

# USO DE LOS RAYOS-X PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS INTERNOS PRODUCIDOS POR SECAMIENTO Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD DE SEMILLAS DE MAÍZ<sup>1</sup>

Ebert Pepe Obando Flor<sup>2</sup>; Maria Laene Moreira de Carvalho<sup>3</sup>;

---

## RESUMEN

*El trabajo fue conducido en los Laboratorios de Análisis de Semillas (DAG) y en el Laboratorio de Semillas Forestales (DCF) de la Universidad Federal de Lavras- MG, en el periodo de 1999 a 2000. Para evaluar la eficiencia de la utilización de los rayos-X en la identificación de los diversos tipos de daños internos provocados durante el secamiento de semillas de maíz a altas temperaturas; así como el efecto de esos daños en la calidad fisiológica de las semillas almacenadas. lotes de cultivares AG1143 e BR106, fueron sometidos al secamiento a temperatura de 50 °C. Los lotes fueron divididos en dos categorías, conforme presencia o no de daños internos visibles a simple vista y sometidas a la prueba de rayos-X (por 45' a 25 kyp de intensidad de radiación). Posteriormente fueron separados en tres sublotos: CDVCDRX (con daños visibles y detectados por los rayos-X), SDVSDRX (sin daños visuales y no detectados por los rayos-X), SDVCDRX (sin daños visuales y con daños detectados por los rayos-X). Los sublotos fueron evaluados en su calidad fisiológica, por pruebas de viabilidad y vigor. Los resultados demostraron la eficiencia de la prueba de rayos-X en la detección de daños internos de secamiento no observados a través del análisis visual. El vigor de las semillas de maíz con daños internos de secamiento es afectado de manera diversa, dependiendo del cultivar, época de evaluación y tipo de daño. Daños internos de secamiento detectados por el análisis radiográfico a pesar de no afectar a viabilidad inicial cuando se presentan en los dos sentidos (horizontal y vertical), disminuyen el vigor de las semillas después del almacenamiento.*

**Palabras claves:** *Zea mays L., daños de secamiento, almacenamiento, calidad fisiológica, rayos-X.*

---

<sup>1</sup> Parte de la Disertación de la tesis presentada en la Universidad Federal de Lavras, para la obtención del grado de Master en Fitotecnia.

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo M.Sc. Fitotecnia. Alumno de Doctorado del Departamento de producción Vegetal-Tecnología de Semillas de la Universidad de São Paulo (ESALQ-USP). e-mail: epoflor@esalq.usp.br

<sup>3</sup> Ingeniera Agrónoma, M.Sc. Fitotecnia, Ph.D. Universidad de Holanda. Profesora del Departamento de Fitotecnia (Semillas) de la Universidad Federal de Lavras. e-mail: mlmc@ufla.br

---

### ABSTRACT

***Use of X-rays for the evaluation of internal damages provoked by corn seed drying and the effect of those damages upon the seeds quality.***

*The work was conducted in the Seed Analysis Laboratory of the Department of Agriculture and Forest Sciences of the Universidade Federal de Lavras (Federal University of Lavras-MG), over the period of 1999 to 2000. Aiming to evaluate the efficiency of utilization of x-rays in the identification of the several types of internal damages provoked by corn seed drying to high temperatures as well as the effect of those damages upon the physiological quality of stored seeds, lots of the cultivars AG1143 and BR 106 were submitted to drying at the temperature of 50 °C. The lots were divided into two categories according to the presence or not of internal damages visible with the naked eye submitted to the X-ray test ( for 45' at 25 Kyp of radiation intensity) Afterwards, they were separated into three sublots. CDVCDRX (with visual damages and detected by X-ray), SDVSDRX (without visual damages and with damages detected by x-ray). The sublots were evaluated in their physiological quality by viability and vigor tests. The results showed the efficiency of X ray in detecting internal damages of drying not observed by visual analysis. The vigor of corn seeds with internal drying damages is affected in several manners, depending on the cultivar, evaluation time and sort of damage. Internal damages of drying detected by the radiographical analysis, in spite of not affecting early viability, when they occurs in the two directions horizontal and vertical (Double damage) decrease the vigor of seeds after storage .*

**Key words :** *Zea mays L. damage, drying, store, quality, X-ray.*

---

### INTRODUCCIÓN

La semilla es el principal medio de transferencia de tecnología generada en los programas de mejoramiento. Es considerada un producto noble por su alto valor económico, y por presentar un efecto directo en la producción agrícola, generando consecuentemente mayores divisas para el sector.

La producción de semillas de maíz de alta calidad y el mantenimiento de esa calidad durante el período de almacenamiento es influenciada básicamente por factores ambientales como la humedad y la temperatura del aire, y por la calidad inicial de la semilla. La localización y la severidad de daños en las semillas, es fundamental para ser considerada en la calidad de lotes de

semillas de maíz. Temperaturas elevadas de secamiento de semillas de maíz pueden generar rajaduras internas que tornan las semillas susceptibles a la quiebra total en operaciones subsecuentes (Bewley y Black, 1985). Esos daños pueden acelerar el proceso de deterioración durante el almacenamiento a largo plazo. Un secamiento demasadamente rápido puede reducir drásticamente la viabilidad de las semillas, produciendo daños inmediatos o latentes (Villela, 1991).

Los daños térmicos están relacionados con algunos factores, entre ellos el método de secamiento, el genotipo, cantidad de agua en las semillas, la temperatura de secamiento, el tiempo de exposición y la velocidad de secamiento

(Navratil y Burris, 1982;). Las semillas más húmedas son más sensibles a los daños térmicos, por eso cuanto mas elevado el contenido de agua, menor debe ser la temperatura empleada en el secamiento (Popinigis, 1985). Según Villela (1991), el daño térmico ocurre durante la última fase del secamiento, cuando el contenido de agua de la semilla y la velocidad de secamiento son menores por causa de la reducción de velocidad de evaporación y del aumento de temperatura del embrión.

Algunos daños en las semillas de maíz pueden ser visualizados a simple vista, como los daños de fracturas, y otras rajaduras visibles, son llamados daños externos. Las semillas que presentan daños externos visibles, en su mayoría pueden ser separadas por equipos durante el beneficio, no comprometiendo la calidad del lote. Por otro lado, semillas con algún tipo de daño interno, no pueden ser reconocidas fácilmente comprometiendo la calidad del lote. Herter y Burris (1989), concluyeron que no solo los daños grandes y visibles pueden reducir la viabilidad de las semillas, también daños menores o micro-daños, siendo aún invisibles a simple vista, reducen significativamente la viabilidad de las semillas de maíz.

La extensión de los daños depende del tipo de semilla, de la forma, del tamaño, de la espesura de la cubierta protectora, de la estructura y posición del embrión y de otros factores como la humedad de la semilla (Basra, 1994). Según Kirleis y Strohshine (1990), las rajaduras internas están generalmente asociadas al rápido secamiento del maíz en altas

temperaturas, seguida de un rápido enfriamiento en temperatura ambiente.

Las rajaduras internas, son explicadas por varios autores como el resultado de un gradiente de tensiones, que se establece en los granos y en las semillas, el cual es atribuido solamente a la temperatura. Los daños de secamiento ocasionados en semillas, pueden tener consecuencias inmediatas o latentes, manifestándose apenas después de cierto tiempo de almacenamiento y su detección ha sido realizada por pruebas, como los colorimétricos (uso de colorantes) que son observados por las porciones dañadas de la semilla (Girardin; Chavagnat y Bockstaller, 1993). Según autores como Cicero, Van der Heijden, Van der Burg y Bino (1998), Carvalho, Van Aelst, Van Eck y Hoekstra (1998), Carvalho, Van Aelst, Van Eck y Hoekstra (1999) y Brandão *et al.* (1999), los métodos tradicionales como observación visual y uso de colorantes que permiten visualizar los daños mecánicos en semillas de maíz no consideran la extensión y localización de daños externos y no evidencian daños internos, también, indican que el análisis radiográfico es un método eficiente para la verificación de daños internos en semillas de maíz.

La prueba de rayos-X, aprobada por la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (**International Seed Testing Association (ISTA)**, 1996), viene siendo utilizada para la identificación de semillas llenas, vacías y con daños en su morfología. Esta técnica fué primeramente introducida en Suecia en la década de 50 para la evaluación de la calidad de semillas de especies forestales (Simak y Gustafsson, 1953) y en los

últimos años ha sido sugerida la utilización de la técnica de los rayos-X para caracterizar y detectar daños internos en semillas (Cícero *et al.* 1998; Liu *et al.* 1997; Girardin; Chavagnat y Bockstaller 1993; Carvalho, 1998). La prueba de rayos-X también ha sido utilizada como prueba de rutina para la evaluación de la calidad de semillas de hortalizas (Simak, Bergsten y Henriksson, 1989; Liu, Hilhorst, Groot y Bino, 1997; y Van der Burg *et al.*, 1994).

La técnica de rayos-X tiene como principio, la absorción de rayos-X en diferentes cantidades por los diferentes tejidos de la semilla. Dependiendo de la espesura y/o densidad, la emisión fotográfica sensible es excitada diferencialmente dependiendo de la cantidad de radiación que recibe, generando una imagen. Las semillas son colocadas entre una fuente de rayos-X de baja energía y la radiografía/papel fotosensible. Cuando la radiografía/papel es procesada, una imagen visible de sombras claras y oscuras es formada creando así, una imagen permanente en la radiografía (Bino, Aartse y Van der Burg, 1993).

El desarrollo de la técnica de rayos-X en semillas también ha permitido la identificación de plántulas anormales por el análisis de imágenes de embriones con defectos, como por ejemplo, en estudios realizados por Bino, Aartse e Van der burg (1993), en la cual fué posible separar semillas de *Arabidopsis thaliana* de fenotipo salvaje de las semillas de fenotipo mutante. Según Chavagnat y Lezec (1984), análisis de rayos-X pueden predecir el desarrollo de las plántulas y posibilitar la selección de semillas de alta calidad además de dar

informaciones de la calidad de las semillas a través de sus estructuras internas.

Para Copeland (1976), además de que esta prueba de rayos-X brinda información sobre la calidad física, también proporciona referencias que pueden auxiliar las evaluaciones de viabilidad, pudiendo revelar deficiencias morfológicas que indican el potencial estructural de viabilidad. De acuerdo con Simak, Bergsten y Henrikson (1989), la prueba de rayos-X es un método alternativo y eficiente para determinar la calidad de semillas no germinadas de *Pinus silvestris* L. al final de la prueba de germinación.

A pesar de todos los avances en esta área, existe poca información sobre el uso de los rayos-X en la evaluación de daños internos en semillas. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la utilización de los rayos-X en la identificación de los diversos tipos de daños internos provocados por el secamiento de semillas de maíz en altas temperaturas, así como el efecto de esos daños en la calidad fisiológica de semillas almacenadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue conducido en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Departamento de Agricultura y en el Laboratorio de Análisis de Semillas Forestales del Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Federal de Lavras, en el período de 1999 a 2000.

Fueron utilizadas semillas de maíz del cultivar AG1143 y BR106, cosechadas en mazorcas con 28% de humedad, sometidas a secamiento en temperatura

de 50°C en un secador estacionario, modelo de pequeña escala descrito por Navratil y Burris (1982) posteriormente fueron desgranadas manualmente.

Los lotes de semillas provenientes de los dos cultivares (40 kg de mazorcas por cultivar) fueron divididos en dos categorías, presentando o no daños internos de secamiento conforme el análisis visual (con daños visuales "CDV" y sin daños visuales "SDV").

Las semillas de las dos categorías con daños visuales "CDV" y sin daños visuales "SDV" fueron sometidas a la determinación radiográfica de daños con auxilio de rayos-X. El tiempo de exposición y la intensidad de radiación que posibilitaron mejor visualización de daños internos en semillas de maíz, fueron determinados en ensayos preliminares probándose los tiempos y las intensidades siguientes (10,15,20,25, 30,35,40,45,50, segundos; y 20,25, 30,35,40,45,50 kvp). El equipamiento de rayos-X utilizado fue de la marca FAXITRON-HP modelo 43855 A X, y el material de radiografía fue del tipo MR 2000 de la firma Kodak. Durante la exposición a radiación, las semillas de las categorías SDV (sin daño visual) y CDV (con daño visual) fueron colocadas en bandejas acrílicas transparentes directamente encima del material radiográfico a una distancia de 35 cm de la fuente de rayos-X.

Las radiografías fueron revelados en una procesadora de revelación de rayos-X marca Kodak modelo M35X OMAT y analizadas visualmente sobre un transluminador marca HOEFER, modelo VIS-4. Después de someter para la radiación, las semillas de las categorías

con y sin daños visuales, fueron separadas conforme la presencia o ausencia de daños visualizados por las radiografías, en tres sub-lotes de semillas: semillas con daños visuales y que presentaron daños en los rayos-X (CDV-CDRX), semillas sin daños visuales y que no presentaron daños en los rayos -X (SDV-SDRX) y semillas sin daños visuales y que presentaron daños en los rayos-X (SDV-CDRX).

Para cada tipo diferente de daño encontrado en el análisis radiográfico, fueron separadas 20 semillas que fueron sometidas separadamente a la prueba de germinación. El número de semillas evaluadas para cada lote varió conforme el cultivar, hasta obtener un número suficiente de semillas para las evaluaciones de la calidad de los lotes con daño. Las semillas de los tres sub-lotes fueron tratadas con fosfina y embaladas en sacos de papel Kraft. Parte de las semillas fueron sometidas a la evaluación de la calidad y parte fue almacenada en ambiente convencional durante 9 meses. De esta forma las evaluaciones de la calidad fisiológica de los dos lotes fueron determinadas en dos épocas: inmediatamente después de la cosecha y después de 9 meses de almacenamiento a través de las siguientes pruebas:

**Prueba de germinación:** Fue realizada con 4 repeticiones de 50 semillas para cada sub-lote las cuales fueron distribuidas en sustrato de papel toalla del tipo Germitest, en el sistema de rollo, humedecidos con agua destilada con una cantidad equivalente a 2,5 veces el peso del sustrato seco. Los rollos fueron colocados en un germinador mantenidos a una temperatura constante de 25°C. La

evaluación fue efectuada a los 4 y 7 días después de la instalación de la prueba, siguiendo las recomendaciones de las Reglas para Análisis de Semillas RAS (Brasil, 1992).

**Primer conteo de la prueba de germinación:** Con la misma metodología utilizada para la prueba de germinación, fueron analizados los resultados del primer conteo obtenidos en el cuarto día después de sembrados, por la evaluación de las plántulas normales (Popinigis, 1985).

**Prueba de envejecimiento artificial:** Fue conducido siguiendo la metodología desarrollada por McDonald y Phaneendranath (1978), y complementada por Marcos Filho, Cícero y Silva (1987). Fueron acondicionadas 100 semillas distribuidas uniformemente, en cajas de gerbox conteniendo 40 ml de agua destilada. Las cajas gerbox fueron tapadas y mantenidas en una incubadora de tipo BOB regulada a 42°C durante 96 horas. Después ese período, las semillas fueron sometidas a la prueba de germinación, conforme prescripciones de las R.A.S. (Brasil, 1992).

**Prueba de frío con Suelo:** En bandejas (58x33x10 cm), conteniendo una mezcla de 2/3 de arena y 1/3 de tierra retirada de la camada arable en áreas cultivadas con maíz, y con la humedad ajustada para 60% de la capacidad de campo, fueron sembradas 200 semillas por su-b lote distribuidos en 4 sub-amostras de 50 semillas, conforme prescripción de ISTA (1995). Después de la siembra, las bandejas fueron mantenidas en la cámara fría, regulada a una temperatura de 10°C por siete días y posteriormente

mantenidas en temperaturas de 25<sup>+</sup> 2°C, en régimen alternado de luz y oscuridad (12 horas). El número de plántulas emergidas fue contabilizado 14 días después de la siembra.

**Prueba de tetrazólio:** La prueba fue realizada con 200 semillas por sub-lote, distribuidas en cuatro sub muestras. Las semillas fueron preacondicionadas en papel toalla humedecido, en un germinador a 30°C, durante 18 hora. Pasado ese tiempo, las semillas fueron seccionadas longitudinalmente, transferidas para vasos plásticos (200 ml) y sumergidas en una solución de sal de tetrazolio (2,3,5 trifenil clorato de tetrazolio). Los vasos plásticos fueron mantenidos en la oscuridad en una cámara de tipo BOD regulada a 30°C, durante 3 horas. Después de formada la coloración, las semillas fueron lavadas en agua corriente y evaluadas individualmente, conforme los criterios de interpretación propuesta por Barros (1986).

**Índice de Velocidad de Germinación:** Para la evaluación de esta prueba fue adoptada la metodología establecida por las Reglas para Análisis de Semillas aprovechándose la prueba de germinación. Las evaluaciones de las plántulas normales fueron realizadas diariamente y la velocidad de germinación fue calculada por la fórmula propuesta por Maguire (1962).

**Emergencia en condiciones controladas:** La prueba fue conducida en bandejas plásticas de 48x33x10 cm, con cuatro sub-muestras de 50 semillas por sub-lote, utilizándose como sustrato tierra sin cultivar y arena en la proporción de 1:2 respectivamente,

mantenidas a 70% de la capacidad de campo. La cámara de crecimiento fue mantenida a temperatura de 25°C en 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Durante la conducción de la prueba fueron realizados conteos diarios, iniciados a partir del tercer día después de la siembra, hasta estabilizar el estand, y fue determinado el índice de velocidad de emergencia, conforme Maguire (1962).

**Peso de materia seca de plántulas:** Las plántulas de la prueba de emergencia en condiciones controladas, fueron mantenidas hasta 21 días cuando fueron cortadas desde la base del suelo, colocadas en un saco de papel, y secas en una estufa con circulación de aire caliente (45°C), hasta alcanzar un peso constante, conforme Popinigis (1985).

**Diseño experimental:** Bloque completamente aleatorizado con cuatro repeticiones de 200 semillas por tratamiento, en esquema factorial de 3x2x2 (3 sub-lotes x 2 cultivares x dos épocas), con análisis conjunta para las épocas (momentos de almacenamiento).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Análisis radiográfico:** El análisis radiográfico de las semillas de los lotes y sub-lotes sometidos a las radiaciones y tiempo de exposiciones, demostró que el

tiempo de 45' y la intensidad de 25 kvp permitieron una visualización más nítida de los daños internos en las semillas de maíz. Según ISTA (1996), durante la regulación del equipo de rayos-X depende de varios factores como espesura, densidad, composición de la semilla y tipo de equipo utilizado. Cicero, Van der Heijden, Van der Burg y Bino (1998), trabajando con semillas de maíz del cultivar AG510, utilizaron el equipo FAXITRON A modelo 43805 N, encontrando que el tiempo de 5 minutos y la intensidad de radiación de 15 kvp, eran las ideales para visualizar daños internos. Carvalho, Van Aelst, Van Eck y Hoekstra (1998) determinaron para el cultivar de maíz AG122 un tiempo de 2,5 minutos y 15 kvp como el más indicado para la visualización de daños internos de estrés en precosecha. Van der Burg *et al.* (1994) y Oliveira (2000) encontraron respectivamente para tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) y cañafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Tambert,) intensidades de 10 kvp por 5 minutos y 25 kvp por 60 segundos como tiempos más indicados para la verificación de la estructura interna de las semillas.

Los resultados del análisis visual de todas las semillas de los dos lotes de maíz utilizados están representados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Semillas de maíz(%), separadas por medio del análisis visual en las categorías: con daños visuales(CDV) y sin daños visuales (SDV) en los lotes de los cultivares AG1143 y BR106. UFLA, Lavras, MG, 2000.

Lote	Categoría	
	CDV(%)	SDV (%)
AG 1143	44	56

El lote del cultivar BR106 mostró menor susceptibilidad al daño interno de secamiento en relación al de las semillas del lote del cultivar AG1143, siendo cosechadas las dos con la misma humedad de 28% y presentaron índices de 37 y 44%. Esos datos confirman observaciones hechas por Bdlia y Burris (1988), Nakagawa (1994), que encontraron variaciones en los grados de susceptibilidad a daños de secamiento para diferentes cultivares.

Las categorías de semillas seleccionadas por el análisis visual

(CDV y SDV) fueron sometidos a la prueba de rayos-X y nuevamente clasificadas en 4 su-blotes conforme, la Tabla 2.

El lote del cultivar AG1143 con daños visuales, presentó 97,7% de las semillas con daños también visualizados con la utilización de los rayos-X, mientras que el lote BR106 el valor fue de 96,1% indicando que hubo apenas una diferencia de 1,6% entre los dos cultivares con relación al tipo de daño interno de secamiento observado por medio del análisis radiográfico.

**Tabla 2.** Porcentajes de semillas de maíz (*Zea mays*) encontradas en cada categoría (sin daños visuales “SDV”, con daños visuales “CDV” y sub-lote (con daños después del análisis radiográfico “CDRX” y sin daños después el análisis radiográfico “SDRX”), de acuerdo con los resultados de la prueba de rayos-X. UFLA, Lavras, MG, 2000.

Lote	Categoría	Sub-lote	
		CDRX (%)	SDRX (%)
AG1143	SDV	26,4	73,6
AG1143	CDV	97,7	2,3
BR106	SDV	31,6	68,4
BR 106	CDV	96,1	3,9

Apenas un pequeño porcentaje de semillas que presentaron daños visuales (2,3% y 3,9%) no mostraron daños cuando se analizaron después de haberse sometido al análisis radiográfico. Esos resultados pueden ocurrir, conforme Carvalho *et al.* (1999), dependiendo de la posición del daño en el interior de la semilla. Cuando el daño es paralelo a la fuente de rayos-X, puede aparecer como un punto en la radiografía, impidiendo su visualización lo que sería una desventaja en la utilización de esos métodos de rayos-X, cuando la evaluación es efectuada apenas en un lado o ángulo de la semilla.

Semillas de la categoría sin daños visuales, mostraron 26,4% y 31,6% de daños para los cultivares AG1143 y BR106 respectivamente, cuando se analizaron radiográficamente, lo que indica la superioridad del método de rayos-X en la evaluación de daños internos de secamiento en relación al análisis visual. Resultados semejantes fueron observados por Carvalho *et al.* (1999) en el análisis de daños internos de precosecha en semillas de maíz.

Según Copeland (1976), a pesar de que la prueba de rayos-X es una prueba física, ésta da información que puede auxiliar en las evaluaciones de viabilidad, pudiendo revelar deficiencias morfológicas que indican el potencial estructural de viabilidad. De la misma forma Marcos Filho (1994) relató que estas pruebas que envuelven características físicas de las semillas, posiblemente están relacionadas al vigor.

Las semillas con daños visuales que no presentaron daños en la prueba de rayos-X (Tabla 2), fueron detectadas en porcentajes entre 3,9% para el lote del cultivar BR196 y 2,3% para las semillas del lote del cultivar AG1143, limitando la cantidad de semillas disponibles e imposibilitando la evaluación de la calidad fisiológica. De esta forma, la evaluación de la calidad fisiológica se restringió a los tres sub-lotes: con daños visuales con daños detectados por los rayos-X (CDV-CDRX), sin daños visuales sin daños detectados por los rayos-X (SDV-SDRX) y sin daños visuales con daños detectados por los rayos-X (SDV-CDRX).

El análisis radiográfico de las 20 semillas con daños horizontales, verticales y doble, sometidas a la prueba de germinación posibilitaron la obtención de los datos de la Tabla 3.

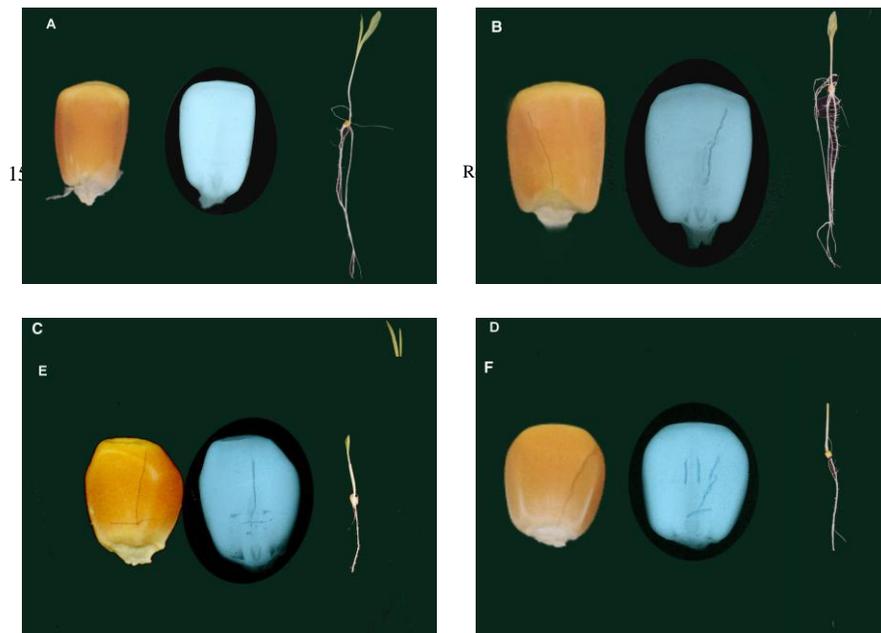
**Tabla 3.** Resultados (%) obtenidos en la prueba de germinación en semillas de maíz almacenadas por nueve meses, con daños visuales y con diferentes tipos de daños (vertical, horizontal y vertical-horizontal), observados por medio del análisis radiográfico. UFLA, Lavras, MG, 2000.

Tipo de Daño	Plántulas Normales	Plántulas Anormales	Semillas Muertas
Daño Horizontal	50	40	10
Daño Vertical	70	30	0
Daño Vertical-Horizontal	30	60	10

Los resultados del porcentaje de germinación de semillas con daño interno en el sentido horizontal y vertical (daños doble), resultaron en 60% de plántulas anormales, indicando que el tipo de daño detectado en las radiografías puede afectar de modo diferente la germinación de semillas. Esos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Carvalho *et al.* (1999) y Cícero *et al.* (1998), que observaron en semillas de maíz con daños internos, que el daño localizado perpendicularmente al eje embrionario, puede afectar la calidad

de la semilla, probablemente impidiendo la traslocación de nutrientes para el desarrollo del eje embrionario.

En la Figura 1, pueden ser observadas las semillas con los diferentes tipos de daños internos detectados por los rayos-X. La fotografía A, representa una semilla sin daño visual y sin daño después de ser sometido a los rayos-X originando una plántula normal. En la fotografía B puede ser observada una semilla con daño visual, radiografía con daño vertical detectado por los rayos-X, originando una plántula normal, demostrando que ese tipo de daño no lesiona en alta medida la plántula.



**Figura 1.** Fotos y radiografías de semillas y plántulas de maíz con y sin daños internos de secamiento. (A) semillas del sub lote SDVSDRX – plántula normal, (B) semillas del sub lote CDVCDRX daño vertical – plántula normal, (C) semilla del sub lote SDVCDRX daño horizontal – plántula normal, (D) semillas del sub lote SDVCDRX daño horizontal – plántula anormal, (E) semillas del sub lote CDVCDRX daño doble – plántula anormal, (F) semillas del sub lote CDVCDRX daño doble– plántula anormal. SDVSDRX (sin daño visual, sin daño detectados en las radiografías). CDVCDRX (con daño visual, con daño detectados en las radiografías).

En la fotografía C, puede ser observada una semilla sin daño visual y con daño horizontal perpendicular al eje embrionario detectado en la radiografía, originando una plántula normal, en tanto la fotografía D, muestra una semilla sin daño visual con daño perpendicular al eje, detectado solo en la radiografía, que originó una plántula anormal, indicando que este tipo de daño puede o no perjudicar el desarrollo de una plántula. Resultados semejantes fueron observados en trabajos realizados por Carvalho, Van Aelst, Van Eck y Hoekstra (1998).

En las fotos E y F se observan semillas con daño visual y con daño interno doble (horizontal y vertical), originando en los dos casos, plántulas anormales, por lo tanto afectando negativamente la germinación de las semillas después del almacenamiento.

**Calidad Fisiológica :** De modo general, las pruebas relacionadas con el vigor de las semillas permiten una evaluación más sensible de la calidad de ella en relación a la germinación, logrando una clasificación mas consistente de lotes con calidades distintas en relación a su potencial de desempeño en campo y/o almacenamiento.

En la Tabla 4, son presentadas las diferencias entre los lotes de los dos cultivares de los tres sub-lotes en las diferentes épocas. Fueron observadas diferencias en el vigor de las semillas entre los lotes (AG1143 y BR106), en los sublotes en los cuales fueron detectados daños por los rayos-X, el lote BR106 presentó valores superiores para el vigor, determinado por las pruebas de conteo final e índice de velocidad de emergencia en las dos épocas de evaluación. Para los sub-lotes en los cuales se detectaron daños visuales, y también daños en los rayos-X, apenas las pruebas de conteo final y peso seco detectaron diferencias estadísticas y valores superiores de vigor para el cultivar BR 106 en la época uno, y apenas la prueba de frío en la época dos. Dentro de esa óptica Bewley y Black. (1985) verificaron que la diferencia genética entre cultivares afectan la tolerancia al almacenamiento.

En la Tabla 5, están los resultados de las pruebas de primer conteo, índice de velocidad de germinación, tetrasolio (viabilidad) y prueba de germinación. Estas pruebas no detectaron variaciones significativas entre lotes de los cultivares, siendo apenas detectado

efecto de época y sub-lote. En la Segunda época hubo una disminución de la viabilidad detectada por la prueba de tetrazolio (viabilidad) y germinación; y en vigor por el índice de velocidad de germinación. Apenas los resultados de primer conteo no mostraron efectos de épocas para las semillas del lote sin daño (SDV-SDRX).

Los resultados del análisis de los sub-lotes para las dos épocas, indican que el sublote, sin daños visuales sin daño por los rayos-X (SDV-SDRX) presentó mayor vigor en relación a los sub-lotes con daños visualizados por los rayos-X. Estos resultados mostraron que el efecto de los daños internos de las semillas de maíz depende de la época de evaluación, independiente del lote del cultivar.

**Tabla 4.** Valores medios (%) relativos a los resultados de las pruebas de frío (PF), emergencia (E), índice de velocidad de emergencia (IVE), peso seco (PS) en gramos, envejecimiento acelerado (EA), en tres sub-lotes y dos épocas de evaluación en semillas de maíz. UFLA, Lavras, MG, 2000.

		SUBLOTES						
PRUEBA	LOTE	EPOCA 1			EPOCA 2			
		CDV CDRX	SDV SDRX	SDV CDRX	CDV CDRX	SDV SDRX	SDV CDRX	
<b>PF</b>	AG 1143	93 <b>a</b>	95 <b>a</b>	94 <b>a</b>	38 <b>b</b>	65 <b>b</b>	53 <b>b</b>	
	BR 106	97 <b>a</b>	100 <b>a</b>	97 <b>a</b>	67 <b>a</b>	81 <b>a</b>	62 <b>a</b>	
<b>E</b>	AG 1143	84 <b>b</b>	93 <b>a</b>	83 <b>b</b>	75 <b>b</b>	88 <b>a</b>	90 <b>a</b>	
	BR 106	89 <b>a</b>	97 <b>a</b>	96 <b>a</b>	84 <b>a</b>	91 <b>a</b>	91 <b>a</b>	
<b>IVE</b>	AG 1143	19.34 <b>b</b>	24.21 <b>b</b>	24.0 <b>a</b>	17.06 <b>b</b>	22.84 <b>a</b>	19.56 <b>a</b>	
	BR 106	24.93 <b>a</b>	26.85 <b>a</b>	25.39 <b>a</b>	19.06 <b>a</b>	20.22 <b>b</b>	19.19 <b>a</b>	
<b>PS</b>	AG 1143	12.65 <b>a</b>	12.84 <b>a</b>	12.07 <b>b</b>	10.05 <b>a</b>	11.47 <b>a</b>	11.37 <b>a</b>	
	BR 106	11.84 <b>a</b>	13.05 <b>a</b>	13.55 <b>a</b>	10.71 <b>a</b>	12.18 <b>a</b>	11.12 <b>a</b>	
<b>EA</b>	AG 1143	99 <b>a</b>	100 <b>a</b>	100 <b>a</b>	33 <b>b</b>	58 <b>a</b>	49 <b>a</b>	
	BR 106	100 <b>a</b>	100 <b>a</b>	100 <b>a</b>	66 <b>a</b>	71 <b>a</b>	53 <b>a</b>	

Las medias seguidas de la misma letra minúscula en la vertical dentro de cada época para cada prueba no difieren estadísticamente entre sí por la prueba Scott Knott al nivel de 5% de probabilidad.

El análisis de los sub-lotes, o sea el efecto de los daños en las semillas de maíz, indican que semillas con daños visibles a simple vista y por medio de las radiografías fueron negativamente afectadas en su viabilidad en relación a

los lotes que no tenían daños o aquellos con daños visibles apenas por los rayos-X. Esos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Cícero et al. (1998), que no observaron correlación entre los resultados de la germinación y el nivel de daños detectados en las semillas del cultivar AG510 por la prueba de rayos-X.

La evaluación del vigor, a través de la prueba de primer conteo y índice de velocidad de germinación mostró que el

sub-lote con daños visuales y también detectados por los rayos-X fue reducido en relación al sub-lote con daños observados apenas por los rayos-X y sucesivamente en relación al sub-lote sin daños detectados.

De manera general, los daños internos de secamiento no afectan la viabilidad

inicial de lotes de semillas de maíz, pero después de 9 meses de almacenamiento, semillas con daños visibles a simple vista y por los rayos-X pierden su viabilidad de modo significativo en relación al lote sin esos tipos de daños, independiente del cultivar. Es importante observar que las condiciones de almacenamiento fueron en condiciones ambientales no controladas.

**Tabla 5.** Valores medios (%) relativos a los resultados de las pruebas de primer conteo (PGPC), índice de velocidad de germinación (IVG), tetrazolio (TZ) y prueba de germinación(PG),referentes a dos épocas y tres sub-lotes de semillas de maíz. UFLA, Lavras, MG,2000.

PRUEBAS		CDV-CDRX	SDV-SDRX	SDV-CDRX
<b>PRIMER CONTEO</b>	EPOCA1	90 <b>A b</b>	97 <b>A a</b>	95 <b>A a</b>
	EPOCA2	76 <b>B c</b>	95 <b>A a</b>	89 <b>B b</b>
<b>IVG</b>	EPOCA1	28.60 <b>A a</b>	29.43 <b>A a</b>	29.11 <b>A a</b>
	EPOCA2	25.18 <b>B c</b>	28.12 <b>B a</b>	27.27 <b>B b</b>
<b>TETRAZÓLIO</b>	EPOCA1	93 <b>A a</b>	96 <b>A a</b>	95 <b>A a</b>
	EPOCA2	63 <b>B b</b>	80 <b>B a</b>	77 <b>B a</b>
<b>PRUEBA DE GERMINACIÓN</b>	EPOCA1	98 <b>A a</b>	100 <b>A a</b>	99 <b>A a</b>
	EPOCA2	82 <b>B b</b>	94 <b>B a</b>	92 <b>B a</b>

<sup>1</sup> Medidas seguidas de la misma letra minúscula en la horizontal para cada época dentro de cada sub-lote no difieren estadísticamente entre según la prueba de Scott Knott al nivel de 5% de probabilidad.

<sup>2</sup> Medias seguidas de la misma letra minúscula en la vertical para cada sub-lote dentro de cada época no difieren estadísticamente entre si por la prueba de Scott Knott al nivel de 5% de probabilidad.

El vigor inicial de los lotes de semillas con daños internos de estrés de secamiento, puede o no ser afectado dependiendo del cultivar. De acuerdo con Nakagawa (1999), en especies en que hay diferencias de comportamiento en el crecimiento de plántulas entre

genotipo los resultados deben ser interpretados dentro de cada genotipo. En la evaluación inicial antes del almacenamiento las pruebas de vigor, primer conteo, conteo final, índice de velocidad de emergencia y peso seco detectaron dependiendo del cultivar,

diferencias entre los sub-lotes de semillas con daño o no.

En la segunda época de evaluación a los 9 meses de almacenamiento, para el lote del cultivar AG1143, semillas con daños visuales y por los rayos-X tuvieron su vigor significativamente reducido en todas las pruebas cuando fueron comparados con los sub-lotes sin daños detectados. Para el cultivar BR106 la reducción del vigor de los sub-lotes con daño visual y por los rayos-X en relación al sub-lote sin daños, fue detectado por todas las pruebas con excepción del índice de velocidad de emergencia.

Diferencias en el vigor de los sub-lotes con daños visuales y rayos-X en relación a los sub-lotes con daños apenas detectados por los rayos-X fueron observados en los resultados de las pruebas de frío, índice de velocidad de emergencia y envejecimiento acelerado, primer conteo e índice de velocidad de germinación para el cultivar AG1143, mostrando efecto negativo en el vigor de lotes con los dos tipos de daños.

#### CONCLUSIONES:

- El análisis radiográfico de semillas de maíz permite la evaluación de daños internos de secamiento que no pueden ser observados a través del análisis visual.
- El vigor de las semillas de maíz con daños internos de secamiento es afectado de manera diversa, dependiendo del cultivar, tiempo de almacenamiento y tipo de daño.
- Daños internos de secamiento detectados por el análisis radiográfico, a pesar de que no afectan la viabilidad inicial de semillas de maíz, cuando se

presentan en los dos sentidos horizontal y vertical disminuyen el vigor de las semillas después del almacenamiento.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BARROS, A. S. do R. Manutenção e colheita de sementes. *En: CÍCERO, S. M.; MARCOS FILHO, J. e SILVA, W.R. , org. Atualização em produção de sementes. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.107-134.*
- BASRA, A. S. Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications. New York: Food Products, 1994. 389p.
- BDLIYA, P.M. and BURRIS, J.S. Diallel analysis of tolerance of drying injury in seed corn. *En: Crop Science. Vol. 28, No. 6 (1988); p.935-938.*
- BEWLEY, J. D. and BLACK, M. Seeds; physiology of development and germination. New York: Plenum, 1985. 367p.
- BINO, R. J.; AARTSE J. W. and VAN DER BURG, W. J. Non-destructive X-ray analysis os Arabidopsis embryo mutants. *En: Seed Science Research. Vol.3. (1993); p.167-170.*
- BRANDÃO, J; *et al.* Avaliações de danos mecânicos e seus efeitos na qualidade fisiológica de sementes de milho. *En: Revista Brasileira de Sementes. Vol. 21, No. 2 (1999); p.53-58.*
- CARVALHO, M.L.M. *et al.* Characterization of pre-harvest stree cracks in corn seed by visual, X-ray and LTSEM analysis: effect on seed quality. 1998.
- CARVALHO, M.L.M. *et al.* Pre harvest stress cracks in maize (*Zea mays* L.) kernels

as characterized by visual, X-ray and low temperature scanning electron microscopical analysis: effect on kernel quality. *En: Seed Science Research*. Vol. 9 (1999); p.227-236.

CHAVAGNAT, A. and LE LEZEC, M. Assessment of seed quality by industrial X-ray radiography. Application to apple seeds (*Malus pumila* Mill.). *En: Agronomie*. Vol. 5 (1984); p.187-192.

CÍCERO, S.M. *et al.* Evaluation of mechanical damages in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X ray and digital imaging. *En: Seed Science and Technology*. Vol. 26 (1998); p.603-612.

COPELAND, L.O. Principles of seed science and tecnology. Minneasota: Burgess , 1976. 369p.

GIRARDIN, P.; CHAVAGNAT, A. and BOCKSTALLER, C. Determination des caractéristiques des sementes de mais grace a la radio graphie rayons X. (Determination of characteristic of corn seed by x-ray). *En: Seed Science and Technology*. Vol. 21 (1993); p.545-551.

HERTER, U. and BURRIS, J. S Effect of drying rate and temperature on drying injury of corn seed. *En: Canadian Journal of Plant Science*. Vol.69, No. 3 (1989); p.763-774.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. Handbook of vigour test methods. Zurick: ISTA, 1995. 117p.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. Rules for Seed Testing. Switzerland: ISTA, 1996. 323p.

KIRLEIS, A. W. and STROSHINE, R. L. Effect of hardness and drying air temperature on breakage susceptibility and dry-milling characteristics of yellow dent corn. *En: Cereal Chemistry*. Vol. 67, No. 6 (1990); p.523-528.

LIU, Y. *et al.* Amounts of nuclear DNA and internal morphology of gibberellin-and abscisic acid-deficient *tomato* (*Lycopersicum esculentum* Mill.) seeds during maturation, imbibition and germination. *En: Annals of Botany Company*. No.79 (1997); p.161-168.

MAGUIRE, D.J. Speed of germination- aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *En: Crop Science*. Vol. 2, No. 2 (1962); p.176-177.

MARCOS Filho, J.; CÍCERO, S.M. e SILVA, W.R. Avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MARCOS Filho, J. Utilização de testes de vigor em programas de controle de qualidade de sementes. *En: Informativo ABRATES*. Vol.4, No.2, (1994); p.33-35.

McDONALD Junior, M.B. and PHANE-ENDRANATH, B.R. A modified accelerated aging seed vigor test for soybeans. *En: Journal of Seed Technology Lansing*. Vol.1, No. 3 (1978); p.27-37.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. *En: VIEIRA, R. D. e CARVALHO, .M., coo. Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.49-85.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. *En: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA,R.D. e FRANÇA NETO, J. Vigor de Sementes: Conceitos e Testes*. Londrinas: ABRATES, 1999, p.2.1-2.21.

NAVRATIL, R. J., BURRIS, J. S. The effect of drying temperature on corn seed quality. *En: Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa. Vol. 64, No. 3 (1982); p.487-496.

OLIVEIRA, L.M. de, Avaliação da qualidade de sementes de canafistula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert) pelos testes de germinação, tetrazólio e raios-X. Lavras: UFLA, 2000, 111p. Dissertação de Mestrado.

POPINIGIS, F. Fisilógia de Semente Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

SIMAK, M.; GUSTAFSSON, A. X-ray phoyography and sensitivity in forest tree species. *En: Hereditas*. Vol. 39. (1953); p.458-468.

SIMAK. M.; BERGSTEN. U. and HENRIKSSON, G. Evaluation of ungerminated seeds at the end germination test by radiografy. *En: Seed Science and Technology*. Vol..17 (1989); p.361-369.

VAN DER BURG, W. J. *et al.* Predicting tomato seedling morfology by X-ray analysis of seeds. *En: Journal of American Society of Horticultural Sciencie*. Vol.119, No. 2 (1994); p.258-263.

VILLELA, F. A. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. Piracicaba, 1991. 104p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Aprobado para su publicación:

Octubre 2 de 2002