °C et 0 % d'humidité relative ; dans le cas de l'emploi de ces films dans des conditions différentes de température et d'humidité relative requises pour créer des atmosphères modifiées, il n'existe aucune donnée permettant de prévoir si leur utilisation sera possible dans le cas de produits spécifiques.

Partant d'un tel constat, une étude a été entreprise qui a permis de mesurer les perméabilités d'un film de polyéther amide (PEBA), à trois températures et deux taux d'humidités relatives différents, afin de savoir si, par la suite, ce matériau pourrait être utilisé dans des essais de conditionnement des fruits tropicaux ; les activités du laboratoire étant actuellement orientées vers le traitement des mangues, les essais ont plus particulièrement porté sur ces fruits, mais cela ne doit nullement restreindre l'utilisation de ce film.

## ● matériel et méthodes

### film

Un film commercial, connu sous le nom de marque Pebax et produit par Elf Atochem, a été testé pour sa perméabilité à l'oxygène, au gaz carbonique et à l'éthylène. Le film utilisé est un Pebax MV 3 100 ( $49 \pm 3 \mu\text{m}$ ). Ce type de film est un élastomère thermoplastique composé d'un polymère flexible et d'une trame polyamide rigide.

### système de mesure de la perméabilité

Pour mesurer les perméabilités, nous avons mis au point un système à circulation de gaz. Le module est formé de deux cellules de perméabilité identiques. Les échantillons de film sont fixés hermétiquement dans la cellule de mesure, séparant ainsi deux chambres circulaires. Les flux de diffusion du gaz au travers du film sont déterminés à partir de la pression partielle du gaz perméant dans le gaz vecteur constitué par de l'azote. Les courants gazeux sont maintenus au taux de 100 % d'humidité relative voulu, à l'aide d'un système de barbotage dans

deux flacons contenant de l'eau, opération réalisée avant l'entrée du gaz dans la cellule de perméabilité. Chaque mesure de perméabilité est répétée trois fois.

### mesure des concentrations en gaz

L'éthylène est mesuré par un chromatographe en phase gazeuse (Hewlett-Packard 5 890) équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (Fid). Les conditions opératoires sont les suivantes : colonne capillaire J&W GSQ de 30 m, diamètre 0,32 mm ; le gaz vecteur utilisé est l'hélium à un débit de 1,7 ml/min ; pour le détecteur Fid, les débits d'hydrogène et d'air sont respectivement de 32 ml/min et 380 ml/min. La température de l'injecteur est de 200 °C, celle du détecteur de 210 °C. L'analyse s'effectue en isotherme à 70 °C.

Les concentrations en oxygène et en gaz carbonique sont mesurées par catharométrie sur un chromatographe GC 8 000 Top (ThermoQuest Italia SPA, Milan, Italie).

Un étalonnage externe a été réalisé à l'aide de gaz étalons aux concentrations de 1 000 ppm et 5 % pour l'oxygène et pour le gaz carbonique, et de 100 ppm et 1 000 ppm pour l'éthylène.

### calcul des perméabilités

Les perméabilités (P) sont calculées avec l'équation suivante (CHAO et RIZVI, 1988) :

$$P = J \Delta x / A \Delta p \quad [1]$$

dans cette équation, P est la perméabilité au gaz exprimée en amol/s/m/Pa, J est la

quantité de gaz traversant le film exprimée en amol/s,  $\Delta x$  est l'épaisseur du film en mètre, A est la surface de film utilisée en m<sup>2</sup>,  $\Delta p$  est la différence de pression ( $p_1 - p_2$ ) exprimée en Pa, exercée par le gaz perméant sur chacune des faces du film (1 amol = 10<sup>-18</sup> mol).

La perméabilité est fonction de nombreux facteurs liés à la nature du polymère composant le film, aux caractéristiques du film – épaisseur, méthode de préparation, conditions de réalisation, etc –, à la nature du perméant et aux conditions extérieures – température, pression, humidité relative, etc (JASSE et al, 1994).

## ● résultats et discussion

### perméabilité aux gaz

La mesure des caractéristiques de perméabilité aux gaz du film Pebax MV 3 000 montre que la perméabilité à l'éthylène se situe entre celle de l'oxygène et celle du gaz carbonique, qui a la valeur la plus élevée (tableau I). Par ailleurs, la perméabilité des trois gaz augmente avec la température, alors que seule celle de l'oxygène et du gaz carbonique croît avec le taux d'humidité relative, qui induit, en revanche, une diminution de la perméabilité de l'éthylène.

L'accroissement de la perméabilité du film Pebax en fonction de la température est en accord avec le comportement d'autres films (VARSANYI, 1988 ; PIERGIOVANNI et al, 1992 ; GENNADIOS et al, 1993). Ce comportement

Tableau I  
Perméabilité aux gaz du film Pebax MV 3 000.

Taux d'humidité relative (%)	Température (°C)	Perméabilité aux gaz (amol/ m/s/Pa)		
		Oxygène O <sub>2</sub>	Gaz carbonique CO <sub>2</sub>	Éthylène C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
0	10	2 645 ± 130	34 071 ± 1 363	9 036 ± 89,91
	20	3 585 ± 75	47 890 ± 1 625	14 552 ± 569
	30	5 087 ± 59	51 357 ± 720	18 534 ± 498
100	10	2 961 ± 34	34 516 ± 903	7 331 ± 117
	20	4 180 ± 153	49 134 ± 514	11 971 ± 223
	30	5 767 ± 112	71 659 ± 718	18 822 ± 287

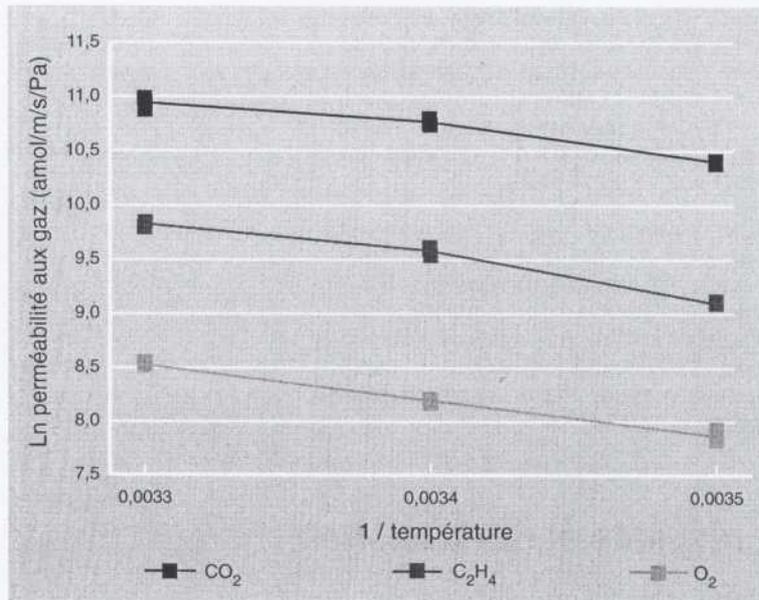
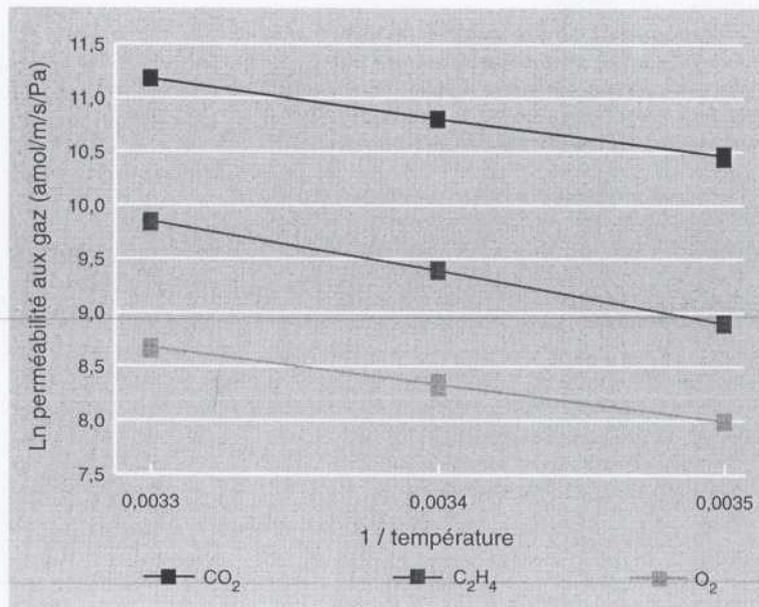


Figure 1  
Graphique d'Arrhénius pour la perméabilité aux gaz du film Pebax MV 3 000 à 0 % d'humidité relative.

Figure 2  
Graphique d'Arrhénius pour la perméabilité aux gaz du film Pebax MV 3 000 à 100 % d'humidité relative.



est attribué à l'intensification du mouvement des segments polymériques et à l'augmentation du niveau d'énergie des molécules perméantes, qui activent le processus d'absorption-désorption (KUMINS, 1965 ; LEFAUX, 1972). DE LEIRIS (1986), AXELSON-LARSSON (1992) et ARVANITOYANNIS et BLANSHARD (1993) ont démontré qu'à un taux d'humidité relative élevé, certains films polymériques - cellulose, alcool polyvinyle, polyamide -

voient augmenter considérablement leur perméabilité au gaz. Cette même variation a été observée sur la perméabilité au gaz carbonique et à l'oxygène du film Pebax, mais pas sur la perméabilité à l'éthylène.

### modèle d'Arrhénius

La perméabilité (P) est liée à la température selon l'équation d'Arrhénius :

$$P = P_0 \exp(-E_p/RT) \quad [2]$$

où P<sub>0</sub> est un facteur pre-exponentiel, E<sub>p</sub>, l'énergie d'activation à la perméabilité, R, la constante de gaz et T, la température absolue.

La perméabilité est exprimée comme le produit de la diffusivité (D) par la solubilité (S) (FRANZ, 1993). Ces paramètres sont aussi dépendants de la température selon la loi d'Arrhénius, d'où :

$$P = D \times S =$$

$$D_0 \exp(-E_D/RT) S_0 \exp(\Delta H_S/RT) \quad [3]$$

$$\text{où } E_p = E_D + \Delta H_S \quad [4]$$

E<sub>D</sub> est l'énergie d'activation pour la diffusion et ΔH<sub>S</sub> est l'énergie de sorption du perméant.

L'équation [2] peut s'écrire sous la forme linéaire:

$$\ln P = \ln P_0 - E_p/(RT) \quad [5]$$

Les valeurs expérimentales de la perméabilité ont été portées sur des graphiques du ln P en fonction de l'inverse de la température à 0 et 100 % d'humidité relative (figures 1 et 2). La régression linéaire de ces données a permis d'évaluer E<sub>p</sub> et P<sub>0</sub> (tableau II). Les valeurs élevées du coefficient de corrélation R<sub>2</sub> (tableau II) indiquent une bonne concordance avec la loi d'Arrhénius. En règle générale, ce type de graphique montre une allure linéaire, mais celle-ci peut changer lorsque le polymère subit une modification structurale qui apparaît lorsqu'il atteint sa température de transition vitreuse (LEFAUX, 1972 ; AXELSON-LARSSON, 1992).

Les résultats montrent que la valeur E<sub>p</sub> est plus élevée à 100 % d'humidité relative qu'à 0 %, sauf pour l'oxygène, où la variation d'humidité relative n'a pas eu d'effet (tableau II). La valeur E<sub>p</sub> est une mesure de l'énergie dépensée contre les forces cohésives du polymère, dans la formation des interstices à travers lesquels a lieu la diffusion (PAINE et PAINE,

Tableau II  
Énergie d'activation ( $E_p$ ) et constante ( $\ln P_0$ ) de la perméabilité aux gaz du film Pebax 3 000, calculées selon la loi d'Arrhénius.

Gaz	Taux d'humidité	Énergie d'activation relative (%)	Constante $P_0$ (amol/m/s/Pa) $E_p$ (kJ/mol)	Coefficient de corrélation ( $R_p$ )
Oxygène	0	23,5 ± 1,0	18,0 ± 0,3	0,993
	100	23,7 ± 0,7	21,5 ± 0,2	0,997
Éthylène	0	25,9 ± 1,7	20,2 ± 0,7	0,984
	100	33,5 ± 0,4	23,2 ± 0,2	0,999
Gaz carbonique	0	19,5 ± 1,6	18,7 ± 0,7	0,974
	100	25,9 ± 0,6	21,5 ± 0,2	0,998

1983). Le terme  $P_0$ , qui est un indice de la probabilité de collision entre les molécules des gaz et les molécules polymériques, augmente avec le taux d'humidité relative. Les valeurs plus élevées de  $P_0$  observées pour l'éthylène sont dues probablement à la taille de la molécule (LEFAUX, 1972).

La valeur d' $E_p$  pour la perméabilité de l'oxygène à travers le film MV 3 000 est égale à 23,6 kJ/mole. Cette valeur est comparable à celle du polyéthylène terephthalate (26 kJ/mole), mais inférieure à celles obtenues par YASUDA et STANNETT (1965) pour le propylène (47,7 kJ/mole), pour le nylon-66 (43,5 kJ/mole) et pour le polyéthylène de basse densité (41,4 kJ/mole), ainsi que pour le chlorure de polyvinyle (33,5 kJ/mole) trouvé par SAVOIE et al (1993).

Les valeurs d' $E_p$  pour le gaz carbonique varient de 19,5 à 25,9 kJ/mole et elles sont inférieures à la valeur trouvée par SAVOIE et al (1993) (41,5 kJ/mole). D'autre part, l' $E_p$  de l'éthylène (25,9 à 33,5 kJ/mole) est légèrement inférieure à celle de l'éthylène vinyle alcool, publiée par SAVOIE et al en 1993 (36,5 kJ/mole) et PIERGIOVANNI et al en 1992 (38,5 kJ/mole).

### comparaison de la perméabilité du film Pebax avec celle d'autres films

Exception faite du cas des films microporeux, les données de perméabilité rapportées dans la littérature se caractérisent par l'hétérogénéité des unités utilisées et des conditions de mesure adoptées. La compa-

raison des résultats est donc difficile et l'utilisation de ces films, commerciale ou dans les travaux de recherches, est impossible. La perméabilité aux gaz des films les plus employés dans l'emballage des fruits frais a donc été mesurée à partir des mêmes paramètres permettant alors de les comparer (tableau III). Le film Pebax se révèle être le plus perméable au gaz carbonique et à l'oxygène, et possède une sélectivité élevée ( $S = 11$ ) qui est supérieure à celles des films synthétiques ( $S = 4-6$ ) qui ont été utilisés jusqu'à maintenant (SCHLIMME et ROONEY, 1993).

La sélectivité est une des propriétés les plus employées pour qualifier les films d'emballage. Le film à forte sélectivité conduira à la formation d'atmosphères ayant de faibles teneurs en gaz carbonique. En revanche, une faible sélectivité donnera des atmosphères plus riches en  $CO_2$ , car ce gaz sera alors retenu à l'intérieur de l'emballage. La valeur de la sélectivité d'un film est donc très importante pour prédire les proportions d'oxygène et de gaz carbonique qui seront obtenues à l'équilibre dans l'emballage. Elle permettra d'adapter un film à un produit en fonction de sa sensibilité au  $CO_2$  ou du taux de  $CO_2$  que l'on veut obtenir dans le conditionnement.

Par ailleurs, très peu d'études ont été réalisées sur la perméabilité des films d'emballage à l'éthylène. Les données sur des films de PVC rapportées par SAVOIE et al (1993) sont 8 à 11 fois inférieures à celles que nous avons trouvées sur le film Pebax à 0 % d'humidité relative. D'autre part, ce matériau est 2 ou 3 fois plus perméable que les films de gluten de blé placés à 100 % d'humidité rela-

Tableau III  
Perméabilité aux gaz de films plastiques placés à 23 °C et 0 % d'humidité relative.

Type de film	Perméabilité (amol/m/s/Pa)		Sélectivité du film rapport PCO <sub>2</sub> / PO <sub>2</sub>	Référence bibliographique
	au gaz carbonique (CO <sub>2</sub> )	à l'oxygène (O <sub>2</sub> )		
PVC	3 606	493	7,3	PIERGIOVANNI et al, 1992
EVA	7 001	1 380	5,0	PIERGIOVANNI et al, 1992
LDPE	4 220	1 003	4,2	POYET, 1993
PET	37,6	11,9	3,1	POYET, 1993
Nylon 6	19,5	11,9	1,6	POYET, 1993
Pebax MV 3 000	46 745	4 040	11,5	Travaux des auteurs

PVC : chlorure de polyvinyle ; EVA : acétate d'éthylène vinyle ; LDPE : polyéthylène de basse densité ; PET : polyéthylène téréphtalate ; PEBAX : poly block amide.

tive (MUJICA PAZ et al, 1997). Du fait des effets importants que peut avoir l'éthylène sur les tissus végétaux, il est apparu intéressant d'étudier la perméabilité à ce gaz. L'éthylène, considéré comme une « hormone », peut provoquer une maturation prématurée, le ramollissement des tissus, l'augmentation de l'intensité respiratoire et accélérer la sénescence chez de nombreux fruits (PECH et al, 1994). La prévention de ces effets est primordiale pour garder les avantages attribués à l'emballage sous atmosphères modifiées.

## ● conclusion

Les perméabilités à l'oxygène et au gaz carbonique du film Pebax MV 3 000, testé dans des conditions susceptibles d'être utilisées pour le stockage des fruits tropicaux – humidité relative élevée de 100 % et température proche de celle des pays tropicaux de 30 °C –, se sont révélées très importantes. Le coefficient de sélectivité du film Pebax MV 3 000 est grand, comparé à celui d'autres films synthétiques.

L'augmentation de l'humidité relative a provoqué un accroissement des perméabilités à l'oxygène et au gaz carbonique, alors qu'elle a entraîné une diminution de celle de l'éthylène. Par ailleurs, pour ces trois gaz, les perméabilités ont varié dans le même sens que celui des températures de stockage expérimentées.

D'après ces propriétés de barrière au gaz, le film Pebax semblerait approprié pour

l'emballage de fruits et légumes frais sous atmosphère contrôlée, en particulier de ceux à intensité respiratoire élevée. Il permettrait, en effet, de prévenir les conditions d'anaérobiose souvent retrouvées lors de l'utilisation des films ayant une perméabilité aux gaz insuffisante (KADER et al, 1989 ; CAMERON et al, 1995), et de maintenir des teneurs en gaz carbonique plus ou moins faibles.

## remerciements

Les auteurs remercient M Y Aubert de la société Elf Atochem pour leur avoir fourni le film Pebax destiné à leur étude.

## ● références

- Arvanitoyannis I, Blanshard JMV (1993) Anionic copolymers of ortanelactam with lauro lactam (nylon 8/12 copolymers). VI. Study of diffusion and permeation of gases in undrawn and uniaxially-drawn (conditioned at different relative humidities) polyamide films. *J Appl Polym Sci* 47 (11), 1933-1959
- Axelsson-Larsson L (1992) Oxygen permeability at high temperatures and relative humidities. *Packaging Technol Sci* 5, 297-306
- Cameron AC, Talasila PCh, Joles DW (1995) Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30 (1), 25-34
- Chao RR, Rizvi SSH (1988) Oxygen and water vapor transport through polymeric film: a review of modeling approaches. In: *Food and packaging interactions*. Washington, DC, États-Unis, Hotchkiss JH (ed), ACS Symposium Series 365, 217-242

- Chau KV, Talasila PC (1994) Design of modified atmosphere packages for fresh fruits and vegetables. In: *Minimal Processing of Foods and Process Optimization: an Interface*. Inc Boca Raton, FL, États-Unis, Singh RP, Oliveira FAR (eds), CRC Press, 406-407
- Church N (1994) Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. *Trends in Food Sci & Tech* 5, 345-352
- De Leiris JP (1986) Water activity and permeability. In: *Food Packaging and Preservation: Theory and Practice*. NY, États-Unis, Mathouthi M (ed), Elsevier Applied Science Publishers, 213-233
- Exama A, Arul J, Lencki RW, Lee LZ, Toupin C (1993) Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables *Food Sci* 58 (6), 1365-1370
- Franz R (1993) Permeation of volatile organic compounds across polymer films. Part I. Development of a sensitive test method suitable for high-barrier packaging films at very low permeant vapour pressures. *Packaging Technol & Sci* 6, 91-102
- Gennadios A, Weller CL, Testin RF (1993) Temperature effect on oxygen permeability of edible protein-based films. *J Food Sci* 58 (1), 212-214, 219
- Jasse B, Seuvre AM, Mathlouthi M (1994) Permeability and structure polymeric packaging materials. "Food packaging and preservation". Lond, Royaume-Uni, Mathlouthi M (ed), Chapman et Hall, 1-21
- Kader AA, Zagory D, Kerbel LE (1989) Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 28 (1), 1-30
- Kumins CA (1965) Transport through polymers films. *J Polymer Sci Part C* (10), 1-9
- Lefaux R (1972) Les matières plastiques dans l'industrie alimentaire. Paris, France, Com française d'éditions, 311-343
- Mujica-Paz H, Reynes M, Ducamp-Collin MN, Gontard N (1997) Ethylene permeability of wheat gluten film as a function of temperature and relative humidity. *Lebensmittel- Wissenschaft und Technologie* (submitted)
- Paine FA, Paine HY (1983) Using barrier materials efficiently. In: *A Handbook of Food Packaging*. Glasgow, Royaume-Uni, Leonard Hill, ch 13, 296-239
- Pech JC, Balague C, Latche A, Bouzayen M (1994) Postharvest physiology of climateric fruits: recent developments in the biosynthesis and action of ethylene. *Science des Aliments*, 3-15
- Piergiovanni L, Scolaro M, Fava P (1992) Measurement of ethylene permeability of plastic films. *Packag Technol Sci* 5, 189-196
- Poyet J (1993) Les polymères barrières. In: *L'Alimentarité dans les matières plastiques et les caoutchoucs*. Congrès SAGE, Paris, 1-2 avril.
- Savoie E, Gagnon JC, Doyon GJ, Brunet F (1993) Evaluation of the ethylene permeability of polyvinyl chloride (PVC). *Packag Technol Sci* 6, 195-202
- Schlimme DV, Rooney ML (1993) Packaging of minimally processed fruits and vegetables. In: *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Wiley RC (ed), 136-182
- Solomos T (1993) Some biological and physical principles underlying modified atmosphere packaging. In: *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Wiley RC (ed), 183-226.
- Varsanyi I (1988) Permeability of polymers in food packaging. In: *Food packaging and preservation: theory and practice*. NY, États-Unis, Mathouthi M (ed), Elsevier Applied Science Publishers, 25-38
- Yam KL, Lee DS (1995) Design of modified atmosphere packaging for fresh produce. In: *Active food packaging*. Glasgow, Royaume-Uni, Rooney ML (ed), Blackie Academic & Professional, 55-73
- Yasuda H, Stannett V (1965) Barriers vapors. In: *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. NY, États-Unis, Mark HF, Gaylord NG, Bikales NM (eds), Interscience Publishers, vol 2, p 316
- Zagory D, Kader AA (1988) Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technol* 42 (9), 70-77

### **Estudio comparativo de la permeabilidad a los gases de embalajes de frutos frescos en película plástica sintética.**

#### **RESUMEN**

**INTRODUCCIÓN.** La atmósfera que rodea un vegetal acondicionado en un envase plástico varía en función de la intensidad respiratoria de ese vegetal y de la permeabilidad a los diferentes gases de la película plástica empleada. **MATERIAL Y MÉTODOS.** La película probada, Pebax MV 3000, es un elastómero termoplástico. Su permeabilidad se midió por el cambio de composición química del gas vector que atraviesa un sensor ; las medidas se realizaron por cromatografía en fase gaseosa, por detección catarmétrica para el oxígeno y el gas carbónico y por detección con ionización de llama para el etileno. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN.** Las permeabilidades y el coeficiente de selectividad del Pebax MV 3000 se mostraron mucho más importantes que los de las otras películas plásticas sintéticas probadas. Al contrario de lo que se contempla para el etileno, las permeabilidades al oxígeno y al gas carbónico de esta película son tanto más altas cuanto el contenido de humedad relativa de medida es importante. **CONCLUSIÓN.** El estudio ha permitido identificar con precisión las permeabilidades de la película plástica cuando se emplea en condiciones que se aproximan a las del almacenamiento de frutos tropicales. Según se desprende de los resultados, este tipo de película parece estar adaptado al almacenamiento, en atmósfera modificada, de productos vegetales frescos y, de forma especial, para el acondicionamiento de aquellas frutas y verduras que tengan una importante intensidad respiratoria ; su uso debería permitir el mantenimiento de la atmósfera modificada durante un periodo de almacenamiento prolongado.

#### **PALABRAS CLAVES**

Maquinaria de embalaje, almacenamiento atmósfera controlada, permeabilidad.