

## Calcio y ácido giberélico en el bretado de frutos de litchi (*Litchi chinensis* Soon.) cultivar Mauritius\*

### Calcium and gibberellic acid in litchi fruits cracking (*Litchi chinensis* Soon.) cultivar Mauritius

Misael Martínez Bolaños<sup>1§</sup>, Luciano Martínez Bolaños<sup>2</sup>, Antonio Guzmán Deheza<sup>3</sup>, Rafael Gómez Jaimes<sup>4</sup> y Ana Laura Reyes Reyes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental 'Rosario Izapa'-INIFAP. Tuxtla Chico, Chiapas, México. CP. 30870. Tel. (595) 1149346. (martinez.misael@inifap.gob.mx; reyes.ana@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria Sur-Sureste. Teapa, Tabasco, México. CP. 86800. Tel. (932) 1117348. (lucianomb90@hotmail.com). <sup>3</sup>Profesional independiente. Tel. (962) 1843005. (agd\_fitotec.12@hotmail.com). <sup>4</sup>Campo Experimental 'Santiago Ixcuintla'-INIFAP. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. Tel. (311) 9095327. (gomez.rafael@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: misael1480@hotmail.com.

## Resumen

El litchi se cultiva en México en los estados de Veracruz, Oaxaca, Sinaloa, San Luis Potosí, Puebla, Chiapas y Michoacán. Los cultivares más comercializados son Brewster y Mauritius. Uno de sus principales problemas es el bretado del pericarpio en frutos, que disminuye el rendimiento y calidad en la producción del cultivar Mauritius. El estudio se realizó en 2011-2012; se evaluó la incidencia del bretado en cuatro parcelas comerciales del cultivar Mauritius de los siguientes municipios de Oaxaca: Loma Bonita, San Juan Cotzocón, San Juan Yaveo y Santa María Jacatepec. Se realizó una correlación entre temperatura, humedad relativa, radiación solar y la incidencia del bretado de frutos; y se evaluó el contenido nutrimental del pericarpio, pulpa y semilla de frutos bretados y asintomáticos. Se evaluó la incidencia de frutos bretados en ocho tratamientos: 1) testigo absoluto; 2) ácido giberélico (AG) 25 ppm (BioGip®); 3) AG 50 ppm; 4) AG 100 ppm; 5) AG 200 ppm; 6) calcio (Ca) 50 mmol L<sup>-1</sup> (Poliquel Ca®); 7) Ca 100 mmol L<sup>-1</sup>; y 8) Ca 200 mmol L<sup>-1</sup>. La incidencia de frutos bretados se observó desde el desarrollo del arilo hasta la madurez comercial del fruto, con incidencias máximas de 7.31 - 15.3% en madurez comercial.

## Abstract

Litchi is grown in México in the states of Veracruz, Oaxaca, Sinaloa, San Luis Potosí, Puebla, Chiapas and Michoacán. Being the most commercialized cultivars Brewster and Mauritius. One of its main problems is the pericarp cracking in fruits, which diminishes the yield and quality in the Mauritius cultivar production. The research was carried out in 2011-2012; the incidence of cracking was evaluated in four commercial plots of Mauritius cultivar of the following Oaxaca municipalities: Loma Bonita, San Juan Cotzocón, San Juan Yaveo and Santa María Jacatepec. A correlation was made between temperature, relative humidity, solar radiation and the incidence of cracked fruits, and the nutritional content of pericarp, pulp and seed of cracked and asymptomatic fruits was evaluated. The incidence of cracked fruits was evaluated in eight treatments: 1) absolute control; 2) gibberellic acid (AG) 25 ppm (BioGip®); 3) AG 50 ppm; 4) AG 100 ppm; 5) AG 200 ppm; 6) Calcium (Ca) 50 mmol L<sup>-1</sup> (Poliquel Ca®); 7) Ca 100 mmol L<sup>-1</sup>; and 8) Ca 200 mmol L<sup>-1</sup>. The incidence of cracked fruits was observed from the aril development until commercial maturity of the fruit, with maximum incidence of 7.31 - 15.3% at commercial maturity. Asymptomatic fruits showed higher boron content

Los frutos asintomáticos presentaron mayor contenido de boro en la pulpa respecto a los frutos bretados. El periodo e intensidad de horas luz presentaron una alta correlación con la incidencia del bretado de frutos. Aplicaciones de calcio en dosis de 50, 100 y 200 mmol L<sup>-1</sup>, durante y posterior al amarre de frutos, redujeron el porcentaje de incidencia de frutos bretados al momento de la cosecha.

**Palabras clave:** litchi, nutrición, pericarpio, radiación.

## Introducción

El litchi es un fruto subtropical (Coates *et al.*, 1994), nativo del sur de China y sureste de Asia (Menzel, 1984). El fruto presenta un pericarpio que es delgado y áspero (Menzel y Simpson, 1994; Nacif *et al.*, 2001); cuando madura es de color rojo, rugoso y con hendiduras debido a la presencia de braquiesclereidas, cuya función está asociada con la protección contra daños mecánicos o estrés fisiológico (Nacif *et al.*, 2001). El arilo o pulpa comestible es de color blanco y recubre una semilla de color marrón oscuro (Menzel y Simson, 1994).

Los principales problemas en la producción son: alternancia de producción, así como rendimientos bajos e irregulares asociados a caída excesiva de frutos (Chen y Huang, 2001; Ghosh, 2001; Mitra *et al.*, 2005); oxidación y bretado de pericarpio (Chen y Huang, 2001; Ghosh, 2001; Huang *et al.*, 2001; Pereira y Mitra, 2004; Xu *et al.*, 2005); problemas fitosanitarios (Campbell y Campbell, 2001; Chen y Huang, 2001) así como costos altos en cosecha y empaque (Ghosh, 2001; Xu *et al.*, 2005).

El rajado de pericarpio o bretado es el principal desorden fisiológico de los frutos de litchi en algunos países como: China (Chen y Huang, 2001), India (Mitra y Ghosh, 1991), Tailandia (Sethapakee, 2002) y Nepal (Budathoki, 2002). Pérdidas de aproximadamente US\$2.5 millones debido a problemas de bretado se reportaron en China para el cultivar Noumici (Li *et al.*, 1992); mientras que, en la India una tercera parte de la producción se pierde por el mismo problema en frutos de cultivares susceptibles (Kanwar *et al.*, 1972).

Diversos factores se consideran como inductores del bretado del pericarpio en frutos. Aun cuando se considera que factores ambientales tales como sequía, altas temperaturas y

in the pulp than the cracked fruits. The period and intensity of light hours had a high correlation with the incidence of fruit cracking. Calcium applications at doses of 50, 100 and 200 mmol L<sup>-1</sup>, during and after fruit bunching, reduced the incidence percentage of cracked fruits at harvest time.

**Keywords:** litchi, nutrition, pericarp, radiation.

## Introduction

Litchi is a subtropical fruit (Coates *et al.*, 1994), native to southern China and southeast Asia (Menzel, 1984). The fruit has a thin and rough pericarp (Menzel y Simpson, 1994; Nacif *et al.*, 2001). When it ripens it is red, rough and with clefts due to the presence of brachysclereids, whose function is associated with protection against mechanical damage or physiological stress (Nacif *et al.*, 2001). The aril or edible pulp is white and covers a dark brown seed (Menzel and Simson, 1994).

The main problems in production are: alternation of production, as well as low and irregular yields associated with excessive fruit drop (Chen y Huang, 2001; Ghosh, 2001; Mitra *et al.*, 2005); oxidation and cracking of the pericarp (Chen y Huang, 2001; Ghosh, 2001; Huang *et al.*, 2001; Pereira y Mitra, 2004; Xu *et al.*, 2005); phytosanitary problems (Campbell y Campbell, 2001; Chen y Huang, 2001) as well as high harvest and packing costs (Ghosh, 2001; Xu *et al.*, 2005).

The pericarp cracking is the main physiological disorder of litchi fruits in some countries such as China (Chen and Huang, 2001), India (Mitra and Ghosh, 1991), Thailand (Sethapakee, 2002) and Nepal (Budathoki, 2002). Losses of approximately US \$2.5 million due to cracking problems were reported in China for the Noumici cultivar (Li *et al.*, 1992); while in India a third of the production is lost by the same problem in susceptible cultivars (Kanwar *et al.*, 1972).

Several factors are considered as inducers of pericarp cracking in fruits. Although it is considered that environmental factors such as drought, high temperatures and excessive rains induce cracking (Kanwar y Nijjar, 1984; Chande y Sharma, 1992; Li *et al.*, 2001), its incidence may vary considerably between trees of the same cultivar and established in the same site, which could indicate that internal factors of the plants also affect cracking development.

lluvias excesivas inducen el bretado (Kanwar y Nijjar, 1984; Chande y Sharma, 1992; Li *et al.*, 2001), su incidencia puede variar considerablemente entre árboles del mismo cultivar y establecidos en el mismo sitio, lo cual podría indicar que factores internos de las plantas también afectan el desarrollo del bretado.

El estado nutrimental de los árboles es el principal factor interno a considerar. El calcio es un macro-elemento esencial en las plantas, cuya deficiencia en frutos está asociada con una gran variedad de desórdenes fisiológicos incluyendo el bretado de frutos (Shear, 1975).

De la misma manera, el contenido de reguladores de crecimiento endógenos de la planta influye en el bretado de frutos. Al respecto Peng *et al.* (2001) indicaron que el ácido giberélico reduce el porcentaje de frutos bretados al reducir la actividad de la celulosa; Sharma y Dhillon (1988) mencionaron que la concentración de ácido abscísico (ABA) fue menor en el pericarpio, semilla y arilo de frutos bretados que en frutos asintomáticos.

En México, el litchi fue introducido a principios del siglo XX en el estado de Sinaloa (De la Garza, 2004); actualmente se cultiva en Veracruz, Oaxaca, Sinaloa, San Luis Potosí, Puebla, Chiapas y Michoacán (SIAP, 2015). Los cultivares más comercializados son Brewster y Mauritius (Rinderman y Gómez, 2001). En el estado de Oaxaca el bretado de frutos es uno de los principales factores que disminuyen rendimiento y calidad de la fruta, siendo el cultivar Mauritius el más afectado.

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la aspersión foliar de calcio y ácido giberélico, en la incidencia del bretado de frutos de litchi cultivar Mauritius en el estado de Oaxaca.

## Materiales y métodos

### Sitio de estudio

El estudio se realizó en la región del Papaloapan, estado de Oaxaca, México; en parcelas comerciales de Litchi cultivar Maurittius (promedio de 10 años de edad), de los municipios de Loma Bonita, San Juan Cotzocón, San Juan Yaveo y Santa María Jacatepec; durante el ciclo de producción 2011.

The nutritional status of trees is the main internal factor to consider. Calcium is an essential macro-element in plants, whose fruit deficiency is associated with a wide variety of physiological disorders including fruit cracking (Shear, 1975).

Likewise, the content of endogenous growth regulators of the plant influences the fruit cracking. In this regard Peng *et al.* (2001) indicated that gibberellic acid reduces the percentage of cracked fruits by reducing the cellulose activity; Sharma and Dhillon (1988) mentioned that the concentration of abscisic acid (ABA) was lower in pericarp, seed and aril of cracked fruits than in asymptomatic fruits.

In México, litchi was introduced at the beginning of the 20th century in Sinaloa state (De la Garza, 2004); currently cultivated in Veracruz, Oaxaca, Sinaloa, San Luis Potosí, Puebla, Chiapas and Michoacán (SIAP, 2015). The most commercialized cultivars are Brewster and Mauritius (Rinderman and Gómez, 2001). In Oaxaca state the fruit cracking is one of the main factors that diminish yield and fruit quality, being the Mauritius cultivar the most affected.

The objective of this research was to evaluate the effect of leaf sprinkling of calcium and gibberellic acid on the cracking incidence of litchi fruits of Mauritius cultivar in Oaxaca state.

## Materials and methods

### Site of study

The study was carried out in the Papaloapan region, Oaxaca state, México; in commercial plots of Litchi Maurittius cultivar (average of 10 years of age), of the municipalities of Loma Bonita, San Juan Cotzocón, San Juan Yaveo and Santa María Jacatepec; during the 2011 production cycle.

### Evaluation of fruit cracking incidence

The incidence of fruit cracking symptom was evaluated in four Mauritius litchi commercial plots in the municipalities of Loma Bonita, San Juan Cotzocón, San Juan Yaveo and Santa María Jacatepec, from Oaxaca state during the 2011 production cycle.

### **Evaluación de incidencia de bretado de frutos**

La incidencia del síntoma de bretado de frutos se evaluó en cuatro parcelas comerciales de litchi Mauritius en los municipios de Loma Bonita, San Juan Cotzocón, San Juan Yaveo y Santa María Jacatepec, del estado de Oaxaca durante el ciclo de producción 2011.

En cada parcela se seleccionaron sistemáticamente 15 líneas de árboles de litchi y en cada línea se marcaron cinco árboles de litchi; de cada árbol se marcaron cuatro racimos de frutos por cada punto cardinal y de cada racimo se evaluó el número total de frutos y el número de frutos brettados.

### **Análisis nutrimental de frutos**

Cincuenta frutos de litchi del cultivar Mauritius en etapa de madurez comercial se colectaron por cada tipo de síntoma (bretado y asintomático), durante el ciclo de producción 2011. En laboratorio, los frutos se seccionaron longitudinalmente para separar: pericarpio, arilo y semilla. Muestras compuestas por frutos del mismo síntoma y mismo tejido, se etiquetaron y secaron en un horno (60 °C) durante 48 h, y posteriormente fueron digeridas en mezcla diácida. El contenido de fósforo (P) se determinó mediante fotocolorimetría por reducción con molibdo-vanadato; el contenido de potasio (K) se determinó por espectrofotometría de emisión de flama. La determinación del contenido de calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. Finalmente, el contenido de boro (B) se determinó por fotocolorimetría con azometina-H.

### **Evaluación de factores climáticos**

Las variables climatológicas: temperatura (máxima, mínima y promedio), humedad relativa y radiación solar se evaluaron en intervalos de una hora, con un equipo DataLogger WatchDog® durante el periodo de enero a mayo de 2011, en el municipio de Santa María Jacatepec, Oaxaca.

Los valores promedio de cada uno de las variables climatológicas evaluadas se correlacionaron con la incidencia de bretado de frutos para determinar su efecto en el desarrollo de la enfermedad.

In each plot 15 lines of litchi trees were systematically selected and five litchi trees were marked on each line; of each tree four clusters of fruits were marked per cardinal point and of each cluster the total number of fruits and the number of cracked fruits was evaluated.

### **Nutritional analysis of fruits**

Fifty litchi fruits of Mauritius cultivar at commercial maturity stage were collected for each type of symptom (cracked and asymptomatic) during the 2011 production cycle. At the laboratory, the fruits were longitudinally sectioned to separate pericarp, aryl and seed. Samples composed of fruits of the same symptom and same tissue were labeled and dried in an oven (60 °C) for 48 h, and then digested in a diacid mixture. The phosphorus content (P) was determined by photolorimetry by reduction with molybdo-vanadate; the potassium content (K) was determined by flame emission spectrophotometry. The content of calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn) and manganese (Mn) was determined by atomic absorption spectrophotometry. Finally, the boron content (B) was determined by atomic absorption spectrophotometry. Finally, the boron content (B) was determined by photolorimetry with azomethine-H.

### **Climatic factors assessment**

The climatic variables: temperature (maximum, minimum and average), relative humidity and solar radiation were evaluated in one hour intervals, with a DataLogger WatchDog® equipment during the period from January to May 2011, in the municipality of Santa María Jacatepec, Oaxaca.

The average values of each of the climatological variables evaluated were correlated with the incidence of fruit ripening in order to determine their effect on the disease development.

### **Effect of calcium and gibberellic acid on the incidence of fruit cracking**

The study was developed in a commercial plot of Mauritius litchi in the municipality of Santa María Jacatepec, Oaxaca during the 2012 production cycle.

Eight treatments were evaluated: 1) absolute control, 2) gibberellic acid (AG) 25 ppm (BioGip®), 3) AG 50 ppm, 4) AG 100 ppm, 5) AG 200 ppm; 6) Calcium (Ca) 50 mmol L<sup>-1</sup>

## Efecto del calcio y ácido giberélico en la incidencia de bretado de frutos

El estudio de esta investigación se desarrolló en una parcela comercial de litchi cv Mauritius en el municipio de Santa María Jacatepec, Oaxaca durante el ciclo de producción 2012.

Ocho tratamientos se evaluaron: 1) testigo absoluto, 2) ácido giberélico (AG) 25 ppm (BioGip®), 3) AG 50 ppm, 4) AG 100 ppm, 5) AG 200 ppm; 6) calcio (Ca) 50 mmol L<sup>-1</sup> (Poliquel Ca®); 7) Ca 100 mmol L<sup>-1</sup> y 8) Ca 200 mmol L<sup>-1</sup>. Para cada tratamiento se seleccionaron cuatro árboles, y etiquetaron ocho racimos de frutos (dos por punto cardinal) por árbol.

La aplicación de los tratamientos se realizó con una aspersora motorizada tipo mochila y con boquilla tipo abanico; en cada tratamiento se adicionó adherente (Innex-®) (1 ml L<sup>-1</sup> de agua). Tres aspersiones se realizaron durante el estudio: 1) al amarre de frutos; 2) una semana después del amarre; y 3) cuatro semanas posteriores al amarre de fruto.

La evaluación de la incidencia de bretado de frutos se realizó cada semana, desde el amarre de frutos hasta la madurez comercial. El porcentaje de incidencia de frutos bretados se determinó mediante la relación de número de frutos totales por racimo, entre el número de frutos bretados.

## Resultados y discusión

### Incidencia de bretado de frutos

El porcentaje de incidencia de frutos bretados de litchi en las cuatro parcelas comerciales evaluadas fueron diferentes ( $\alpha=0.05$ ); los mayores porcentajes de incidencia de frutos bretados se observaron en el municipio de Cotzocón (8.2%) y Santa María Jacatepec (5.7%). En tres de cuatro parcelas evaluadas, no se observaron diferencias estadísticas en el porcentaje de incidencia de frutos bretados por cada orientación de muestreo (Tukey,  $\alpha=0.05$ ) (Cuadro 1).

### Análisis nutrimental de frutos

(Poliquel Ca®); 7) Ca 100 mmol L<sup>-1</sup> and 8) Ca 200 mmol L<sup>-1</sup>. For each treatment, four trees were selected, and eight fruit clusters (two per cardinal point) were labeled per tree.

The treatments application was performed with a motorized sprinkler backpack type and with fan type nozzle; to each treatment adherent (Innex-®) (1 ml L<sup>-1</sup> of water) was added. Three sprays were performed during the study: 1) when fruits were clustered; 2) one week after clustering; and 3) four weeks after fruit clustering.

The evaluation of fruit cracking incidence was carried out every week, from fruit clustering to commercial maturity. The incidence percentage of cracked fruits was determined by the ratio of total number of fruits per cluster, among the number of cracked fruits.

## Results and discussion

### Incidencia of fruit cracking

The incidence percentage of cracked litchi fruits in the four evaluated commercial plots was different ( $\alpha=0.05$ ); the highest incidence percentages of cracked fruits were shown in the municipality of Cotzocón (8.2%) and Santa María Jacatepec (5.7%). In three of four evaluated plots, no statistical differences were observed in the percentage of incidence of cracked fruits per sampling orientation (Tukey,  $\alpha=0.05$ ) (Table 1).

### Cuadro 1. Incidencia de frutos bretados de litchi cv Mauritius de acuerdo a la posición cardinal del racimo, en cuatro municipios de Oaxaca.

**Table 1. Incidence of cracked fruits of litchi cv Mauritius according to the cardinal position of the cluster in four municipalities of Oaxaca state.**

Orientación	Municipio del sitio de evaluación			
	Jacatepec	Loma Bonita	Cotzocón	Yaveo
Norte	4.834 A* ab**	3.7382 A ab	6.282 A a	3.098 A b
Sur	5 A a	1.4699 B b	6.22 A a	4.404 A ab
Este	6.303 A ab	2.4525 AB b	10.327 A a	2.745 A b
Oeste	6.781 A ab	2.0392 AB c	10.007 A a	3.845 A bc

Valores con la misma letra en cada columna (\*) o hilera (\*\*) son estadísticamente iguales, Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Letras mayúsculas corresponden a la comparación de medias entre tratamientos (columnas \*); letras minúsculas representan a la comparación de medias entre sitios de evaluación (hileras \*\*).

Los frutos de litchi mostraron diferencias estadísticas ( $\alpha=0.05$ ) respecto al contenido nutrimental de boro en la pulpa, entre frutos con síntomas de bretado ( $42.36 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y el de frutos asintomáticos ( $62.22 \text{ mg kg}^{-1}$ ); además, no se observó una relación directa entre el contenido de calcio en el pericarpio y el síntoma de bretado; sin embargo, se presentó una mayor concentración de Fe, Cu, Zn, Mn y B en el pericarpio de frutos asintomáticos (Cuadro 2). Estos resultados contrastan con estudios que señalan que en frutos de litchi, el pericarpio de frutos bretados tiene significativamente menor concentración de calcio respecto a los de frutos asintomáticos en el mismo cultivar (Sanyal *et al.*, 1990; Li y Huang, 1995; Li *et al.*, 1999; Lin, 2001).

### Nutritional analysis of fruits

The litchi fruits showed statistical differences ( $\alpha=0.05$ ) with respect to the nutritional content of boron in the pulp, between fruits with cracking symptoms ( $42.36 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and that of asymptomatic fruits ( $62.22 \text{ mg kg}^{-1}$ ); in addition, a direct relationship between the calcium content in the pericarp and the cracking symptom was not observed; however, a higher concentration of Fe, Cu, Zn, Mn and B was present in the pericarp of asymptomatic fruits (Table 2). These results contrast with studies that indicate that in litchi fruits, the pericarp of cracked fruits has a significantly lower concentration of calcium than asymptomatic fruits in the same cultivar (Sanyal *et al.*, 1990; Li y Huang, 1995; Li *et al.*, 1999; Lin, 2001).

**Cuadro 2. Análisis nutrimental de frutos de litchi cv Mauritius, con síntomas de bretado en pericarpio y asintomáticos; municipio de Santa María Jacatepec, Oaxaca.**

**Table 2. Nutritional analysis of litchi cv Mauritius fruits, with cracking symptoms in pericarp and asymptomatic; Santa María Jacatepec municipality, Oaxaca.**

Nutriente	Pulpa		Semilla		Pericarpio	
	Bretado	Asintomático	Bretado	Asintomático	Bretado	Asintomático
N (%)	0.61	0.81	0.81	1.22	0.81	0.91
P (%)	0.25	0.21	0.2	0.18	0.15	0.17
K (%)	1.04	1.01	0.87	1.07	1.17	1.25
Ca (%)	0.03	0.03	0.06	0.22	0.48	0.5
Mg (%)	0.08	0.08	0.11	0.16	0.22	0.24
Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	142.15	144.5	245.58	825.9	143.88	195.93
Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	13.95	10.28	10.43	19.1	7.9	30.3
Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	40.73	37.78	44.33	53.13	43.48	44.55
Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	31.53	29.78	37.03	50.65	66.38	84.33
B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	42.36	62.22	40.6	52.36	46.14	52.36

### Evaluación de factores climáticos en la incidencia de frutos bretados de litchi

La temperatura presentó una correlación positiva con respecto al porcentaje de frutos de litchi bretados, en ese sentido, se presentó una mayor cantidad de frutos bretados al incrementar la temperatura máxima ( $r^2=0.547$ ), temperatura mínima ( $R=0.629$ ) y temperatura promedio ( $R=0.569$ ) (Figura 1). Estos resultados tuvieron un patrón de desarrollo similar a los reportados por Mitra *et al.* (2010) para los cultivares 'Rose Scented', 'Early Muzaffarpur' y 'McLean', con mayor incidencia de frutos bretados al incrementar la temperatura.

### Evaluation of climatic factors on the incidence of cracked litchi fruits

The temperature had a positive correlation with the percentage of cracked litchi fruits, in this regard, a higher quantity of cracked fruits was shown by increasing the maximum temperature ( $r^2=0.547$ ), minimum temperature ( $R=0.629$ ) and average temperature ( $R=0.569$ ) (Figure 1). These results had a development pattern similar to those reported by Mitra *et al.* (2010) for 'Rose Scented', 'Early Muzaffarpur' and 'McLean' cultivars, with a higher incidence of cracked fruits as temperatures increased.

La humedad relativa presentó una correlación negativa respecto a la incidencia de frutos bretados ( $r^2 = -0.56$ ) (Figura 1). Li *et al.* (2001); Mitra *et al.* (2010) mencionaron que la incidencia de frutos bretados se ve favorecida por periodos de alta humedad relativa; sin embargo, nuestros resultados fueron diferentes. Al respecto, experimentos en la India, África y Australia indicaron que periodos de sequía pueden tener diferentes efectos en el rendimiento, calidad y bretado dependiendo del nivel y periodo de déficit hídrico. En Sudáfrica, un déficit hídrico durante el desarrollo del fruto incrementó la cantidad de frutos rajados o bretados (41%) en relación a frutos cosechados de árboles con buen riego (10%) (Menzel *et al.*, 1995). Abbott *et al.* (1986) reportaron reducción de problemas de bretado en frutos de tomate, mediante el incremento de frecuencias riego.

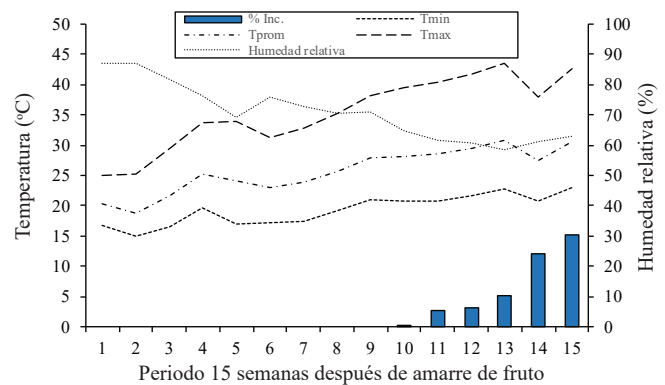
Mitra *et al.* (2010) sugirieron que temperaturas elevadas y alta humedad relativa favorecen el bretado de frutos de litchi en los cultivares 'Rose Scented' 'Early Muzaffarpur' y 'McLean'. Los mismos autores señalaron que aspersiones de Kaolin a 2% y 4% y  $AG_3$  40  $mg^{-1}$  (1.16%) redujeron la incidencia de bretado al reducir la temperatura externa de los frutos.

En China, los frutos de litchi se desarrollan durante la época de lluvias y se bretan durante periodos de alta humedad relativa y lluvias intensas, en especial cuando el arilo se encuentra en desarrollo (Li *et al.*, 2001).

Aunque se considera que factores ambientales tales como sequía, altas temperaturas y lluvias excesivas inducen el rajado de la cáscara (Kanwar y Nijjar, 1984; Chande y Sharma, 1992; Li *et al.*, 2001), la incidencia del bretado varía considerablemente entre árboles dentro del mismo huerto, los cuales presentan las mismas condiciones climáticas, lo que indica que factores internos de las plantas también afectan la incidencia del bretado de frutos.

Los periodos de horas luz y la intensidad de las mismas presentaron el mayor efecto en el porcentaje de frutos bretados (correlación,  $R = 0.917$ ) (Figura 2, Cuadro 3). El efecto de este factor externo al fruto puede estar relacionado con el incremento de la temperatura externa de los frutos (Mitra *et al.*, 2010), conllevando a condiciones de estrés al fruto y por ello una mayor susceptibilidad al bretado.

The relative humidity showed a negative correlation with the incidence of cracked fruits ( $r^2 = -0.56$ ) (Figure 1). Li *et al.* (2001); Mitra *et al.* (2010) mentioned that the incidence of ripened fruits is favored by periods of high relative humidity; however, our results were different. In this regard, experiments in India, Africa and Australia indicated that periods of drought can have different effects on yield, quality and cracking depending on the level and period of water deficit. In South Africa, a water deficit during fruit development increased the number of cracked or ripened fruits (41%) in relation to fruits harvested from trees with good irrigation (10%) (Menzel *et al.*, 1995). Abbott *et al.* (1986) showed reduction of cracking problems in tomato fruits, by increasing irrigation frequencies.

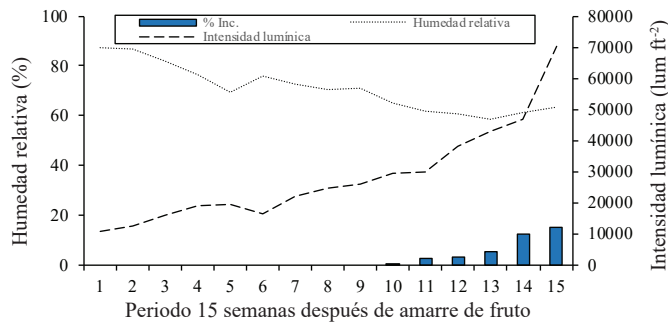


**Figura 1. Incidencia de bretado (% Inc.) de frutos de litchi cv Mauritius y su relación con temperatura (T °C) y humedad relativa (%).** Periodo de estudio 15 semanas después de amarre de fruto (sda), (29 de enero a 14 de mayo de 2011).

**Figure 1. Cracking incidence (% Inc.) in litchi cv Mauritius and its relation with temperature (T °C) and relative humidity (%).** Study period 15 weeks after fruit clustering (sda), (January 29 to May 14, 2011).

Mitra *et al.* (2010) suggested that elevated temperatures and high relative humidity favor cracked litchi fruits in the 'Rose Scented' 'Early Muzaffarpur' and 'McLean' cultivars. The same authors reported that Kaolin sprays at 2% and 4% and  $AG_3$  40  $mg^{-1}$  (1.16%) reduced the ripening incidence by reducing the external temperature of the fruits.

In China, litchi fruits develop during the rainy season and are cracked during periods of high relative humidity and heavy rains, especially when aryl is under development (Li *et al.*, 2001).



**Figura 2. Incidencia de bretado (% Inc.) de frutos de litchi y su relación con humedad relativa (%) y la intensidad lumínica (lum ft<sup>-2</sup>).** (29 enero a 14 de mayo de 2011).

**Figure 2. Incidence of cracked (% Inc.) fruits of litchi and its relationship with relative humidity (%) and light intensity (lum/ft<sup>-2</sup>).** (January 29 to May 14, 2011).

### Efecto del calcio y ácido giberélico en la incidencia de bretado de frutos

El mayor porcentaje de incidencia de frutos bretados se observó después de cuatro semanas del amarre de fruto; que corresponde a la etapa fenológica de madurez comercial.

El mayor porcentaje de incidencia de frutos bretados se observó en la cuarta evaluación de frutos en las plantas testigo (5.582%); mientras que las plantas tratadas con calcio a dosis de 50 y 200 mmol L<sup>-1</sup>, no se observaron frutos bretados, las cuales fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 4).

Reportes previos señalan que aplicaciones de calcio reducen el porcentaje de bretado en otros frutos como: frutillas (Tukey, 1984; Ruper *et al.*, 1997; Lang *et al.*, 1998; Richardson y Ystaas, 1998; Fernández *et al.*, 1998; Howard *et al.*, 1998; Marshall y Weaver, 1999), manzanas (Moon *et al.*, 1999), duraznos (Sun y Liu, 1997), naranjas (Xu *et al.*, 1994; Zou y Xu, 1995) e higos (Aksoy *et al.*, 1994). También se señala que las aspersiones combinadas de calcio con boro en melón (Combrink *et al.*, 1995) o con cobre en frutillas (Brown *et al.*, 1995) tienen mayor efecto con respecto a aspersiones solo de calcio.

Para el caso de litchi, Peng *et al.* (2001) señalaron que la aspersión de 100 mmol L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> en floración plena, 19 y 39 días posterior a esta etapa, redujo el porcentaje de incidencia de frutos bretados en el cultivar Noumici (14.4 a 10.4%). De igual manera, aplicaciones de quelatos de calcio (180 mmol.L<sup>-1</sup> Ca) (Li *et al.*, 1999) y 132 mg L<sup>-1</sup> de Ca (Qiu *et al.*, 2000), redujeron la incidencia de frutos bretados de litchi cultivar Noumici (27.7 a 17.5% y 47.2 a 15.4%, respectivamente).

Although it is considered that environmental factors such as drought, high temperatures and excessive rains induce shell cracking (Kanwar and Nijjar, 1984; Chande and Sharma, 1992; Li *et al.*, 2001), the incidence of cracking varies considerably between trees within the same orchard, which are under the same climatic conditions, indicating that internal plants factors also affect the incidence of cracked fruits.

The periods of light hours and its intensity had the greatest effect on the percentage of cracked fruits (correlation, R= 0.917) (Figure 2, Table 3). The effect of this factor external to the fruit may be related to the increase in the external temperature of the fruits (Mitra *et al.*, 2010), leading to stress conditions to the fruit and therefore a greater cracking susceptibility.

### Effect of calcium and gibberellic acid on the incidence of fruit cracking

The highest incidence percentage of cracked fruits was observed after four weeks of fruit clustering; which corresponds to the phenological stage of commercial maturity.

The highest incidence percentage of cracked fruits was observed in the fourth evaluation in the fruits of the control plants (5.582%); while in the plants treated with doses of 50 and 200 mmol L<sup>-1</sup>, no cracked fruits were observed, which were statistically different (Table 4).

Previous results suggest that calcium applications reduce the cracking percentage in other fruits such as berries (Tukey, 1984; Ruper *et al.*, 1997; Lang *et al.*, 1998; Richardson y Ystaas, 1998; Fernández *et al.*, 1998; Howard *et al.*, 1998; Marshall y Weaver, 1999), apples (Moon *et al.*, 1999), peaches (Sun and Liu, 1997), oranges (Xu *et al.*, 1994, Zou and Xu, 1995), figs (Aksoy *et al.*, 1994). It is also reported that combined calcium-boron sprays in melon (Combrink *et al.*, 1995) or with copper in berries (Brown *et al.*, 1995) show to be more effective than calcium-only sprays.

For the litchi case, Peng *et al.* (2001) reported that the spraying of 100 mmol L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> in full flowering, 19 and 39 days after this stage, reduced the incidence percentage of cracked fruits in the Noumici cultivar (14.4 to 10.4%). Similarly, applications of calcium chelates (180 mmol.L<sup>-1</sup> Ca) (Li *et al.*, 1999) and 132 mg L<sup>-1</sup> Ca (Qiu *et al.*, 2000), reduced the incidence of ripened fruits of Noumici cultivar litchi (27.7 to 17.5% and 47.2 to 15.4%, respectively).



**Cuadro 3. Análisis de correlación entre valores de incidencia de frutos bretados y variables climatológicas del sitio Santa María Jacatepec, Oaxaca.**  
**Table 3. Correlation analysis between incidence values of cracked fruits and climatological variables of Santa María Jacatepec site, Oaxaca.**

eval	IncReal	IncAc	HFProm	HRProm	TemProm	PRProm	HFMax	HRMax	TemMax	PRMax	HFMin	HRMin	TemMin	PRMin	HFMod	HRMod
IncReal	0.235	1														
IncAc	0.305	0.814	0.326	1												
HFProm	<.0001	0.149														
HRProm	0.031	-0.275	-0.359	1												
TemProm	-0.612	-0.438	-0.382	0.529	1											
PRProm	0.003	0.047	0.087	0.014		1										
HFMax	0.856	0.011	0.6	-0.431	-0.627	0.002	1									
HRMax	<.0001	0.96	0.004	0.05	0.002	0.838		1								
TemMax	0.653	-0.323	0.472	-0.19	-0.104	<.0001			1							
HFMin	0.001	0.154	0.03	0.409	0.655	<.0001										
HRMin	-0.37	-0.068	-0.15	0.282	0.352	-0.465	1									
TemMin	0.099	0.77	0.515	0.214	0.117	0.034	0.102									
PRMin	-0.63	-0.318	-0.392	0.5	0.672	-0.586	0.857	1								
HFMod	0.002	0.16	0.078	0.02	0.0008	0.005	-0.282	<.0001								
HRMod	0.099	-0.139	0.226	0.045	0.277	0.027	0.204	0.788	0.643	1						
TemMod	0.668	0.549	0.325	0.848	0.224	0.905	0.373	<.0001	0.001							
PRMod	-0.081	-0.427	0.00023	0.389	0.506	0.059	0.425	0.518	0.688	0.754	1					
HFMod	0.726	0.053	0.999	0.081	0.019	0.799	0.055	0.016	0.0006	<.0001						
HRMod	0.229	0.013	0.173	0.343	-0.048	0.225	0.261	-0.682	-0.501	-0.568	-0.202	1				
TemMod	0.319	0.96	0.452	0.128	0.836	0.327	0.253	0.0007	0.020	0.007	0.379		1			
PRMod	0.099	0.77	0.515	-0.283	-0.352	0.465	0.366	-1	-0.857	-0.788	-0.517	0.682		1		
HFMod	0.626	0.111	0.33	-0.359	-0.591	0.734	0.537	<.0001	<.0001	<.0001	0.016	0.0007				
HRMod	0.002	0.63	0.143	0.11	0.004	0.0002	0.012	<.0001	-0.910	-0.898	-0.417	0.603	0.909		1	
TemMod	0.523	-0.112	0.295	-0.211	-0.338	0.696	0.67	-0.893	-0.743	-0.553	-0.214	0.668	0.893	0.909		1
PRMod	0.015	0.627	0.193	0.357	0.134	0.0005	0.0009	<.0001	0.0001	0.009	0.352	0.0009	<.0001	<.0001	0.484	0.306
HFMod	0.690	0.734	0.66	-0.511	-0.771	0.535	0.119	-0.333	-0.67	-0.186	-0.499	0.156	0.333	0.484	0.306	1
HRMod	0.0005	0.0002	0.001	0.018	<.0001	0.0125	0.607	0.140	0.0009	0.419	0.021	0.498	0.139	0.026	0.177	
TemMod	0.682	-0.307	0.546	-0.323	-0.219	0.786	0.863	-0.376	-0.374	0.077	0.214	0.255	0.376	0.522	0.666	0.249
PRMod	0.0007	0.174	0.01	0.153	0.338	<.0001	<.0001	0.092	0.095	0.737	0.352	0.264	0.093	0.015	0.001	0.276

**Cuadro 4. Efecto de tratamientos en la incidencia de frutos bretados de litchi cv Mauritius, municipio de Santa María Jacatepec, Oaxaca. Ciclo de producción 2012.****Table 4. Effect of treatments on the incidence of cracked fruits of litchi cv Mauritius, Santa María Jacatepec municipality, Oaxaca. 2012 production cycle.**

Tratamiento	Porcentaje de incidencia de frutos bretados			
	07 abril 2012	14 abril 2012	21 abril 2012	28 abril 2012
1) Testigo absoluto	0 A * b **	0 A b	1.8254 A b	5.582 A a
2) AG 25 ppm	0 A b	0 A b	0 A b	1.795 AB a
3) AG 50 ppm	0 A a	0 A a	0.3509 A a	4.367 AB a
4) AG 100 ppm	0 A b	0 A b	0 A b	2.512 AB a
5) AG 200 ppm	0 A a	0 A a	0 A a	1.25 AB a
6) Ca 50 mmol L <sup>-1</sup>	0 A a	0 A a	0 A a	0 B a
7) Ca 100 mmol L <sup>-1</sup>	0 A a	0 A a	0 A a	1.017 AB a
8) Ca 200 mmol L <sup>-1</sup>	0 A a	0 A a	0 A a	0 B a

Valores con la misma letra en cada columna (\*) o en cada hilera (\*\*), son estadísticamente iguales, Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Letras mayúsculas corresponden a la comparación de medias entre tratamientos (columnas \*), letras minúsculas representan a la comparación de medias entre fechas de evaluación (hileras \*\*).

Huang *et al.* (2005) señalaron que las aplicaciones de calcio generalmente reducen la incidencia de bretado; sin embargo, el efecto depende del periodo de aplicación y la formulación del calcio aplicado. De la misma manera se señala que debido a que la incidencia de bretado puede ser variable entre cada uno de los árboles evaluados en el mismo cultivar, los efectos de las aplicaciones podrían no ser significativas con base a un análisis estadístico.

Es importante señalar que cuando el calcio es aplicado vía suelo, éste es absorbido por las raíces y posteriormente transportado a través de los vasos; sin embargo, debido a que los frutos generalmente tienen menor tasa de transpiración que las hojas, éstos presentarán una menor concentración de calcio (Huang *et al.*, 2005); además, en periodos de sequía, el calcio en el cultivo de litchi es absorbido por las hojas, y en un mínimo por los frutos, lo cual se ve reflejado con mayores tasas de bretado de frutos (Li y Huang, 1995).

El porcentaje de incidencia de frutos bretados en los tratamientos a base de ácido giberélico (AG) varió de 1.25 a 4.367 en la cuarta evaluación y no mostraron diferencias estadísticas con respecto a los frutos de las plantas testigo (Cuadro 2). Aun cuando Peng *et al.* (2001) indicaron que el AG reduce el bretado del fruto, al reducir la actividad de la celulosa, se considera necesario hacer nuevas evaluaciones en el cultivar Mauritius para determinar las dosis que permitan reducir el porcentaje de incidencia de bretado de frutos de litchi.

Huang *et al.* (2005) reported that calcium applications generally reduce the incidence of cracking; however, the effect depends on the application period and the formulation of applied calcium. In the same way, it is pointed out that because the cracking incidence can be variable between each of the evaluated trees in the same cultivar, the effects of the applications might not be significant based on a statistical analysis.

It is important to note that when calcium is applied via soil, it is absorbed by the roots and then transported through the vessels; however, fruits generally have a lower transpiration rate than leaves, so they will have a lower calcium concentration (Huang *et al.*, 2005); in addition, during drought periods, calcium in litchi cultivation is absorbed by the leaves, and at a minimum percentage by fruits, which is reflected by higher rates of fruit cracking (Li and Huang, 1995).

The percentage incidence of cracked fruits in the treatments based on gibberellic acid (AG) varied from 1.25 to 4.367 in the fourth evaluation and did not show statistical differences with respect to fruits of the control plants (Table 2). Although Peng *et al.* (2001) indicated that the AG reduces fruit cracking by reducing cellulose activity, it is considered necessary to make new evaluations in the Mauritius cultivar in order to determine the doses that allow reducing the incidence percentage of cracked litchi fruits.

## Conclusiones

El bretado del pericarpio, en frutos de litchi del cultivar Mauritius, se observó como un problema en etapa de precosecha en parcelas comerciales de litchi en el estado de Oaxaca. El desarrollo del síntoma se observó principalmente durante el desarrollo del arilo hasta la madurez comercial del fruto (abril-mayo), con incidencias máximas de 7.31 a 15.3% en etapa de madurez comercial durante los ciclos de producción 2011 y 2012.

El mayor porcentaje de incidencia de frutos bretados se observó en la cuarta evaluación en los frutos de las plantas testigo (5.582%), mientras que en las plantas tratadas con calcio a dosis de 50 y 200 mmol L<sup>-1</sup>, no se observaron frutos bretados, las cuales fueron estadísticamente diferentes.

Los frutos asintomáticos presentaron mayor contenido de boro en la pulpa respecto a los frutos bretados, además, no se observó una relación directa entre el contenido de calcio en el pericarpio y el síntoma de bretado.

El periodo e intensidad de horas luz presentaron una alta correlación (0.9171) con la incidencia del bretado de frutos.

## Literatura citada

- Abbott, J. D.; Peet, M. M.; Willits, D. H.; Sanders, D. C. and Gough, R. E. 1986. Effects of irrigation frequency and scheduling on fruit production and radial fruit cracking in greenhouse tomatoes in soil beds and in a soil-less medium in bags. *Scientia Hort.* 28:209-217.
- Aksoy, U.; Anac, D. and Sass, P. 1994. The effect of calcium chloride application on fruit quality and mineral content of fig. *Acta Hort.* 368:754-762.
- Brown, G.; Wilson, S.; Boucher, W.; Graham, B. and McGlasson, B. 1995. Effects of copper-calcium sprays on fruit cracking in sweet cherry (*Prunus avium*). *Scientia Hort.* 62:1-2.
- Budathoki, K. 2002. Lychee production in Nepal. *In: Papademetriou and, M. K. y Dent, F. J. (Eds.), Lychee production in the Asia-Pacific Region, FAO/RAP, Bangkok, Thailand.* 213 p.
- Campbell, R. J. and Campbell, C. W. 2001. Evaluation and introduction of lychee cultivars in South Florida, USA. *Acta Hort.* 558:119-123.
- Chande, J. S. and Sharma, N. K. 1992. Extent of fruit cracking in litchi and its control measures in Kangra Valley of Himachal Pradesh. *South Indian Hort.* 40:74-78.
- Chen, H. B. and Huang, H. B. 2001. China litchi industry: development, achievement and problems. *Acta Hort.* 558:31-39.

## Conclusions

The pericarp cracking, in litchi fruits of Mauritius cultivar, was observed as a problem in the pre-harvest stage in commercial litchi plots in Oaxaca state. The symptom development was observed mainly during the development of aril until the commercial maturity of the fruit (April-May), with maximum incidence of 7.31 to 15.3% in commercial maturity stage during the 2011 and 2012 production cycles.

The highest incidence percentage of fruit cracking was observed in the fourth evaluation in the fruits of the control plants (5.582%), whereas in the plants treated with calcium at doses of 50 and 200 mmol L<sup>-1</sup>, no cracked fruits were observed, which were statistically different.

The asymptomatic fruits showed higher content of boron in the pulp than the cracked fruits, in addition, a direct relation between the calcium content in the pericarp and the cracking symptom was not observed.

The period and intensity of light hours showed a high correlation (0.9171) with the incidence of cracked fruits.

*End of the English version*



- Coates, L. M.; Johnson, G. I.; Sardud, U. and Cooke, A. W. 1994. Postharvest diseases of lychee in Australia, and their control. *In: Johnson, G. L. and Highley, E. (Eds.), Development of postharvest handling technology for tropical tree fruits: A Workshop Held. Bangkok: ACIAR.* 68-69. pp
- Combrink, N. J. J.; Jacobs, G. and Maree, P. C. J. 1995. The effect of calcium and boron on the quality of muskmelons (*Cucumis melo* L.). *J. S. Afr. Soc. Hort. Sci.* 5:33-38.
- De la Garza, N. J. A. 2004. El litchi: alternativa para la diversificación frutícola en la Huasteca Potosina. Folleto técnico núm. 117. INIFAP. Huichihuayan, San Luis Potosí, México. 40 p.
- Fernandez, R. T.; Flore, J. A. and Ystaas, J. 1998. Intermittent application of CaCl<sub>2</sub> to control rain cracking of sweet cherry. *Acta Hort.* 468:683-689.
- Ghosh, S. P. 2001. Word trade in litchi: past, present and future. *Acta Hort.* 558:23-29.
- Howard, C.; Weaver, E. and Alspach, P. 1998. Calcium chloride application to reduce rain splitting in sweet cherries. *Orchardist.* 71:26-28.
- Huang, X.; Li, J.; Wang, H.; Huang, H. and Gao, F. 2001. The relationship between fruit cracking and calcium in litchi pericarp. *Acta Hort.* 558:209-215.

- Huang, H. C. X.; Wang, J. L.; Yuan, J. Y.; Lu, J. and Huang, H.B. 2005. An overview of calcium's role in lychee fruit cracking. *Acta Hort.* 665:231-240.
- Kanwar, J. S.; Nijjar, G. S. and Rajput, M. S. 1972. Fruit growth studies in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) at Gurdaspur (Punjab). *Punjab Hort. J.* 12:146-151.
- Kanwar, J. S. and Nijjar, G. S. 1984. Comparative evaluation of fruit growth in relation to cracking of fruits in some litchi cultivars. *Punjab Hort. J.* 24:79-82.
- Lang, G.; Guimond, C.; Flore, J. A.; Southwick, S.; Facticeau, T.; Kappel, F.; Azarenko, A. and Ystaas, J. 1998. Performance of calcium/sprinkler-based strategies to reduce sweet cherry rain-cracking. *Acta Hort.* 468:649-656.
- Li, J. G.; Huang, H. B.; Yuan, R. C. and Gao, F. F. 1992. Litchi fruit cracking in relation to fruit growth and water-uptake kinetics. *J. South China Agri. Univ.* 13:129-135.
- Li, J. G. and Huang, H. B. 1995. Physico-chemical properties and peel morphology in relation to fruit-cracking susceptibility in litchi fruit. *J. South China Agri. Univ.* 16:84-89.
- Li, J. G.; Gao, F. F.; Huang, H. B.; Tan, Y. W. and Luo, J. T. 1999. Preliminary studies on the relationship between calcium and fruit cracking in litchi fruit. *J. South China Agri. Univ.* 20:45-49.
- Li, J. G.; Huang, H. B.; Gao, F. F.; Huang, X. M. and Wang, H. C. 2001. An overview of litchi fruit cracking. *Acta Hort.* 558:205-208.
- Lin, L. W. 2001. Effect of mineral nutrient on fruit cracking rate of *Litchi chinensis* Sonn. *Soil Environ. Sci.* 10:55-56.
- Marshall, R. and Weaver, E. 1999. An update on the use of calcium chloride to reduce rain cracking of cherries - year 2 results. *Orchardist.* 72:34-36.
- Menzel, C. M. 1984. The pattern and control of reproductive development in lychee: a review. *Scientia Hort.* 22:333-345.
- Menzel, C. M. and Simpson, D. R. 1994. Lychee. In: Schaffer, B. and Anderse, P. C. (Eds.). *Handbook of environmental physiology of fruit crops.* Boca Raton: CRC. 2:123-145.
- Menzel, C. M.; Oosthuizen, J. H.; Roe, D. J. and Doogan, V. J. 1995. Water deficits at anthesis reduce CO<sub>2</sub> assimilation and yield of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) trees. *Tree Physiology.* 15(1):611-617.
- Mitra, S. and Ghosh, B. 1991. Description and performance of some litchi cultivars in West Bengal, India. *Yrbk. Aust. Lychee Growers' Assoc.* 1:64-79.
- Mitra, S. K.; Pereira, L. S.; Pathak, P. K. and Majumdar, D. 2005. Fruit abscission pattern on lychee cultivars. *Acta Hort.* 665:215-218.
- Mitra, S. K.; Pathak, P. K.; Debnath, S.; Sarkar, A. and Mondal, A. 2010. Elucidation of the factors responsible for cracking and sunburn in litchi and integrated management to minimize the disorders. *Acta Hort.* 863:225-234.
- Moon, B. W.; Choi, J. S. and Kim, K. H. 1999. Effect of calcium compounds extracted from oyster shell on the occurrence of physiological disorders, pathogenic decay and quality in apple fruits. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 40:41-44.
- Nacif, S. R.; Paoli, A. A. S. and Salomão, L. C. C. 2001. Morphological and anatomical development of the litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn. cv. Brewster). *Fruits (Paris).* 56(4):225-233.
- Peng, J.; Xi, J. B.; Tang, X. D.; Wang, Y. G.; Si, X. M. and Chen, J. S. 2001. Effect of Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and GA spray on leaves on the fruit cracking of 'Nuomici' litchi. *Acta Hort. Sinica.* 28:348-350.
- Pereira, L. S. and Mitra, S. K. 2004. Studies on fruit growth and development of litchi cultivars Bombai, China, Deshi and Early Large Red. *Horticultural Journal, Mohanpu.* 17(2):115-124.
- Qiu, Y. B.; Ou, L. X.; Xiang, X.; Chen, J. Z. and Li, Z. Q. 2000. Effects of foliage spray of high calcium nutrient solutions on fruit retention and cracking in litchi and longan. *Guangdong Hort.* 1:21-22.
- Richardson, D. G. and Ystaas, J. 1998. Rain-cracking of 'Royal Ann' sweet cherries: fruit physiological relationships, water temperature, orchard treatments, and cracking index. *Acta Hort.* 468:677-682.
- Rinderman R. S. y Gómez, C. M. 2001. *El Litchi.* 2ª (Ed.). Ed. Mundi-Prensa. México. 144 p.
- Rupert, M.; Southwick, S.; Weis, K.; Vikupitz, J.; Flore, J. and Zhou, H. 1997. Calcium chloride reduces rain cracking in sweet cherries. *California Agric.* 51:35-40.
- Sanyal, S. J. R.; Hasan, A.; Ghosh, B. and Mitra, S. K. 1990. Studies on sun-burning and skin cracking in some cultivars of litchi. *Indian Agric.* 34:19-23.
- Sethapakee, R. 2002. Lychee production in Thailand. In: lychee production in the Asia-Pacific Region. FAO/RAP, Bangkok, Thailand. 106-113 pp.
- Sharma, S. B. and Dhillon, B. S. 1988. Endogenous levels of abscisic acid in relation to fruit cracking in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Agril. Sci. Digest.* 8:55-58.
- Shear, C. B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortSci.* 10:361-365.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Sun, G. and Liu, Z. X. 1997. Experiment of controlling fruit cracking for Hanlumitao peach by spraying calcium. *China Fruits.* 3:27-29.
- Tukey, R. B. 1984. Calcium sprays may affect sweet cherry cracking. *Goodfruit Grower.* 35:46-49.
- Xu, J. K.; Chen, J. Z.; Zou, H. Q.; Ye, T. H. and Li, F. C. 1994. Studies on the relation between calcium and fruit-cracking in 'Hong Jiang' sweet orange. *J. South China Agri. Univ.* 15:77-81.
- Xu, X.; Wu, Z.; Chen, W. and Su, M. 2005. Effect of low temperature on relative enzyme activity and membrane peroxidation of lychee fruits. *Acta Hort.* 665:359-364.
- Zou, H. Q. and Xu, J. K. 1995. Studies on the relation between peel anatomical structure and fruit-cracking in 'Hongjiang' sweet orange. *J. South China Agri. Univ.* 16:90-96.