

**EVALUACIÓN DE LA ASOCIACIÓN DE CARACTERÍSTICAS
MORFOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS DE LA RAÍZ DE YUCA (*Manihot
esculenta* CRANTZ) CON LA RESISTENCIA A PUDRICIÓN POR
Phytophthora tropicalis Y AL DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA**

JORGE ALEJANDRO CORREDOR GRANADA

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA AGRONOMÍA
MANIZALES
2005**

**EVALUACIÓN DE LA ASOCIACIÓN DE CARACTERÍSTICAS
MORFOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS DE LA RAÍZ DE YUCA (*Manihot
esculenta* CRANTZ) CON LA RESISTENCIA A PUDRICIÓN POR
Phytophthora tropicalis Y AL DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA**

JORGE ALEJANDRO CORREDOR GRANADA

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Agrónomo**

Presidente

ELIZABETH ÁLVAREZ, Ph. D.

Fitopatóloga

Co-Presidente

GERARDO MARTÍNEZ LÓPEZ, Ph. D.

Virólogo

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA AGRONOMÍA
MANIZALES**

2005

Nota de aceptación

Elizabeth Álvarez, Presidente

Gerardo Martínez L, Co-Presidente

Manizales, Marzo de 2005

Dedicado a:

Mis Padres Jorge Iván Corredor y Gloria Granada por el apoyo y esmero demostrado en mi formación, a mis hermanos Julián Andrés y Juan Pablo por todo su cariño y comprensión, y a mi primo Luis Felipe Betancur Granada a quien le agradezco de corazón por su generosidad, confianza, y a quien gracias hoy soy un Profesional.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

- A la Doctora Elizabeth Álvarez, Jefe de Programa de Patología de la Yuca en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este trabajo y por su constante motivación.
- A los Ingenieros John Bernard Loke, Germán Alberto Llano y Juan Fernando Mejía, al técnico Herney Rengifo y a la secretaria Zulma Lorena Zamora, grupo de trabajo del Programa de Patología de Yuca - CIAT, por su amistad y gran colaboración durante la realización de la investigación.
- A la Ingeniera Teresa Sánchez, asistente de investigación del Programa de Mejoramiento de Yuca – CIAT, por su gran amistad y colaboración incondicional.
- Al Doctor Gerardo Martínez por su disposición y buenos aportes en el documento final.
- Al Doctor Hernán Ceballos, Jefe del Programa de Mejoramiento de Yuca - CIAT, por su colaboración para la realización del proyecto.
- Al Ingeniero Jaime Eduardo Muñoz, Universidad Nacional de Palmira, por sus valiosas orientaciones en el diseño estadístico.
- A mi tía Aura Granada por el apoyo brindado durante la realización del trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 GENERAL	3
1.2 ESPECIFICOS	3
2. ESTADO DEL ARTE	4
2.1 IMPORTANCIA DE LA YUCA (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	4
2.2 PUDRICIÓN DE RAÍCES DE YUCA	5
2.2.1 Enfermedad “pudrición de raíz” causada por <i>Phytophthora</i> spp.	6
2.2.2 Resistencia varietal a <i>Phytophthora</i> spp.	8
2.2.3 Evaluaciones de la resistencia a <i>Phytophthora</i> spp. en las fases de penetración y pospenetración del patógeno	12
2.2.4 Evaluación de la resistencia a <i>Phytophthora</i> spp. en diferentes localidades	12

2.2.5 Resistencia varietal a <i>Phytophthora tropicalis</i>	13
2.3 DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA DE RAÍCES DE YUCA	15
2.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS DE LAS PLANTAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A ENFERMEDADES	19
2.4.1 Características morfológicas de las plantas, relacionadas con la resistencia a enfermedades	20
2.4.2 Características bioquímicas de las plantas relacionadas con la resistencia a enfermedades	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 MATERIAL VEGETAL	27
3.1.1 Ubicación geográfica de los cultivos	27
3.1.2. Labores de cultivo	28
3.2 AISLAMIENTO DE <i>Phytophthora tropicalis</i>	28
3.2.1 Recuperación de patogenicidad con lóbulos	28
3.2.2 Recuperación de patogenicidad en raíces	29
3.2.3 Pureza de <i>P. tropicalis</i> mediante la técnica PCR- RFLP	32

3.2.4 Inóculo	37
3.3 MORFOLOGÍA DE LA RAÍZ	37
3.3.1 Grosor de la cáscara	39
3.3.2 Dureza de la raíz	39
3.3.3 Contenido de humedad	39
3.3.4 Color de la cáscara externa, la corteza y el parénquima	39
3.3.5 Porcentaje de fluorescencia en el parénquima interno como indicador de la presencia de escopoletina	40
3.3.6 Contenidos de hierro y manganeso en la cáscara y el parénquima interno de la raíz	43
3.4 RESISTENCIA A <i>Phytophthora tropicalis</i>	45
3.4.1 Resistencia genética de la cáscara de la raíz a <i>P. tropicalis</i> en la fase de penetración del patógeno	46
3.4.2 Resistencia genética del parénquima de la raíz a <i>P. tropicalis</i> en la fase de pospenetración del patógeno	47
3.5 RESISTENCIA AL DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA	47
3.6 COMPARACIÓN ENTRE LOS CLONES DE JAMUNDÍ AÑO 2004 Y LA DOLORES AÑO 2003	48

3.7 ANÁLISIS DE DATOS PARA LAS VARIABLES DE PRP Y DFP	48
3.7.1 Cultivo en Jamundí	48
3.7.2 Cultivo en Rozo	51
4. RESULTADOS	52
4.1 RESISTENCIA DE LA CÁSCARA	52
4.2 RESISTENCIA DEL PARÉNQUIMA DE LA RAÍZ	65
4.3 CORRELACIONES ENTRE LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DE LA CÁSCARA Y EL PARÉNQUIMA	67
4.3.1 Resistencia de la cáscara	67
4.3.2 Resistencia del parénquima	69
4.3.3 Correlaciones entre Resistencia de la cáscara y del parénquima	69
4.4 RESISTENCIA AL DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA	69
4.5 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA RAÍZ	75
4.5.1 Dureza de la raíz	75
4.5.2 Grosor de la cáscara	76
4.5.3 Color de la cáscara externa, la corteza y el parénquima de la raíz	77

4.6 CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE LA RAÍZ	77
4.6.1 Porcentaje de humedad en el parénquima y en la cáscara de la raíz	77
4.6.2 Porcentaje de escopoletina en raíces expuestas a deterioro fisiológico y en raíces inoculadas con <i>P. tropicalis</i> sin perforación de la cáscara	79
4.6.3 Contenidos de hierro y manganeso en la cáscara y en el parénquima de la raíz	81
4.7 CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA RAÍZ Y LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA A PRP Y DFP	85
4.7.1 Grosor de la cáscara	85
4.7.2 Color de la cáscara, de la corteza y del parénquima	85
4.7.3 Dureza de la raíz	85
4.8 CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE LA RAÍZ Y LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA A PRP Y DFP	88
4.8.1 Contenidos de hierro y manganeso en la cáscara y el parénquima	88
4.8.2 Porcentajes de humedad de la cáscara y el parénquima	88
4.8.3 Porcentaje de escopoletina	93

4.9 CORRELACIÓN ENTRE LAS EVALUACIONES REALIZADAS PARA LOS CLONES DE JAMUNDI Y LOS DE LA DOLORES	97
4.9.1 Resistencia de la cáscara de la raíz a <i>P. tropicalis</i>	97
4.9.2 Resistencia del parénquima de la raíz a <i>P. tropicalis</i>	97
4.9.3 Grosor de la cáscara	97
4.9.4 Color de la corteza y color externo de la raíz	101
4.9.5 Contenidos de hierro y manganeso y su relación, en la cáscara de la raíz	101
4.9.6. Porcentaje de escopoletina evaluado en raíces expuestas a DFP	101
5. CONCLUSIONES	106
6. BIBLIOGRAFÍA	108
7. ANEXOS	117
7.1 PREPARACIÓN DE MEDIO DE CULTIVO V8A MODIFICADO PARA <i>P. tropicalis</i> Y OTRAS ESPECIES DE <i>Phytophthora</i> y <i>Pythium</i>	117
7.1.1 Medio de V8 Agar	117
7.1.2 Preparación de antibióticos y fungicidas para agregar al medio de cultivo	118

7.2 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DE LA CÁSCARA SEGÚN LOS PORCENTAJES DE ÁREA CON PUDRICIÓN DE PARÉNQUIMA	119
7.2.1 Clones de Jamundí, diseño en Parcelas Divididas	119
7.2.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar	120
7.3 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DE LA CÁSCARA SEGÚN LOS PORCENTAJES LESIONES OBSERVADOS EN EL PARÉNQUIMA	122
7.3.1 Clones de Jamundí, diseño en Parcelas Divididas	122
7.3.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar	123
7.4 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DEL PARÉNQUIMA	125
7.4.1 Clones de Jamundí, diseño en Parcelas Divididas	125
7.4.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar	126
7.5 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA AL DETERIORO FISIOLÓGICO DE LA RAÍZ	128
7.5.1 Clones de Jamundí, diseño en Parcelas Divididas	1281
7.5.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar	128
7.6 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE DUREZA DE LA RAÍZ	129

7.6.1 Clones de Jamundí, diseño en Bloques Completos al Azar	129
7.6.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar	130
7.7 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE GROSOR DE LA CÁSCARA	131
7.7.1 Clones de Jamundí, Diseño en Bloques Completos al Azar	131
7.7.2 Clones de Rozo, Diseño en Bloques Completos al Azar	132
7.8 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE PORCENTAJES DE ESCOPOLETINA EN EL PARÉNQUIMA	133
7.8.1 Clones de Jamundí, Diseño en Parcelas Divididas	133
7.8.2 Clones de Rozo, Diseño en Bloques Completos al Azar	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especies reportadas como causantes de la enfermedad pudrición de raíz causada por <i>Phytophthora</i> (PRP)	9
Tabla 2. Determinación de la resistencia varietal de la yuca a <i>Phytophthora</i> spp. mediante inoculaciones artificiales	11
Tabla 3. Buffer de extracción para ADN	34
Tabla 4. Cóctel de reacción para PCR	34
Tabla 5. Perfil térmico para PCR	35
Tabla 6. Buffer para la digestión	38
Tabla 7. Equivalencia de la escala de deterioro fisiológico	49
Tabla 8. Categorías de resistencia y susceptibilidad a <i>P. tropicalis</i> , según porcentaje promedio del área afectada con maceración de tejido 10 días después de realizar la inoculación, sobre la cáscara, en 26 clones de yuca de Jamundí	55
Tabla 9. Categorías de resistencia y susceptibilidad a <i>P. tropicalis</i> , según porcentaje promedio del área afectada con maceración de tejido 10 días después de realizar la inoculación sobre la cáscara, en 34 clones de yuca de Rozo	56

Tabla 10. Resistencia de raíces de 26 clones de yuca a <i>P. tropicalis</i> en términos de pudrición, lesiones y área con escopoletina, Jamundí	58
Tabla 11. Resistencia de raíces de 34 clones de yuca a <i>P. tropicalis</i> en términos de pudrición, lesiones y área con escopoletina, Rozo	60
Tabla 12. Correlación entre los porcentajes de área afectada y de lesiones, del método sin perforación de la cáscara	68
Tabla 13. Correlación entre las secciones proximal, central y distal evaluadas por resistencia de la cáscara de la raíz	68
Tabla. 14. Correlación entre las secciones proximal, central y distal evaluadas por resistencia del parénquima interno de la raíz	70
Tabla 15. Correlación entre la resistencia de la cáscara y la resistencia del parénquima a <i>P. tropicalis</i>	70
Tabla 16. Resistencia a <i>Phytophthora tropicalis</i> , área con presencia de escopoletina, características morfológicas de la raíz y resistencia a deterioro fisiológico de raíces de yuca de 26 clones establecidos en Jamundí	71
Tabla 17. Resistencia a <i>Phytophthora tropicalis</i> , área con presencia de escopoletina, características morfológicas de la raíz y resistencia a deterioro fisiológico de raíces de yuca de 34 clones establecidos en Rozo	73

Tabla 18. Correlación entre las secciones proximal, central y distal de la raíz de yuca según las evaluaciones de dureza de raíz	78
Tabla 19. Correlación entre las secciones proximal, central y distal de la raíz de yuca según las evaluaciones de grosor de cáscara	78
Tabla 20. Correlación entre los colores externo, de la corteza y del parénquima	78
Tabla 21. Correlación entre el porcentaje de humedad de la cáscara y la dureza de la raíz de yuca	80
Tabla 22. Contenidos en ppm y relaciones entre los contenidos para los elementos hierro y manganeso presentes en la cáscara y el parénquima	83
Tabla 23. Contenidos en ppm y relaciones entre los contenidos para los elementos hierro y manganeso presentes en la cáscara y el parénquima	84
Tabla 24. Correlaciones entre las características morfológicas de las raíces de la yuca y las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP, para 26 clones cosechados en el municipio de Jamundí	86
Tabla 25. Correlaciones entre las características morfológicas de las raíces de la yuca y las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP, para 34 clones cosechados en el corregimiento de Rozo	87

Tabla 26. Correlación entre las evaluaciones de dureza de la raíz y los porcentajes de área con pudrición, que determinaron la resistencia de la cáscara y el parénquima en las diferentes secciones de la raíz	89
Tabla 27. Correlaciones entre las características bioquímicas de las raíces de la yuca y las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP, para 26 clones cosechados en el municipio de Jamundí	91
Tabla 28. Correlaciones entre las características bioquímicas de las raíces de la yuca y las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP, para 34 clones cosechados en el corregimiento de Rozo	92
Tabla 29. Comparación entre las evaluaciones de porcentaje de lesiones, método sin perforación, realizadas en 18 clones cosechados en las localidades La Dolores en el 2003 y en Jamundí en el 2004	98
Tabla 30. Comparación entre las evaluaciones de porcentaje de área con pudrición de parénquima, método con perforación, realizadas en 18 clones cosechados en las localidades La Dolores en el 2003 y en Jamundí en el 2004	99
Tabla 31. Comparación entre las evaluaciones de grosor de la raíz realizadas en 14 clones cosechados en las localidades La Dolores en el 2003 y en Jamundí en el 2004	100
Tabla 32. Comparación entre las observaciones de color de la corteza y color externo de la raíz de la raíz, en 12 clones cosechados en las localidades La Dolores en el 2003 y en Jamundí en el 2004	102

Tabla 33. Contenidos de hierro y manganeso y valores de la relación Fe/Mn para 9 clones evaluados en las localidades de La Dolores y en Jamundí **103**

Tabla 34. Porcentajes de escopoletina en raíces expuestas DFP, Para 18 clones de yuca evaluados en las localidades de La Dolores y en Jamundí **105**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Corte transversal de la raíz de yuca	17
Figura 2. Cortes transversales de raíces de yuca observados bajo luz ultravioleta	26
Figura 3. Recuperación de la patogenicidad de <i>P. tropicalis</i> con lóbulos de hojas de yuca	30
Figura 4. Recuperación de patogenicidad de <i>P. tropicalis</i> con inoculación del parénquima de raíz de yuca	31
Figura 5. Regiones espaciadoras transcritas internas (ITS1 e ITS2) y la subunidad 5,8 S del rDNA	35
Figura 6. Raíz de yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) en la que se diferencian las secciones proximal central y distal de la raíz	38
Figura 7. Descriptores morfológicos para la determinación de los colores en las diferentes partes de la raíz	41
Figura 8. Raíces inoculadas con <i>P. tropicalis</i>	42
Figura 9. Corte transversal de una raíz de yuca con DFP	42

Figura 10. Método para la diferenciación de escopoletina de aflatoxinas en raíces inoculadas con <i>P. tropicalis</i>	44
Figura 11. Porcentaje de área afectada por <i>P. tropicalis</i>	49
Figura 12. Valores de DFP según la escala	50
Figura 13. DFP de la raíz	50
Figura 14. . Corte transversal de raíz de yuca afectado por <i>P. tropicalis</i> , avance de <i>P. tropicalis</i> a través de la cáscara causando pudrición en el parénquima	53
Figura 15. Amplificación de las regiones espaciadoras ITS 1 y 2 del ADN ribosomal de aislamientos de <i>Phytophthora</i> spp	53
Figura 16. Verificación de la pureza para la especie <i>P. tropicalis</i> con enzimas de restricción (<i>Alu I</i> , <i>Msp I</i> y <i>Taq I</i>)	54
Figura 17. Categorías de resistencia para la población CM 9582	64
Figura 18. Resistencia de la cáscara en el clon CM 9582-32	64
Figura 19. Daños observados al quinto día, en cortes transversales de raíces del clon HMC-1 inoculadas con <i>P. tropicalis</i>	66
Figura 20. Relación entre los valores de dureza de la sección central de la raíz y el porcentaje de humedad de la cáscara para 26 clones cosechados en Jamundí	80
Figura 21. Presencia de escopoletina en el perímetro de la infección por <i>P. tropicalis</i> , inoculado sobre la cáscara de raíces del clon M Tai 8	82

Figura 22. Presencia de escopoletina en parénquima expuesto a deterioro fisiológico **82**

Figura 23. Correlación entre la dureza de la sección central de la raíz y el porcentaje de pudrición evaluado en la sección central de raíces de 26 clones del cultivo de Jamundí

90

Figura 24. Correlación entre el porcentaje de humedad en la cáscara y el porcentaje de pudrición promedio, para 26 clones de yuca cosechados en Jamundí **94**

Figura 25. Correlación entre el porcentaje de humedad en la cáscara y el porcentaje de pudrición evaluado en la sección central, para 26 clones de yuca cosechados en Jamundí **94**

Figura 26. Relación entre el porcentaje de escopoletina en raíces sometidas a DFP y el porcentaje de DFP observado de dichas raíces, para 26 clones de un cultivo ubicado en Jamundí **95**

Figura 27. Relación entre el porcentaje de escopoletina en raíces sometidas a DFP y el porcentaje de DFP observado de dichas raíces, para 34 clones de un cultivo ubicado en el Rozo **95**

Figura 28. Relación entre los valores promedio de porcentaje de escopoletina en el parénquima, observado en raíces sometidas a PRP sin perforación de la cáscara y los porcentajes de área con PRP de 26 clones ubicados en Jamundí **96**

Figura 29. Relación entre los valores promedio de porcentaje de escopoletina en el parénquima, observado en raíces sometidas a PRP sin perforación de la cáscara y los porcentajes de área con PRP de 34 clones ubicados en Rozo **96**

Figura 30. Correlación entre el porcentaje de lesiones y las relaciones Fe/Mn encontrados en 16 clones de yuca de La Dolores **104**

RESUMEN

Se relacionaron las características morfológicas y bioquímicas de raíces de 60 clones de yuca con las evaluaciones por resistencia de raíz a Deterioro fisiológico poscosecha (DFP) y a Pudrición de raíces inoculadas con *Phytophthora tropicalis*. (PRP). Aunque se encontraron evidencias lógicas con los caracteres dureza de la raíz y porcentaje de humedad en la cáscara que podrían explicar la resistencia de la raíz de yuca a *P. tropicalis*, se concluyó que las características morfológicas: grosor de la cáscara, dureza de la raíz y colores externo de la raíz, de la corteza y de la pulpa, no estuvieron correlacionadas con las evaluaciones por resistencia a PRP y al DFP; igualmente las características bioquímicas: contenidos de humedad, hierro y manganeso, en la cáscara y en el parénquima, se encontraron bajamente relacionadas con las evaluaciones por resistencia. Los porcentajes de escopoletina en raíces expuestas a DFP estuvieron correlacionados con las evaluaciones de deterioro fisiológico con un $r = 0,67$ para los clones de Jamundí y de 0,76 para los de Rozo. Igualmente, esta correlación se presentó para la escopoletina observada en las evaluaciones de pudrición que determinaron la resistencia de la cáscara, con correlaciones según el valor promedio de las tres secciones de la raíz, con $r = 0,65$ para los clones de Jamundí y 0,72 para los provenientes de Rozo, constatando que la expresión de la escopoletina se presenta tanto con el deterioro fisiológico como con patológico de la raíz. Se realizó el análisis para el grupo de clones ubicados en Jamundí y en La Dolores, comparando entre los resultados obtenidos, para las evaluaciones de caracteres morfológicos y bioquímicos y de resistencia de la raíz a *P. tropicalis*. Este análisis permitió determinar diferencias muy marcadas entre las diferentes evaluaciones, relacionadas con las condiciones ambientales propias de cada localidad.

Palabras claves: Yuca, *Phytophthora tropicalis*, Pudrición de raíces por *Phytophthora* y Deterioro fisiológico poscosecha.

INTRODUCCIÓN

La yuca es afectada por múltiples problemas, las enfermedades fungosas y bacterianas ocupan un lugar destacable con una distribución e importancia económica que varían considerablemente. Además el rápido deterioro que sufren las raíces de yuca luego de ser cosechadas, proceso llamado Deterioro Fisiológico de Poscosecha (DFP), causa pérdidas económicas considerables y es poco lo que hasta el momento se conoce del mismo.

Entre las enfermedades que atacan el cultivo de la yuca, las pudriciones radicales causadas por *Phytophthora* spp. (PRP) causan pérdidas importantes que pueden llegar hasta el total de la producción en algunas regiones de Brasil, Cuba y Colombia, mientras que la ocurrencia de DFP es un problema presente en todas las zonas productoras de yuca asociado a la variedad del material, a los daños mecánicos que ocurren durante la cosecha y con condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa.

Las últimas investigaciones realizadas en CIAT, han manejado un nuevo enfoque, tratando de explicar la resistencia de clones de yuca al PRP y al DFP evaluando las condiciones ambientales que los predisponen, las características morfológicas y bioquímicas de la raíz, realizando técnicas moleculares como el análisis de QTL's para determinar genes asociados a la resistencia de la enfermedad PRP, y a través de evaluaciones de laboratorio exponiendo raíces a PRP y DFP.

Los resultados de investigaciones que determinaron la correlación entre algunos caracteres morfológicos y bioquímicos con severidad de PRP (cantidad de lesiones en el parénquima y pudrición del parénquima) fueron validados en esta investigación, en la cual se realizó el análisis de 60 clones

cosechados en el municipio de Jamundí y el corregimiento de Rozo – Palmira, ubicados en el Valle del Cauca - Colombia y a los cuales se les evaluaron caracteres morfológicos y bioquímicos de sus raíces, que posiblemente estarían correlacionados con la resistencia al PRP y al DFP.

Algunos de los clones evaluados de Jamundí fueron comparados con los resultados de evaluaciones realizadas en el corregimiento de La Dolores-Palmira, para tratar de determinar el efecto ambiental sobre estos clones.

1. OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Validar la relación de características bioquímicas y morfológicas de la raíz de yuca, con la resistencia a pudrición de raíz causada por *Phytophthora tropicalis*, y al deterioro fisiológico poscosecha en raíces de 60 clones procedentes de cultivos establecidos en el municipio de Jamundí y el corregimiento de Rozo – Valle del Cauca.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1.2.1 Evaluar la resistencia de las raíces de 60 clones de yuca a *P. tropicalis*, mediante inoculación de la cáscara y el parénquima de la raíz.

1.2.2 Estimar la resistencia de las raíces de los 60 clones de yuca al Deterioro fisiológico poscosecha.

1.2.3 Evaluar el grosor de la cáscara, colores y dureza de la raíz en los 60 clones de yuca.

1.2.4 Calcular los porcentajes de escopoletina de los 60 clones yuca, en raíces inoculadas con *P. tropicalis* y en raíces expuestas a Deterioro fisiológico poscosecha.

1.2.5 Determinar los contenidos de humedad, de hierro y manganeso en la cáscara y el parénquima, en raíces de 60 clones de yuca.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 IMPORTANCIA DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)

La yuca es un cultivo muy importante en los trópicos, es la cuarta fuente energética en la alimentación humana después del arroz, el trigo y el maíz, en el componente básico de la dieta de más de 1.000 millones de personas (FAO/FIDA 2000, citados por Ceballos, 2002) y tiene una destacada adaptabilidad a las diferentes condiciones edafoclimáticas, mostrando un buen desarrollo tanto en condiciones adversas de carácter biótico como abiótico (Lozano, 1991b; Ceballos 2002). Se ubica en latitudes menores a los 30°, y altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1800 m. El principal producto económico son sus raíces, pero las hojas de yuca también tiene un excelente potencial pues son utilizadas en Africa y Asia, para la alimentación humana y animal.

Los productores de yuca más importantes en el mundo son actualmente Nigeria, Brasil, Tailandia, Indonesia y Congo. El reporte de producción mundial en el año 2003 fue de 187'665.489 toneladas métricas, cifra considerable si se compara con otro producto de mayor consumo como la papa (*Solanum tuberosum*), el cual tuvo una producción mundial de 311'416.329 toneladas métricas. En Colombia la producción de yuca, 185.000 toneladas métricas, es muy inferior a la de papa, 2'850.000 toneladas métricas (FAO, 2004). Se han reportado aumentos en la producción para consumo humano del 50 % en África y de un 70 % en Asia (Plucknett *et. al.*, 1999).

Según Montaldo (1985), la yuca es conocida con diferentes nombres vulgares; según el país: casava (Holanda), cassava (Estados Unidos), caxcamote (Guatemala), mandioca (Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil) y manioc (Francia y Alemania) (Montaldo 1985).

Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Clase: Dicotiledonea
Subclase: Archichlamydeae
Tribu: Manihoteae
Orden: Euphorbiales
Familia: Euphorbiaceae
Género: Manihot
Especie: *Manihot esculenta* Crantz

2.2 PUDRICIÓN DE RAÍCES DE YUCA

Como causante de pudriciones radicales en yuca se reportan los patógenos: *Rossellinia* spp., *Sclerotium rolfsii*, *Fomes lignosus* (agente causante de la pudrición algodonosa) y varias especies de *Phytophthora* (Álvarez y Llano, 2002). Para este último, en un estudio realizado sobre diferentes zonas edafoclimáticas de Colombia, se pudo determinar que existen varias especies altamente patogénicas como causantes de pudriciones de raíz en el Valle, Quindío y Atlántico (Sánchez, 1998), situación que complica aún más el problema de pudriciones radicales.

La pudrición de raíces en el cultivo de la yuca es importante en áreas con suelos arcillosos o muy compactos, suelos de color negro, mal drenados o donde ocurren

excesivos períodos de lluvia. También donde con frecuencia se siembra yuca y donde se hace uso de material infectado para la siembra (Lozano y Both, 1982; Lopes *et al.*, 1984; Takatsu and Fukuda, 1990; Lozano, 1991b; Johnson y Palaniswami, 1999). Especies del género *Phytophthora* son un problema en la región Nordeste de Brasil, Centro América y en Colombia, concentrándose en este último, las pérdidas en sitios del Norte del Cauca, Valle del Cauca, Quindío, Bolívar y Amazonía, regiones con alta incidencia de la enfermedad (Loke, 2004; CIAT, 1984). La enfermedad constituye uno de los problemas más comunes en la producción de yuca y para su control se han recomendado tratamientos químicos al material de propagación, selección de suelos con textura franca, bien drenados, cultivo en caballones, rotación de cultivos y la cosecha precoz (Lozano y Booth, 1982). Investigaciones recientes recomiendan la selección de semilla, su tratamiento térmico, control biológico y un programa de fertilización, pues estas prácticas han mostrado buen control de la enfermedad, disminuyendo la incidencia y severidad de pudrición de raíces en un campo infestado naturalmente (CIAT, 2004).

2.2.1 Enfermedad “pudrición de raíz” causada por *Phytophthora* spp. La Pudrición de raíz causada por diferentes especies de *Phytophthora*, es la enfermedad más destructiva en seis micro regiones que comprenden 34 municipios productores de yuca en el Estado de Paraíba, Brasil (Lopes *et al.*, 1984). Lozano (1991a) reporta 300,000 ha de yuca severamente afectadas por pudriciones radicales en el Norte y Nordeste de Brasil, con pérdidas hasta 100%. Esta enfermedad se ha reportado en África y en América tropical causando pérdidas en el rendimiento que alcanzaron hasta el 80% de la producción total (Lozano y Booth, 1982). Igualmente, por causa de pudrición de raíz, en Colombia, se ha reducido la producción total de yuca hasta el 80% (Booth, 1976).

En 1997 se cuantificaron las pérdidas de pudrición de raíz de yuca causada por *P. palmivora* en el Distrito de Salem de Tamil Nadu - India; donde la incidencia de la

enfermedad llego al 43% (Johnson y Palaniswami, 1999). Una situación similar se reportó en Colombia en el 2003, cuando se evaluó la incidencia de la enfermedad en raíces para un lote ubicado en el corregimiento de Montenegro, Departamento del Quindío, encontrando que el 38% de las raíces cosechadas presentaban pudrición (CIAT, 2004).

Phytophthora tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Stramenopila
División: Oomycota (mohos acuáticos)
Subdivisión: Mastigomicotina
Clase: Phycomycetes
Subclase: Oomycetes
Orden: Peronosporales
Familia: Pythiaceae
Genero: *Phytophthora*

Anteriormente los Oomycota fueron clasificados como hongos debido a su crecimiento filamentosos y por alimentarse de materia en descomposición, sin embargo la pared celular de los Oomycota no esta compuesta de quitina, como en un hongo, sino que está formada de una mezcla de compuestos celulósicos y glican. Los núcleos dentro de los filamentos son diploides, con dos juegos de cromosomas, no son haploides como en los hongos (Waggoner, 1995)

Las especies de *Phytophthora* que afectan la yuca tienen un amplio rango de plantas hospederas, atacando desde arbustos hasta árboles, y causándoles diferentes enfermedades. Se han identificado varias especies de *Phytophthora* como agente causante de la pudrición de raíz en el cultivo de la yuca (Tabla 1)

2.2.2 Resistencia varietal a *Phytophthora* spp. El manejo de enfermedades basado en resistencia varietal, ha estimulado la búsqueda de clones resistentes por ser una medida eficiente para reducir las pérdidas debidas a pudrición de raíz causada en cultivos de yuca, proporcionando de esta manera bajos costos económicos y ambientales (Loke 2004). Existen varios ejemplos de adopción exitosa de clones de yuca resistentes a la enfermedad, uno de estos ocurrió en 1990, cuando la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) y el Centro de Pesquisa Agropecuaria del Trópico Umido, liberaron dos clones de yuca resistentes a la pudrición de raíz, Mae Joana (IM-175) y Zolhudinha (IM-158). La adopción de estos clones, junto con la aplicación de prácticas culturales apropiadas, permitió aumentar los rendimientos de raíces en más de un 80% en la Zona de Varzea del Norte de Brasil, Estado de Amazonas (Lozano, 1991a).

Uno de los estudios más recientes fue la evaluación de diez clones de yuca (Pao, Branquinha, Paxiubao, Manteiguinha, Manteiguinha Polo Agroflorestal, Agromazon II, Agromazon III, MD-33, MX-26 y MX-2) en Acre, Brasil, en 1999/2000 y 2000/2001 durante cuatro épocas de cosechas (8, 10, 12 y 14 meses después de la siembra). Con los clones MD-33 y Pao se obtuvieron altos rendimientos y resistencia a pudrición de raíz causado por *P. drechsleri*, la cosecha de raíces 14 meses después de la siembra mostró un mayor rendimiento pero también la incidencia de pudrición de raíz fue más alta y se encontro que los factores determinantes para la incidencia de la enfermedad fueron el clon y la época de cosecha (Mendonca *et al.*, 2003). Utilizando clones suministrados por EMBRAPA y CIAT, comunidades indígenas de Mitú (Vaupés, Colombia) adoptaron clones de yuca con resistencia a *Phytophthora* spp., mediante investigación participativa (Llano *et. al.*, 2001).

Tabla 1. Especies reportadas como causantes de la enfermedad pudrición de raíz causada por *Phytophthora* (PRP)

ESPECIE	RAÍCES	PLANTA	LOCALIDADES	REFERENCIAS
<i>P. arecae</i> (Coleman) Pethybridge	Pudrición	Marchitez	CIAT, Colombia	Alvarez y Barragán, 1998; Alvarez <i>et al.</i> , 1997; Barragán y Alvarez, 1998.
<i>P. capsici</i> Leonina	Pudrición	Marchitez	Brasil	Lima <i>et al.</i> , 1993
<i>P. cryptogea</i> Pethybridge y Lafferty	Pudrición de parénquima de color gris oscuro	Marchitez	CIAT, Colombia	Buyckx, 1962; CIAT, 1991; Lozano y Nolt, 1994
<i>P. drechsleri</i> Tucker	Pudrición del parénquima con olor penetrante y color crema	Marchitez, defoliación y caída de los extremos de la ramas	Estado de Sergipe – Brasil	Figuereido e Albuquerque, 1970; Oliveros <i>et al.</i> , 1974, Lozano y Nolt, 1994
<i>P. erythroseptica</i> Pethybridge	Pudrición	Marchitez		Fassi, 1957
<i>P. meadii</i>	Pudrición	Marchitez	Colombia	Barragán y Álvarez, 1998
<i>P. melonis</i>	Pudrición	Marchitez	CIAT, Colombia	CIAT, 2000
<i>P. nicotinae</i> var <i>nicotinae</i>	Pudrición de olor leve y color pardo	Marchitez repentina de plantas jóvenes y adultas	CIAT, Colombia	Soto <i>et al.</i> , 1988; Lozano y Loke, 1994
<i>P. palmivora</i>	Pudrición con olor leve y de color amarillo claro	Marchitez	Distrito de Salem de Tamil Nadu, India	Johnson y Palaniswami, 1999
<i>P. tropicalis</i>	Pudrición con olor a fermentación y de color amarillo	Marchitez y necrosamiento de tallos	Dpto del Quindío, Colombia	CIAT, 2000

Fuente: Loke John. *Tesis de Maestría, 2004*

Diversas entidades de investigación como CIAT, el Instituto Nacional de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT), EMBRAPA, International Institute for Tropical Agriculture (IITA) y Central Tuber Crops Research Institute (India) cuentan con programas de fitomejoramiento que han permitido aumentar los potenciales productivos de los clones comerciales actuales con respecto a los que tradicionalmente se cultivan.

Muchas de las investigaciones de resistencia a *Phytophthora* spp. se han realizado a nivel de laboratorio o invernadero, por ser ecológicamente más acordes con el ambiente, además las inoculaciones artificiales permiten obtener materiales por resistencia gracias a condiciones estándares que limitan las ocasiones de escape, haciendo de esta manera las caracterizaciones más rápidas y confiables (Iwaro *et al.*, 1996).

Pese a que Takatsu y Fukuda (1990) concluyen que sin métodos estandarizados de inoculación y evaluación de la resistencia a cada patógeno que causa pudrición de raíz en yuca, no será posible obtener información confiable sobre la genética de esta enfermedad tan compleja, en la Tabla 2 se muestran las investigaciones que se han realizado en los últimos años para determinar resistencia de clones de yuca a *Phytophthora* spp, encontrando diferencias en cuanto a las metodologías de inoculación que van desde el manejo de plántulas *in-vitro*, plántulas en invernadero, raíces gruesas y hojas. Sin embargo, las anteriores investigaciones determinaron que las raíces gruesas proporcionan datos más confiables, en contraste con la inoculación de plántulas en casa de malla (López y Lozano, 1992).

Tabla 2. Determinación de la resistencia varietal de la yuca a *Phytophthora* spp. mediante inoculaciones artificiales

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	REFERENCIA
Clones de yuca resistentes a <i>P. nicotianae</i> var. <i>nicotianae</i>	Inoculación de raíces gruesas de plantas de 10-12 meses de edad y plántulas de 45 días crecidas en solución nutritiva	Se concluyó que al inocular raíces gruesas se pudo observar diferencias en la severidad de los síntomas causadas en los clones resistentes al compararlos con los susceptibles	López y Lozano, 1992
Reacción de 13 clones de yuca a tres aislamientos de <i>P. drechsleri</i>	Inoculación de tallos de plántulas mantenidas en invernaderos y de raíces en campo	Correlación entre plantas inoculadas en la casa de malla y raíces inoculadas en el campo de +0.24	Lima <i>et al.</i> , 1995
Estudios de resistencia en invernaderos inoculando plántulas de yuca con diferentes aislamientos de <i>Phytophthora</i>	Inoculación de tallos de plantas de yuca de un mes de edad	Las diferencias entre los clones de yuca son causadas por diferencias específicas en susceptibilidad a ciertos aislamientos.	Sánchez, 1998; Barragán y Álvarez, 1998; Llano <i>et al.</i> , 2001
Resistencia genética a <i>Phytophthora</i> spp.	Inoculaciones de plántulas <i>in vitro</i> y raíces gruesas de yuca	En la investigación se pudo determinar que la inoculación de raíces gruesas es la forma mas rápida y económica de determinar clones resistentes a <i>Phytophthora</i> spp	Llano, 2003
Correlación entre la resistencia foliar y de raíces de yuca a <i>Phytophthora tropicalis</i>	Inoculación de hojas y raíces gruesas de un cultivo de 12 meses de edad	La investigación permitió mostrar las primeras evidencias entre la correlación entre la resistencia de las hojas y de las raíces a <i>P. tropicalis</i>	Loke, 2004

2.2.3 Evaluaciones de la resistencia a *Phytophthora* spp. en las fases de penetración y pospenetración del patógeno. Según describe Ceballos (1997), la fase de penetración de un patógeno como *Phytophthora* se encuentra determinada por el momento en que se produce el contacto físico entre el inóculo y hospedero, activando los mecanismos de defensa de la planta; inmediatamente a la penetración sigue la infección y colonización de los tejidos que estaría determinando la fase de pospenetración en la cual el patógeno pasa a depender del hospedero, esperando que la reacción de compatibilidad ocurra y persista para la producción de nuevas hifas secundarias que invaden tejidos hasta el momento sanos. Agrios (1996) determina que para la fase de penetración, estos mecanismos de defensa deben actuar en el punto de entrada del patógeno y para la fase de pospenetración deben ser eficaces durante el desarrollo del patógeno dentro del tejido fino del hospedero. En un estudio sobre los componentes que reducen la tasa de desarrollo de la enfermedad, se mencionan tipos de resistencia que expresan las plantas en respuesta a patógenos: resistencia a la infección, resistencia de colonización y resistencia de reproducción (Parlevliet, 1979). Dos de estos tipos de resistencia, se han evaluado por diferentes autores en diferentes cultivos: la resistencia a la infección en este caso determinando la fase de penetración y la resistencia a la colonización que determina la fase de pospenetración (Iwaro 1995; Bajit and Gapasin, 1987). Estas y otras investigaciones se han encaminado a identificar las características que hacen posible la expresión de los mecanismos de defensa. (Bajit and Gapasin, 1987; Iwaro *et al.*, 1997a; Iwaro *et al.*, 1997b; Okey *et al.*, 1996)

2.2.4 Evaluación de la resistencia a *Phytophthora* spp. en diferentes localidades. En el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) se han realizado investigaciones relacionadas con la respuesta de los materiales al daño causado por *P. infestans* para diferentes localidades. Una de estas investigaciones se realizó en el oriente del Congo (África) en donde se evaluaron siete genotipos en

diferentes zonas agro ecológicas, se encontraron diferencias significativas entre los ambientes y los genotipos para las variables de producción, componentes de producción y la incidencia de *P. infestans* y *Ralstonia solanacearum* (Mutombo *et al.*, 1998). En Estados Unidos se evaluaron 16 clones en ocho localidades y se buscaron clones resistentes a los nuevos *P. infestans* que habían aparecido en el cultivo de la papa. (Haynes *et al.*, 1998). Cuatro clones fueron escogidos para cruzamiento, gracias a su estabilidad fenotípica, relacionada con la respuesta a la enfermedad, determinada con el área bajo la curva del progreso de esta, y entre ellos no se encontraron diferencias significativas, indicando una baja interacción genotipo por ambiente.

2.2.5 Resistencia varietal a *Phytophthora tropicalis*. *P. tropicalis* no ha sido ampliamente descrita en la literatura. El aislamiento utilizado durante este estudio, pertenece a la colección de CIAT (Patología de Yuca), se caracterizó mediante análisis de isoenzimas y es genéticamente similar a *P. capsici*, especie de *Phytophthora* que generalmente causa marchitez, pudriciones en la corona del fruto y la raíz del pimentón (Loke, 2004). El aislamiento de *P. tropicalis* se obtuvo de un cultivo de yuca severamente afectado por pudrición en el corregimiento de Barcelona, municipio de Calarcá en el departamento del Quindío – Colombia. La identificación de la especie fue realizada mediante la secuenciación de la región ITS de la subunidad 5,8 s del ADN ribosomal y observación de las características morfológicas (CIAT, 2000).

La resistencia de las raíces de varios clones a *P. tropicalis* fue evaluada por Loke (2004) en las fases de penetración y post-penetración del patógeno, desarrollando metodologías efectivas para la preparación del inóculo, inoculación y evaluación de los dos tipos de resistencia en raíces y lóbulos de hojas de yuca obtenidos de plantas de campo. Se obtuvo contraste entre clones para la resistencia a pudrición de raíz y correlación con materiales que muestran resistencia en campo

como es el caso de la variedad HMC-1. En otra investigación para identificar secuencias genómicas homólogas en yuca, con genes de resistencia a enfermedades de especies diferentes, Llano (2003) evaluó la resistencia de dos familias de yuca a tres especies de *Phytophthora*, entre ellas incluida *P. tropicalis*, causantes de pudrición de raíz. Mediante PCR (reacción en cadena de la polimerasa) con cebadores degenerados de ADN se obtuvieron 28 clones, de los cuales cinco mostraron secuencia homóloga con RGAs (genes análogos de resistencia) NBS-LRR y cuatro de ellos mostraron regiones codificables (marco abierto de lectura-ORF) con motivos conservados de la región NBS, por lo que se consideraron como RGAs. Se identificaron tres clases de RGAs diferentes los cuales no mostraron asociación con resistencia a *Phytophthora*.

Loke (2004) evaluó la resistencia de los padres y la progenie de la familia K de yuca (MNGA 2 x CM 2177-2) a *P. tropicalis*, además de los parentales de esta familia, se inocularon raíces frescas y gruesas de 69 individuos de la familia K. Con la evaluación fenotípica y con base en el mapa molecular de M Nga 2, madre de la familia K, se identificaron y mapearon QTLs asociados a la resistencia a *P. tropicalis*, mediante análisis de marcador simple. Los clones de yuca de la familia K, evaluados durante los años 2000 y 2001 mostraron un porcentaje de área de raíz afectada entre el 22% y 95%. La correlación entre las evaluaciones de los años 2000 y 2001, fue $-0,15$ y la distribución de la frecuencia de los clones de yuca de la familia K de acuerdo al área de raíz afectada por *P. tropicalis*, corresponde a una distribución normal, con un clon que presenta resistencia moderada en los dos años de evaluación, 50 clones susceptibles y 17 clones altamente susceptibles. Se identificaron ocho QTLs, dos de los cuales explicaron entre 8,6% y 9% de la varianza fenotípica y se pudo determinar que genes menores estarían controlando la resistencia a *P. tropicalis*.

2.3 DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA DE RAÍCES DE YUCA

El cultivo de la yuca ha sido una actividad tradicional de gran importancia para la población rural de muchos países del mundo. En los países en vía de desarrollo, la yuca es uno de los componentes principales de la dieta alimentaria de sus habitantes (Alarcón y Dufour, 1998). El 80% de la producción de yuca es consumida en fresco en los lugares de producción y solamente un 20% es transformado en otros productos industrializados para su consumo interno o exportación (Loke, 2004). El problema principal, por el cual no se pueden comercializar las raíces en zonas distantes al lugar de producción, es el deterioro poscosecha que sufren estas después de 48 horas de extraídas del suelo (Wheatley, 1982).

El Deterioro fisiológico poscosecha (DFP) de las raíces de yuca, está directamente asociado a daños mecánicos que ocurren con la cosecha, aunque también depende de la variedad del material vegetal cosechado. Algunas condiciones ambientales como la temperatura y la humedad relativa, incrementan el deterioro fisiológico, especialmente con la presencia de daños mecánicos (Wheatley *et al.*, 1982). Raíces de yuca con daños mecánicos y conservadas en un ambiente de baja humedad (60 - 80 %) se deterioran más rápidamente que las conservadas en un ambiente saturado de humedad (100% de humedad relativa), esto debido a que la respiración de los tejidos se mantiene a niveles más altos en un ambiente de baja humedad (Marriot *et al.*, 1979).

Se ha señalado que algunas características varietales como la longitud de las raíces y la presencia de pedúnculos largos, y características del suelo como la textura y el grado de compactación (relacionados con las formas de cosecha

manual o mecánica); son factores que afectan la incidencia de los daños mecánicos en las raíces (Wheatley *et al.*, 1982).

Tratamientos aplicados a las raíces después de la cosecha como: inmersión en agua caliente (Averre, 1967), conservación a bajas temperaturas (Averre 1967; Montaldo, 1973 y Zapata, 2001), almacenamiento en aire con bajo nivel de oxígeno o en un ambiente de gas carbónico (CO₂) (Booth, 1976; Zapata, 2001) evitan el DFP de las raíces y sugieren la participación de enzimas como las peroxidasas, en el proceso. La actividad total de las peroxidasas se incrementa después de la iniciación del DFP (Marriott *et al.*, 1980)

La parte más importante de una raíz de yuca es la pulpa o parénquima que esta constituido básicamente de haces xilógenos (Figura 1), vasos de xilema distribuidos en forma de estrías, en los cuales se concentra el almidón de la raíz. En el centro de la raíz se encuentra el xilógeno fibroso central; mientras que en la periferia de la raíz se localiza la corteza o cáscara constituida por capas superpuestas de tejidos corchosos, fibras esclerenquimatosas, vasos con látex y cambium (Wheatley *et al.*, 1982).

Las secciones distal y proximal de la raíz, son las más propensas a sufrir daños mecánicos. La mayor o menor adherencia de la cáscara de la raíz al parénquima, puede igualmente afectar la susceptibilidad a los daños mecánicos durante la cosecha y el transporte posterior de las raíces. Por esta razón los primeros síntomas de DFP de la raíces se presentan normalmente en estas secciones (Wheatley *et al.*, 1982).

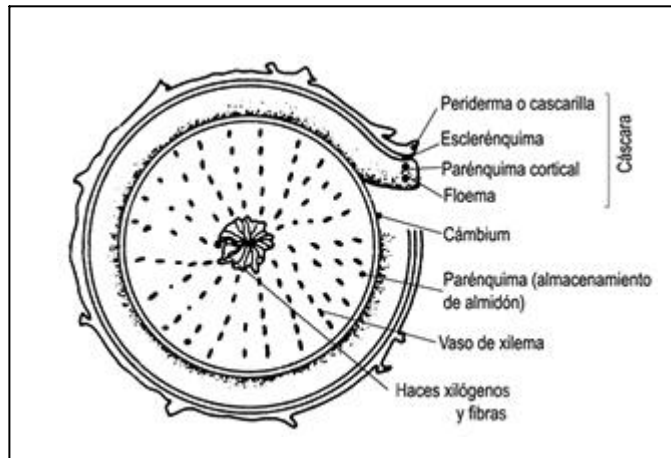


Figura 1. Corte transversal de la raíz de yuca. **Fuente:** *Wheatley et al. Yuca: investigación, producción y utilización, 1982*

Los síntomas de DFP de las raíces se manifiestan con cambios de coloración en los tejidos parenquimatosos y los haces de xilema, adquiriendo éstos una coloración azulada para luego pasar a marrón, en forma de estrías vasculares (Montaldo, 1973). Los cambios de coloración se extienden a las células parenquimáticas, las cuales presentan un tinte azulado y también pueden mostrar síntomas de desecación (Wheatley *et al.*, 1982). Las estrías pueden llegar a tener un color negro, causado por el oscurecimiento de las paredes celulares de los haces xilógenos y por la aparición de oclusiones de origen parenquimático dentro de ellas mismas (Richard, 1982).

El DFP de las raíces de yuca, es uno de los limitantes más importantes en el mercado y la comercialización. Por lo tanto, es importante evaluar el grado de susceptibilidad de las raíces al DFP (Wheatley *et al.*, 1982). Wheatley (1982), desarrolló un método subjetivo para evaluar la susceptibilidad de las raíces de yuca al DFP, permitiendo determinar el grado de severidad del DFP, estableciendo valores que permiten diferenciar las raíces con mayor o menor susceptibilidad.

Estudios citológicos y observaciones con el microscopio electrónico han demostrado que los cambios de coloración en el parénquima constituyen una respuesta de los tejidos de la raíz a daños o heridas que no se quedan localizadas, sino que se extienden rápidamente a lo largo de la raíz. La respuesta inicial se manifiesta como una oclusión de los haces xilógenos y la producción de compuestos fluorescentes en el parénquima y, además fenoles libres, leucoantocianinas y catequinas. Los pigmentos parecen ser taninos condensados derivados de estos compuestos (Rickard, 1982).

El compuesto con mayor fluorescencia ha sido identificado como escopoletina, una cumarina (Rickard, 1982; Wheatley, 1982), encontrada en muy bajas

concentraciones en las raíces frescas, pero que aumenta considerablemente (de < 1,0 a > 250 $\mu\text{g/g}$ de materia seca) 24 horas después de la cosecha (Wheatley, 1982). Este drástico incremento permite visualizar la escopoletina en los mismos tejidos bajo luz ultravioleta debido a su fluorescencia. La aplicación de escopoletina en tejidos frescos induce rápidamente los síntomas de DFP. Las raíces resistentes al DFP acumulan menos escopoletina que las raíces susceptibles (Wheatley, 1982).

Se han podido identificar los componentes de las causas del deterioro fisiológico y deterioro microbiano, pero es poco lo que se conoce sobre los mecanismos bioquímicos que conducen a la formación de éstos compuestos (Wheatley *et. al.*, 1982).

2.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS DE LAS PLANTAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A ENFERMEDADES

Las plantas están expuestas a un amplio rango de parásitos potenciales. Para restringir el daño de tales parásitos, las plantas emplean diferentes mecanismos de defensa (Agrios, 1996 y Sánchez y Prager, 2001). Estos pueden ser clasificados como mecanismos de escape, resistencia y tolerancia. Con el escape, el contacto parasítico se reduce (espinas, olores y sabores desagradables), la resistencia y tolerancia opera después que se ha establecido el contacto parasítico (Parlevliet, 1981b). Generalmente la resistencia es de naturaleza química y en la tolerancia, no existe interferencia con el crecimiento y desarrollo del parásito, pero el daño ocasionado por las actividades del parásito es menor. (Agrios, 1996 y Parlevliet, 1981b). Por lo tanto, las plantas contrarrestan el

ataque de patógenos ya sea mediante características estructurales que actúan como barreras físicas e impiden que el patógeno penetre y se propague en ellas, o por medio de reacciones bioquímicas que tienen lugar en sus células y tejidos, los cuales producen sustancias tóxicas para el patógeno o crean condiciones que inhiben su desarrollo. (Agrios, 1996).

2.4.1 Características morfológicas de las plantas, relacionadas con la resistencia a enfermedades. Las plantas exhiben mecanismos de defensa que son el resultado de presiones ambientales, en algunos casos generadas por los microorganismos patógenos. Las características que aparecen como producto de la interacción entre los organismos que llevan un largo proceso coevolutivo, en el cual han existido situaciones de ataque, defensa, contra-ataque; son las que permiten determinar un tipo de planta “resistente” que surge gracias a transformaciones en sus mecanismos de defensa (Sánchez y Prager, 2001).

Los mecanismos de defensa que exhiben las plantas a través de barreras que pueden estar y permanecer en ellas antes de que el patógeno llegue, se denominan estructuras de defensa preexistentes: el grosor de la cutícula, la cantidad y calidad de la cera, las paredes gruesas y firmes de las células epidérmicas que imposibilitan la penetración directa de los hongos; y la presencia de células esclerenquimatosas en la pared celular de los tejidos, bloquean en forma eficiente la penetración y propagación de bacterias, hongos y nemátodos (Agrios, 1996).

En plantas de arroz el grosor de las células epidérmicas de las hojas y el contenido de materia seca de la planta, son algunas de las características anatómicas o físicas que posiblemente están correlacionadas con la resistencia al hongo causante de la Mancha Marrón o Helminthosporiosis (*Bipolaris oryzae*)

(Guzmán, 1997). En otras investigaciones se ha determinado que el grosor de la cutícula y la frecuencia de estomas son identificados como factores importantes relacionados con la resistencia a la infección causada *Sphaceloma batata* en patatas dulces (Bajit y Gapasin, 1987). Similares resultados se reportaron para el cultivo del haba con respecto al daño causado por *Phoma sorghina*, en donde se encontró correlación relacionada con la cera superficial, con el grosor de la cutícula y la frecuencia de estomas (Raj Kumar *et al.*, 1985). En maracuyá (*Passiflora edulis* f. *edulis*) se ha determinado que el grosor del epicarpio y las capas cerosas del fruto constituyen estructuras de defensa pre-existentes (Sánchez y Prager, 2001). La resistencia de las variedades de cebolla a *Collectotrichum circianans* está correlacionada con la pigmentación roja o amarilla de las escamas del bulbo (Morales, 1983).

En el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) se ha reportado una relación entre la infección por *P. infestans* con el color de la pulpa del tubérculo, en la cual ocurre más daño cuando esta más oscura (Myts'ko *et al.*, 1994). En el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) se realizó una investigación en invernadero, que buscó determinar factores que influyen en la susceptibilidad de seis clones a *P. palmivora* causante de la pudrición de la mazorca en Trinidad, encontrando que para el caso de la dureza de la cáscara, el valor más bajo se encontró en el clon que reportó más susceptibilidad en campo; y para el contenido de humedad fue menor en el clon que se mostró más resistente. En este trabajo se concluyó que ambos factores, dureza y humedad, están altamente correlacionados con la resistencia a la enfermedad (Okey *et al.*, 1996).

Posteriormente, también en el cultivo de cacao, Iwaro y colaboradores (1997), evaluaron la influencia de las características morfológicas de la mazorca en la resistencia a *Phytophthora*, realizando evaluaciones de la frecuencia de estomas, longitud estomática del poro, cera superficial, grosor del exocarpo /endocarpo,

dureza del exocarpo/mesocarpo y contenido de humedad; y observaron correlaciones fuertes relacionadas con la resistencia al establecimiento de la lesión (frecuencia de la lesión) y las mediciones de frecuencia estomática y la longitud del poro, mientras que con las demás variables hubo una correlación pobre. Loke (2004) no encontró correlación con los caracteres de grosor y color de la cáscara de raíces de yuca y la respuesta de 22 clones evaluados por resistencia a *P. tropicalis* mediante dos tipos de inoculación determinados por evaluaciones en la fase de penetración y en la fase de post-penetración del patógeno.

2.4.2 Características bioquímicas de las plantas relacionadas con la resistencia a enfermedades. Es conocido que las plantas también contrarrestan el ataque de fitopatógenos mediante reacciones bioquímicas que tienen lugar en sus células y tejidos, produciendo sustancias tóxicas para la plaga o creando condiciones que inhiben su desarrollo (Sánchez y Prager, 2001).

Para el caso del desarrollo de la enfermedad del Tizón tardío del cultivo de la papa, el cual depende de varios procesos, se ha estudiado por separado la agresividad del patógeno y la capacidad de respuesta del hospedero. Se encontró que las esporas de todas las razas de *P. infestans*, germinan con igual eficiencia en las variedades resistentes y susceptibles, con frecuencias equiparables (Gees y Hohl, 1988); la diferencia fundamental se presenta en el tiempo requerido por el hospedero para la síntesis de compuestos inhibitorios al patógeno, como callosa, lignina, fenoles, fitoalexinas, glicoalcaloides e inhibidores de proteinasas. Estos mecanismos en conjunto, juegan un papel determinante en la resistencia al patógeno y ninguno de ellos por separado ha demostrado ser eficiente al respecto.

Hay investigadores que sugieren la existencia de una asociación entre la presencia de compuestos tóxicos y la magnitud del crecimiento de los hongos en tejidos vegetales (Morales, 1983). Igualmente existen reportes sobre el aumento de compuestos fenólicos alrededor de las lesiones necróticas resultantes de la infección de arroz por *Piricularia oryzae* y *Helminthosporium* sp., también se ha observado un fenómeno similar en hojas *Paelownia tomentosa* infectadas por *Gloeosporium kawakanii* (Harborne, 1969).

En tubérculos de papa infectados con *P. infestans* la penetración del patógeno implica un movimiento de ácido clorogénico hacia el sitio de infección y se ha informado, que la zonas azules fluorescentes que rodean las áreas infectadas del tubérculo son causadas por un aumento de 10 a 20 veces el contenido de escopolina; igualmente, también se duplica o triplica la concentración de ácido clorogénico en estas mismas áreas. Este aumento de la cantidad de un fenol fluorescente también se reportó para las hojas y cáscaras de manzana infectadas por *Venturia inaequalis* y *Podosphaera leucotricha* (Morales, 1983).

Como ya se indicó anteriormente, de varios compuestos fluorescentes que aparecen en el parénquima de las raíces de yuca, el de mayor frecuencia fue identificado como escopoletina, una cumarina que se encuentra en muy baja concentración en las raíces frescas, pero aumenta considerablemente después de la cosecha (Ceños, 2001; Rickard, 1982 y Wheatley, 1982). En un estudio sobre el mecanismo responsable del DFP de las raíces de la yuca, se demostró que se requiere la presencia de esta cumarina, que al parecer actúa de manera autocatalítica. En raíces de plantas de yuca, cuya parte superior se podó días previos a la cosecha, se observó un menor DFP, comparado con las raíces que recibieron escopoletina exógena. Las raíces almacenadas durante algún tiempo en ausencia de oxígeno (raíces curadas) ya no fueron susceptibles a la aplicación de escopoletina de manera exógena. Metabólicamente, los dos métodos para

prevenir el deterioro difieren claramente: la poda puede ser efectiva debido al reducido suministro interno de oxígeno, o a la ausencia de algún factor involucrado en la oxidación primaria. La cura de las raíces puede implicar la pérdida de un precursor con la inactivación del sistema enzimático (Wheatley y Schwabe, 1985).

Se ha determinado una relación entre la ausencia de escopoletina evaluada en raíces expuestas a DFP y la resistencia a *P. tropicalis* en el parénquima de la raíz, para 22 clones de yuca relacionados con la resistencia al patógeno causante de PRP (Loke, 2004).

En estudios realizados en variedades de tabaco (*Nicotiana tabacum* var. *samsun* y *N. xanthi* n.c), inoculadas con el virus del mosaico del tabaco (Tobacco mosaic *tobamovirus*, TMV), se apreció la formación de lesiones necróticas, las cuales implicaron una acumulación de flavonoides, compuestos que se encuentran en cantidades traza en plantas de *N. xanthi*. La hipersensibilidad en su mayoría fue acompañada por la producción de ferulil 1 - glucosa y escopoletina (Morales, 1983).

La escopoletina, al exponerse a la luz ultravioleta produce una fluorescencia similar a la observada en productos contaminados con el componente B1 de las aflatoxinas (Micotoxinas generadas por hongos entre ellos *Apergillius flavus*) (Figura 2). Para establecer cuál de estas compuestas está presente, Wheatley (1989) logró establecer un método rápido y sencillo para diferenciar entre la fluorescencia debida a la escopoletina y la causada por las aflatoxinas, utilizando yodo sobre muestras de papel filtro impregnadas con escopoletina de trozos de yuca, este método se describe en materiales y métodos.

Otra alternativa que se ha venido estudiando para el manejo del ataque de microorganismos, es a partir del estado nutricional de la planta, encontrando variaciones en cuanto a susceptibilidad y resistencia en determinados cultivos y según el elemento estudiado. Se ha reportado que el exceso de fertilización nitrogenada predispone las plantas al ataque de enfermedades fungosas, como el caso de *Pyricularia* en arroz. En papaya el exceso de fertilización fosforada predispone al ataque de virus, la deficiencia de K provoca acumulación de aminoácidos, que contribuye a la degradación de los fenoles, retardando la cicatrización de las heridas y favoreciendo la penetración de patógenos (Sánchez y Prager, 2001). En estudios recientes se observó que el contenido de hierro y manganeso en la cáscara de las raíces de 16 clones de yuca está relacionada con la resistencia a *P. tropicalis*, siendo la relación entre hierro y manganeso la que explicó el 28% de la variación fenotípica de la resistencia a *P. tropicalis* (Loke, 2004), además se conocen micro elementos que inhiben el crecimiento de *Phytophthora* lo cual puede ser demostrado con algunos ejemplos: 1, el uso de Mancozeb (Davidse *et al.*, 1981) para el control de enfermedades causadas por *Phytophthora*; 2, el tratamiento de tubérculos de papa con zinc a 200 ppm reduce la infección causada por *Phytophthora infestans* (Ivanov y Mertsedin, 1990).

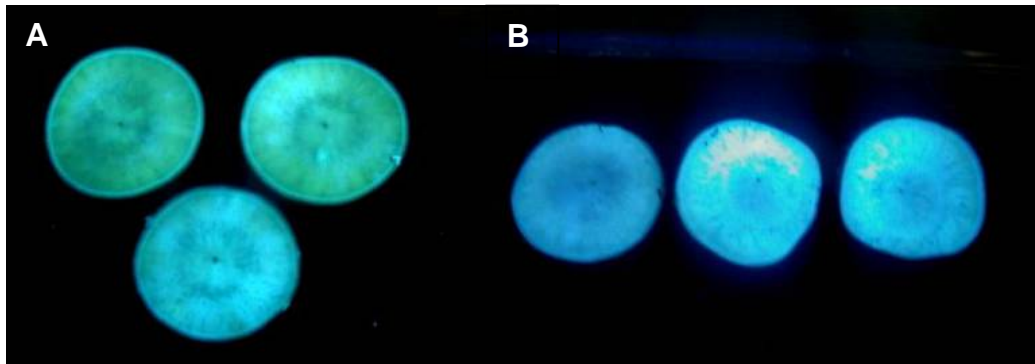


Figura 2. Cortes transversales de raíces de yuca observados bajo luz ultravioleta, (A) fluorescencia verde posiblemente causada por hongos como *Aspergillus flavus* y (B) fluorescencia azul debida al incremento de escopoletina en la raíz

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL

Se cosecharon raíces de 34 clones de yuca de un cultivo de 14 meses de edad, ubicado en el corregimiento de Rozo, Palmira (Valle del Cauca, Colombia). También se cosecharon raíces de 26 clones de yuca de 12 meses de edad, en un cultivo ubicado en Jamundí (Valle del Cauca, Colombia). Los clones se seleccionaron por su alto potencial industrial, determinado por los altos rendimientos, la buena calidad del almidón y los ciclos de cultivo determinados (Alarcón y Dufor, 1998), y los resultados en pruebas regionales para seleccionar los que mejor se adaptan a las condiciones edafoclimáticas del norte del Cauca y sur del Valle del Cauca (Zona Interandina de Altitud Intermedia, Colombia), región caracterizada por suelos pesados, la cual requiere materiales con tolerancia a pudrición de raíces (Loke, 2004). Estos clones fueron identificados como "elites" después de un continuo seguimiento, en varios ciclos y hasta etapas avanzadas de desarrollo; por esta razón, se han recomendado a los programas nacionales, y pueden ser utilizados como parentales en esquemas de hibridaciones (Jaramillo, 2002) o para este caso, en investigaciones que requieren de materiales con una respuesta estable a factores bióticos y abióticos.

3.1.1 Ubicación geográfica de los cultivos. Corregimiento de Rozo: 76° 23' 21.6" de longitud oeste y 3° 37' 10" de latitud norte y Municipio de Jamundí: 76° 32' 1" de longitud oeste y 3° 16' 8" de latitud norte.

3.1.2 Labores de cultivo. El cultivo de yuca en Jamundí tuvo las siguientes características agronómicas: preparación del terreno: cincel, rastra, caballoneo; herbicida preemergente: Karmex[®] (diuron 1,5 kg/ha p.c.); Lazo[®] (alaclor 2,5 L/ha p.c.); distancia de siembra: 1m x 1m; sistema de siembra: estaca vertical. El cultivo de Rozo tuvo preparación del terreno: 2 pases de rastrillo pesado y caballoneada a metro entre surco, se utilizaron los mismos herbicidas preemergentes de Jamundí; distancia de siembra: 1m x 1m, sistema de siembra vertical.

3.2 AISLAMIENTO DE *Phytophthora tropicalis*

Para los experimentos de inoculaciones, fue usado el aislamiento No. 44 de la colección de CIAT, identificado como *P. tropicalis*. El aislamiento se obtuvo de una raíz de yuca infectada naturalmente en el campo en Barcelona, Quindío, Colombia (Sánchez, 1998). La identificación de la especie fue realizada mediante la secuenciación de la región ITS de la subunidad 5,8 s del ADN ribosomal (CIAT, 2001).

3.2.1 Recuperación de patogenicidad con lóbulos. Se obtuvieron zoosporas en lóbulos de hojas de yuca inoculadas con el aislamiento No. 44. Se utilizaron dos lóbulos de hojas de yuca de plantas de un mes provenientes de casa de malla (Palmira) por caja de petri, a la cual se le colocó papel toalla humedecido y dos portaobjetos para aislar los lóbulos foliares de la toalla. El tejido vegetal se desinfectó durante un minuto en etanol al 10% y posteriormente se lavó con agua deionizada.

Los lóbulos de las hojas se inocularon con fragmentos de micelio en suspensión, crecidos en caldo nutritivo. Las cajas de petri se incubaron en el laboratorio a una

temperatura de 25 a 28°C, alternando 12 h luz y 12 h oscuridad. Se revisó al quinto día la presencia de esporangios. Después de cosechar los esporangios con una asa y suspenderlos en agua con 0,01% de Tween[®] 80, se incubó la suspensión durante 37 min. aproximadamente a 4° C, con el objetivo de liberar las zoosporas y sembrarlas en medio de cultivo V8 agar modificado (Anexo 7.1) y así mantener la patogenicidad del aislamiento (Figura 3).

3.2.2 Recuperación de patogenicidad en raíces. La patogenicidad del aislamiento de *P. tropicalis* se recuperó mediante el reaislamiento de raíces inoculadas con un fragmento de cultivo de 5 mm de diámetro, colocado en la perforación realizada con un sacabocado (López y Lozano, 1994).

El reaislamiento se realizó cinco días después de la inoculación sembrando tejido afectado en medio V8A modificado con antibióticos y fungicidas (Sánchez, 1998). Los fragmentos de la raíz se desinfestaron en 50% etanol durante 30 ó 60 segundos. El inóculo (hifas) fue obtenido de la margen de colonias en crecimiento en medio de cultivo V8 Agar modificado con antibiomaticos y fungicidas (Figura 4).

Utilizando un microscopio de marca Leitz, con magnificaciones de 200 y 400, se verificó periódicamente la pureza de los cultivos crecidos en V8 Agar (Agar, 15 g/L, Difco Laboratories, Detroit, EEUU; V-8 jugo vegetal, Campbell Soup Company, Camden, EEUU, 400 mg/L; penicilina-G, Sigma, St. Louis, EEUU, 1,215 unidades por g, 400 µg/µl) e incubados a 23° C en oscuridad o en lóbulos de hojas de yuca Periódicamente se observó la morfología del aislamiento, la forma de los esporangios, hifas y micelio. Para verificar la pureza de los cultivos a contaminaciones por bacterias, se tomaron fragmentos de cada uno de los aislamientos y se sembraron individualmente en tres tubos de vidrio transparente con 10 ml de medio caldo nutritivo (8,0 g/L, Sigma, St. Louis, EEUU).

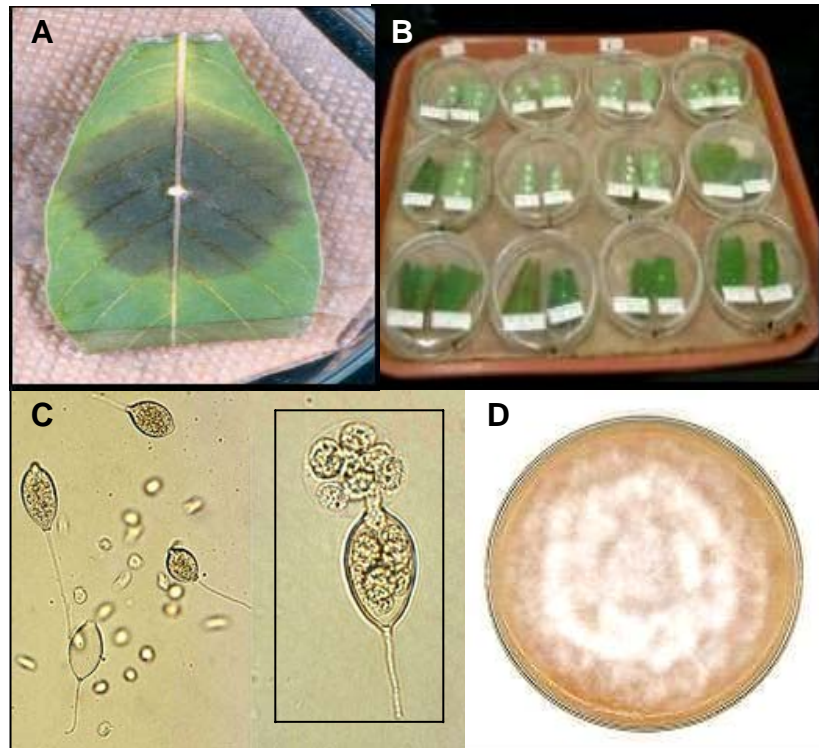


Figura 3. Recuperación de la patogenicidad de *P. tropicalis* con: (A) lóbulos de hojas, (B) incubación de las inoculaciones en cajas petri con 12 horas luz y 12 h oscuridad durante cinco días, (C) esporangios liberando zoosporas y (D) patogenicidad recuperada con la siembra de zoosporas en medio de cultivo V8A modificado

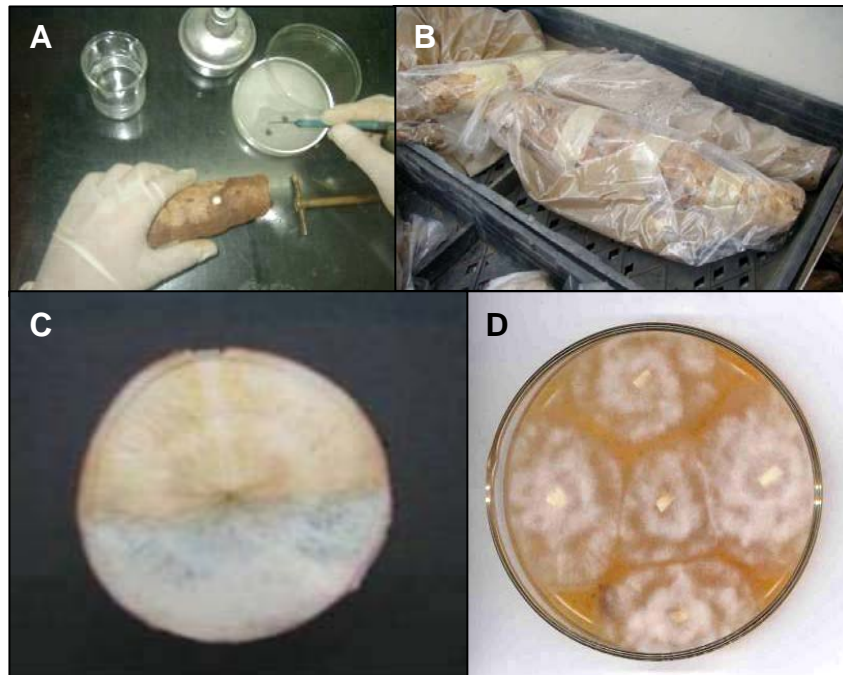


Figura 4. Recuperación de patogenicidad de *P. tropicalis* con: (A) inoculación del parénquima de raíz, (B) incubación de las raíces durante cinco días en bolsas plásticas con papel toalla humedecido; (C) sintomatología de *P. tropicalis* en el parénquima y (D) patogenicidad recuperada con la siembra de tejido latente en medio de cultivo V8A modificado

Se incubaron a 30° C por 48 horas en oscuridad, tiempo después del cual se observó la presencia o ausencia de bacterias, indicada por la turbidez de este medio o la transparencia. Cultivos transparentes se sembraron en medio V8 Agar, y los turbios se descartaron.

3.2.3 Pureza de *P. tropicalis* mediante la técnica PCR- RFLP. Con el fin de confirmar la pureza del aislamiento 44 se utilizó la técnica PCR - RFLP, usando como controles positivos ADN de *P. tropicalis* y *P. palmivora*, secuenciados y caracterizados previamente (CIAT, 2004). Se confirmó el género realizando la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la especie por medio de la restricción en la longitud de los fragmentos polimórficos (RFLP).

- **Extracción de ácidos nucleicos.** Los ácidos nucleicos (ADN) se obtuvieron siguiendo el protocolo reportado por Cooke y Duncan (1997), con algunas modificaciones y a partir de aislamientos crecidos en medio V8A modificado durante 5 y 6 días.

Se colocaron 0,1 g de micelio fresco en un tubo Eppendorf estéril de 1,5 mL, se adicionaron 50 mg de arena estéril, 10 mg de polyvinylpolypyrrolidone (PVPP) de sigma (catálogo número 81385) y 750 µL del Buffer de extracción (Tabla 3). Se pulverizó la muestra usando homogenizadores plásticos para tubo Eppendorf y se centrifugó a 13.000 r.p.m. durante cinco minutos en una microcentrífuga (IEC/Micromax. International Equipment Company S.A.). Se recuperó la fase acuosa y se precipitó el ADN con 1 mL de isopropanol frío, se dejó a -20 °C y se centrifugó a 13.000 r.p.m. por 10 minutos descartando posteriormente el sobrenadante.

El botón de ADN se lavó con 0,5 mL de etanol al 70%, centrifugando a 13.000 r.p.m. por dos minutos, se descartó el etanol y se resuspendió en 20 μ L de TE (Tris, HCl, EDTA) mas 1 μ L de Rnase (10 mg/mL). Se incubó a 4 °C durante toda la noche.

La concentración del ADN total se midió mediante la técnica de intensificación de la fluorescencia del compuesto benzimidazol (Hoechst H 33258) por presencia de ADN en la solución, mediante un fluorómetro (DyNa Quant 200 de la compañía Hoefer Scientific Instruments, San Francisco). Para medir la concentración del ADN, se calibró el fluorómetro, adicionando en la cubeta 2 mL de la solución prueba y 2 μ L del ADN estándar (100 ng/ μ L). Una vez calibrado el fluorómetro se procedió a medir la concentración de cada una de las muestras en ng/ μ L, utilizando 2 mL de la solución prueba y 2 μ L de ADN muestra, cada muestra se ajustó a una concentración final de 5 ng/ μ L con agua destilada estéril.

- **Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) del ADN ribosomal (rDNA).**

Las regiones espaciadoras transcritas internas (ITS1 e ITS2) y la subunidad 5,8 S del rDNA se amplificaron usando los cebadores universales ITS4 e ITS6 (20 MER) (Figura 5). En un tubo para PCR se colocó 1,5 μ L del ADN total a 5 ng/ μ L y se le agregó 24 μ L del cóctel (Tabla 4). La amplificación del ADN de cada una de las muestras se llevó a cabo en un termociclador modelo PTC-100 (fabricado por M.J. Research Inc., Watertown Mass.) programado con el perfil térmico mostrado en la Tabla 5.

- **Electroforesis.** Los productos amplificados se visualizaron en un gel de agarosa al 1,5 % en TBE 0,5X (0,09 g Trisma-borato, 0,02 M EDTA), con bromuro de etidio 0,02 μ L/mL a una concentración de 10 mg/mL.

Tabla 3. Buffer de extracción para ADN

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN	
	Inicial	Final
Tris HCl pH 7,5	1 M	200 mM
NaCl	5 M	250 mM
EDTA (Ethylenediaminetetraacetic)	0,5 M	25 mM
SDS (Sodium dodecyl sulfate)	10 %	0,5 %

Tabla 4. Cóctel de reacción para PCR

COMPONENTE ^a	CONCENTRACIÓN	
	Inicial	Final
Buffer TAQ (Promega Stock).	10X	1X
dNTP's (2 mM cada dNTP Stock)	2,5 mM	0,2 mM
Cebador ITS-4	50 μ M	0,5 μ M
Cebador ITS-6	50 μ M	0,5 μ M
MgCl ₂	25 mM	2,5 mM
AND	5 ng/ μ L	5 ng
TAQ-Polimerasa	5 U/ μ L	1 U
Bovine serum albumin (BSA)	10 mg/mL	0,1 mg/mL

^a Se utilizó agua bidestilada estéril, filtrada (0,22 μ m) y conservada a 4 °C. En un tubo Eppendorf para microcentrífuga (1,5 mL) se preparó el cóctel de reacción.

Tabla 5. Perfil térmico para PCR

PASOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Min.)	ETAPA- PCR
1	94	3:00	Desnaturalización inicial
2	55	0:30	Alineamiento
3	72	1:00	Extensión
4	94	0:30	Desnaturalización
5	35 veces desde 2		
7	72	10:00	Extensión final

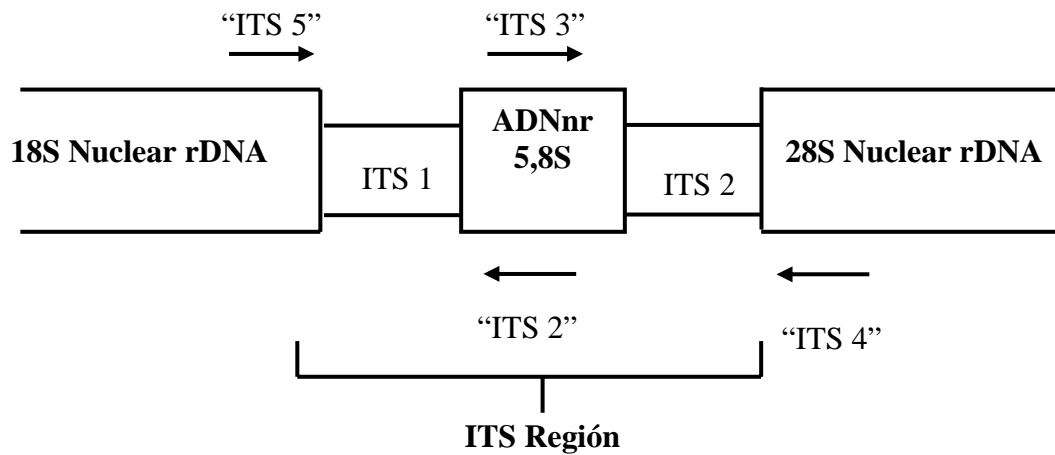


Figura 5. Regiones espaciadoras transcritas internas (ITS1 e ITS2) y la subunidad 5,8 S del rDNA

El gel se preparo diluyendo la mezcla de agarosa y agua durante dos o tres minutos en un horno microondas, se dejó enfriar a 50°C , se adicionó el bromuro de etidio y se vertió en una bandeja de electroforesis. Una vez la agarosa se polimerizó, el gel se colocó en el tanque de electroforesis y se le adicionó Buffer TBE 0,5X, cubriendo el gel completamente. Las muestras de ADN de *P. tropicalis* y *P. palmivora* previamente amplificadas, se sirvieron en cada pozo del gel; también se sembraron 5 µL de un ADN lambda (0,05 µg/µL), marcador de peso molecular de 100 pb. Se aplicó un voltaje constante de 100 voltios durante aproximadamente dos horas. Los productos amplificados se observaron con un transiluminador de luz ultravioleta y se fotografiaron con el equipo Eagle Eye II STRATEGENE.

- **Digestión del ADN amplificado por PCR.** Se tomaron 15 µL del ADN amplificado por PCR, se digirió con las endonucleasas de restricción *Alu I*, *Msp I* (Promega Madison, WI) y *Taq I* (Invitrogen Carlsbad, CA) (Tabla 6). Las enzimas *Alu I* y *Msp I* fueron digeridas a 37 °C y la *Taq I* a 65 °C durante 16 horas.

- **Electroforesis** Los productos amplificados se visualizaron en synergel al 0,7 % y agarosa al 0,5 % en TBE 0,5X (0,09 g Trisma-borato, 0,02 M EDTA), con bromuro de etidio 0,02 µL/mL a una concentración de 10 mg/mL.

El synergel y la agarosa se mezclaron y disolvieron en 10 mL de etanol al 99,8 %, adicionados gradualmente hasta que la mezcla se disolvió completamente. Se calentaron 200 mL de buffer 0.5X, en microondas, durante dos minutos. El buffer se adicionó a la mezcla, en volúmenes de 50 mL, calentando minuto y medio cada vez. Se agregó bromuro de etidio (0,02 µL/mL), se agitó y se dejó reposar a 50 °C. Esta solución se sirvió en la cámara de electroforosis y se dejó polimerizar durante 20 minutos. Posteriormente se adicionó buffer TBE 0,5X, cubriendo el gel

completamente. Las muestras de ADN de *P. tropicalis* y *P. palmivora* previamente digeridas, se sirvieron en cada pozo del gel; también se sembraron 5 µL de un ADN lambda (0,05 µg/µL), utilizado como marcador de peso molecular de 100 pb. Se aplicó un voltaje constante de 100 voltios durante aproximadamente dos horas. Los productos digeridos se observaron con un transiluminador de luz ultravioleta y se fotografiaron con el equipo Eagle Eye II Stragene.

3.2.4 Inóculo. Se inoculó el aislamiento identificado como *P. tropicalis*, de cinco días de crecimiento en medio de cultivo V8 modificado con antibióticos y fungicidas. Como control negativo se utilizó medio de cultivo sin crecimiento del patógeno.

3.3 MORFOLOGÍA DE LA RAÍZ

En la investigación se realizó un análisis detallado de la raíz, evaluando separadamente las tres secciones de la raíz: proximal (sección que se encuentra cerca al tallo), sección central y sección distal, correspondiente al punto de crecimiento apical de la raíz (Figura 6). A cada una de estas secciones se le realizaron evaluaciones para determinar el grosor de la cáscara, dureza de la raíz, el daño causado por *P. tropicalis* y la presencia de escopoletina (Figura 6), ya que en recientes investigaciones, sobre lotes infestados de manera natural, se ha logrado determinar que el 44,9% de las raíces afectadas poseen la infección en el extremo distal mientras que para el 14,1%, la infección comenzó por el extremo proximal (CIAT, 2004).

Tabla 6. Buffer para la digestión

COMPONENTE ^a	CONCENTRACIÓN	
	Inicial	Final
Buffer	10X	1X
Enzimas de restricción (ER)	10 U/ μ L	6 U
BSA ^b	10 mg/mL	0,1 mg/mL

^a Se adicionaron 5,4 μ L del PCR amplificado con los cebadores ITS 4 y 6

^b Este componente solo se adicionó para las enzimas *Alu I* y *Msp I*

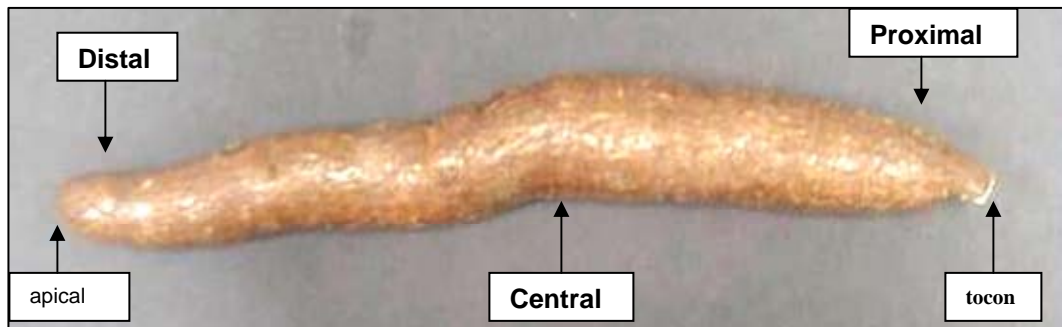


Figura 6. Raíz de yuca, se diferencian las secciones proximal, central y distal

3.3.1 Grosor de la cáscara. A cinco raíces por clon se les determinó el grosor realizando dos mediciones en cada sección. La medición se realizó con un calibrador de precisión 150 x 0,05 mm (Quality Tools, Vernier Caliper) en raíces frescas provenientes de campo. El diseño experimental fue en Bloque completos al azar con cinco repeticiones, la unidad experimental consistió en una raíz.

3.3.2 Dureza de la raíz. En cinco raíces de cada clon se determinó la dureza de la raíz, utilizando un penetrómetro (DIK-5560, Daiki Rikakogyo Co. Ltd, Tokyo, Japon) que permitió obtener un valor, el cual fue transformado con la tabla de cálculo para valores de resistencia, se utilizó la columna para el resorte blanco. El valor de la resistencia se obtuvo en kg/cm². Por cada raíz se realizaron dos evaluaciones en cada una de las secciones proximal, central y distal de la raíz. Se utilizó un diseño en Bloques completos al azar con cinco repeticiones en donde la unidad experimental fue una raíz.

3.3.3 Contenido de humedad. Para determinar el porcentaje de humedad de las raíces se tomaron tres raíces por clon, separándoles la cáscara (cáscara externa más corteza) y el parénquima. Después de fragmentar ambos tejidos en trozos muy pequeños, se colocaron en un horno (THELCO, Precision Scientific, GCA, Chicago, USA) y se secaron las muestras a 60° C durante dos días. Para calcular el porcentaje de humedad se pesaron las muestras en balanza de precisión (CA-8606, Mettler Instrument, AG, Zurich, Suiza) inmediatamente después de fragmentar el tejido e inmediatamente después de sacarlas del horno.

3.3.4 Color de la cáscara externa, la corteza y el parénquima. Se tomaron cinco raíces por clon para evaluar el color externo de la raíz, el color de la corteza y el color de la pulpa o parénquima interno de las raíces de los 60 clones, la

evaluación se realizó con los descriptores morfológicos determinados por Fukuda y Guevara (1998) (Figura 7).

Color externo de la raíz:	1 = blanco o crema; 2 = amarillo; 3 = marrón claro y 4 = marrón oscuro
Color corteza:	1 = blanco o crema; 2 = amarillo; 3 = rozado y 4 = rojo
Color del parénquima interno de la raíz:	1 = blanco; 2 = crema; 3 = amarillo y 4 = rozado

3.3.5 Porcentaje de fluorescencia en el parénquima interno como indicador de la presencia de escopoletina. Se evaluó el porcentaje de fluorescencia en los cortes transversales de raíces inoculadas con *P. tropicalis*, sin perforación de la cáscara de cada raíz. Los fragmentos se colocaron en una cabina oscura con luz ultra violeta (365 nm) (Figura 8). Esta evaluación también se realizó para los cinco cortes transversales de raíces expuestas a deterioro fisiológico (Figura 9).

Se realizaron dos ajustes para la determinación de la presencia de escopoletina en el parénquima. Uno de estos consistió en la suma del porcentaje de tejido macerado a causa de la inoculación sin perforación de la cáscara, y el porcentaje de tejido fluorescente determinado bajo la luz ultra violeta. Este ajuste se realizó pues donde hubo maceración del parénquima causado por *P. tropicalis*, la escopoletina ya había aparecido. Otro ajuste consistió en la resta de los valores de fluorescencia leídos en las raíces control y los valores obtenidos de a primera corrección. El diseño experimenta fue Parcelas divididas con 10 repeticiones y dos controles negativos, la unidad experimental consistió en una raíz.

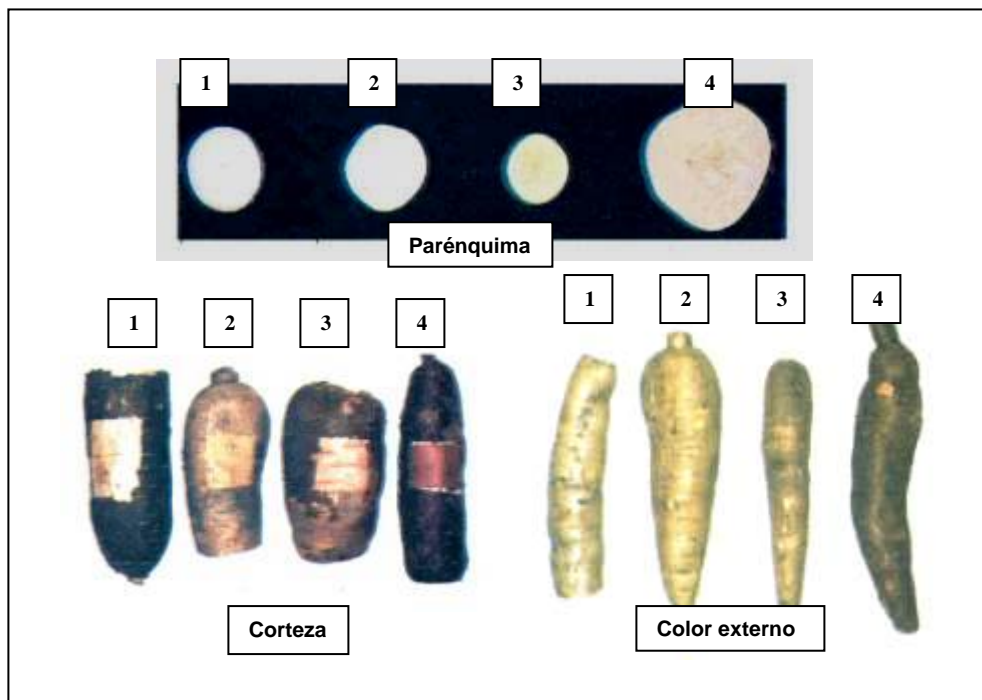


Figura 7. Descriptores morfológicos para la determinación de los colores en las diferentes partes de la raíz. *Fuente: Fukuda y Guevara, 1998*

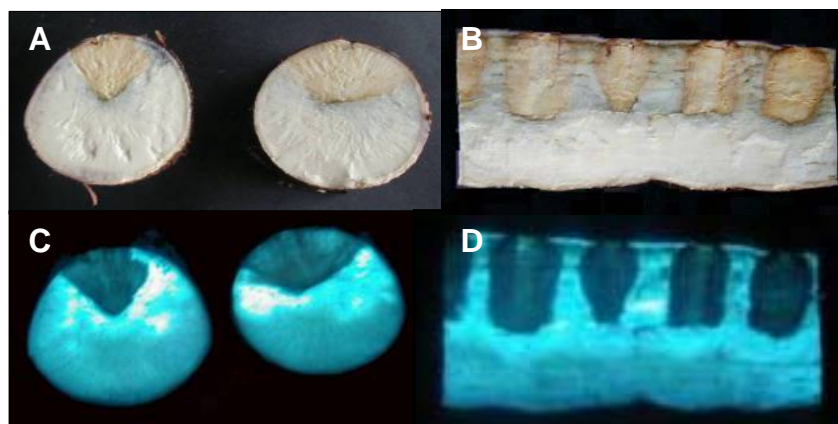


Figura 8. Raíces inoculadas con *P. tropicalis*: (A) cortes transversales de la raíz, (B) corte longitudinal y distribución de inoculaciones, (C) fluorescencia por escopoletina observada en la inoculación del corte transversal y (D) fluorescencia observada en un corte longitudinal de raíz inoculada

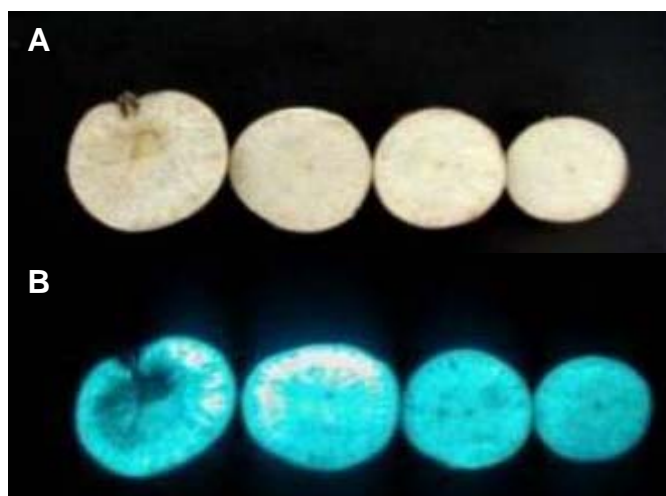


Figura 9. Corte transversal de una raíz de yuca: (A) puntos negros de deterioro fisiológico poscosecha y (B) fluorescencia de los cortes debida al aumento de la escopoletina

- **Método para diferenciar la presencia de aflatoxinas de la escopoletina en raíces frescas o procesadas de yuca (Wheatley, 1989).** Se tomaron muestra de parénquima de yuca previamente expuesto a deterioro fisiológico y pudrición por *P. tropicalis* (Figura 10). Se realizó un lavado con agua deionizada durante 5 minutos y luego 1 minuto con agua destilada, después se colocaron las muestras sobre el papel de filtro estéril, previamente depositado en la caja petri estéril. Al cabo de las 24 horas, se tomaron las muestra y el papel filtro y se colocaron en la cabina oscura a la luz ultravioleta.

Con la aparición de fluorescencia en el papel, se descartó la muestra. Se tomo el papel filtro y se coloco en una cámara de extracción sobre se yodo vertido en un recipiente, se realizó esta labor con guantes plásticos y la mascarilla para evitar al máximo el contacto directo con el yodo. Dentro de la cámara se dejo la muestra o el papel filtro durante 5 minutos sobre el recipiente con yodo, al cabo de los cuales se observó bajo la luz ultravioleta. Cuando el papel estuvo húmedo fue necesario dejarlo secar antes de exponerlo a la luz.

La evaluación se realizó sobre 5 raíces de M Tai 8 sometidas a deterioro filológico, 5 raíces inoculadas con *P. tropicalis*. La presencia de escopoletina se determinó si al momento de observar el papel bajo la luz ultravioleta la fluorescencia desaparece, queriendo decir que la muestra contiene fenoles (escopoletinas); si la fluorescencia azul persistía, la muestra contenía aflatoxinas.

3.3.6 Contenidos de hierro y manganeso en la cáscara y el parénquima interno de la raíz. Para efectuar los análisis químicos de los contenidos de hierro y manganeso en la cáscara (cáscara externa y corteza) y el parénquima interno de raíces de yuca; se procesaron tres raices por clon. Se lavaron con agua

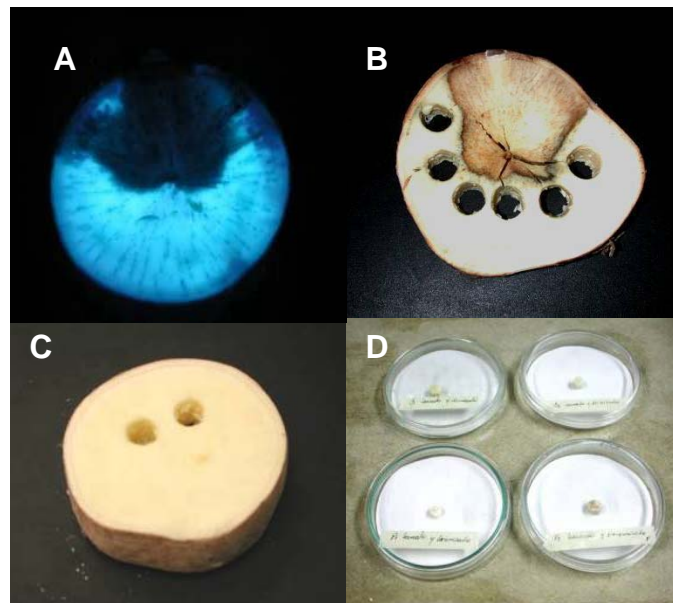


Figura 10. Método para la diferenciación de escopoletina de aflatoxinas en raíces inoculadas con *P. tropicalis*: (A) corte transversal de raíz inoculada mostrando fluorescencia, (B) extracción de muestras de la zona latente, (C) control con tejido sano y expuesto a deterioro fisiológico y (D) cajas petri con la muestra sobre papel filtro

corriente para eliminar residuos de suelo, se realizaron los cortes con cuchillos de acero inoxidable fragmentando por separado de la cáscara y el parénquima. Una muestra representativa de cada tejido fue tomada y colocada a secar sobre crisoles (cajas petri plásticas) en un horno a 60°C durante 48 horas.

La muestra fue pulverizada con nitrógeno líquido, para evitar contaminaciones por hierro que fácilmente se podrían dar con los molinos comunmente utilizados para esta labor. Después de pulverizar la cáscara y la pulpa, se colocó el polvo obtenido de cada clon en un tubo falcon (50 ml) para evitar la humedad y posible contaminación de las muestras. A cada clon se le determinó el contenido de hierro y manganeso mediante espectrofotometría (Unicam Solar 969) de absorción atómica. Estos análisis químicos fueron realizados en el Laboratorio de Servicios Analíticos del CIAT (Palmira, Colombia).

3.4 RESISTENCIA A *Phytophthora tropicalis*

Con base a evaluaciones previas realizadas en campo (Loke, 2004), se definieron cuatro categorías de resistencia según el daño observado: resistente, con menos de 10% de área de raíz afectada; moderadamente resistente, entre 10 y 30%; susceptible, entre 30 y 60% (Figura 11); y altamente susceptible, para más de 60% de raíz afectada. Estas categorías se utilizaron para diferenciar los clones de acuerdo a su resistencia al patógeno.

Se evaluaron dos tipos de resistencia a *P. tropicalis*, según Iwaro (1995): Resistencia en la fase de penetración del patógeno, (Resistencia de la cáscara) y Resistencia en la fase de pospenetración del patógeno (Resistencia del parénquima interno o pulpa. Las raíces se lavaron después de la cosecha con

agua potable, se desinfectaron con hipoclorito de sodio (1% durante 5 minutos) y etanol (50%, 5 minutos) y posteriormente se lavaron con agua deionizada estéril. Se cosecharon 60 clones de los cultivos establecidos en jamundí y Rozo, utilizando 10 raíces para cada tipo de resistencia más dos raíces inoculadas con medio de cultivo sin crecimiento del patógeno como control negativo. La unidad experimental consistió en una raíz con tres puntos de inoculación correspondientes a las secciones: proximal, central y distal.

3.4.1 Resistencia genética de la cáscara de la raíz a *P. tropicalis* en la fase de penetración del patógeno. Las raíces evaluadas se inocularon sin hacer perforación a la cáscara. La inoculación sobre la superficie de la raíz de yuca se hizo en tres sitios sin causar herida. Discos de crecimiento micelial de *P. tropicalis* de 5 mm de diámetro y un 1 mm de grosor se colocaron sobre la raíz. Luego se cubrió cada disco con cinta de enmascarar de 24 mm de ancho (Tesa[®], Beiersdorf S.A., Colombia). Cada raíz se colocó sobre una toalla de papel estéril humedecida de 15 cm x 15 cm (Familia Sancela, Tecnología Tork, Colombia; 15 ml de agua destilada) dentro de una bolsa plástica (dimensiones 16 x 16 x 0.1 cm calibre 1) y se incubó a una temperatura de 20°C y 25°C en la oscuridad. 10 días después de la inoculación, se registró la presencia o ausencia de pudrición del parénquima, expresada como porcentaje de lesiones con respecto al total de puntos de inoculación para cada sección de raíz; porcentaje de área afectada en cada sección de la raíz, haciendo un corte transversal y evaluando el porcentaje de daño, determinado por la maceración de tejido, color amarillo y olor a fermentación, sintomatología típica causada por *P. tropicalis*. Para determinar con precisión el área afectada por el patógeno se tuvo en cuenta el área con fluorescencia, observando el corte transversal de cada sección de raíz bajo una cabina con luz ultra violeta de 365 nm (Spectroline[®], Longlife[™] Filter, Ultraviolet Fluorescence Analysis Cabinet). (Loke, 2004).

3.4.2 Resistencia genética del parénquima de la raíz a *P. tropicalis* en la fase de pospenetración del patógeno. Para evaluar la resistencia en la fase de post-penetración, se inocularon raíces con perforación de la cáscara, evaluando cinco días después, mediante un corte transversal sobre cada sección de la raíz y se determinó el porcentaje de área afectada. Igualmente, como en la fase anterior, se tuvo en cuenta el área con fluorescencia bajo luz ultra violeta para determinar con precisión el área afectada por el patógeno.

3.5 RESISTENCIA AL DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA

Se desinfectaron 10 raíces por clon durante cinco minutos, en una solución de hipoclorito de sodio al 1% y en etanol al 50%. Se eliminaron 2 cm de cada uno de los extremos distal y proximal de las raíces. En el extremo distal se colocó una película plástica de cloruro de polivinilo (PVC) sostenida con una banda de caucho, lo que hace que el deterioro comience desde la parte proximal, permitiendo realizar la evaluación con la escala de deterioro fisiológico (Wheatley, 1985). La evaluación del deterioro se realizó a los 10 días, midiendo el avance del deterioro a través del parénquima, en cinco cortes transversales por raíz, utilizando la escala de 11 valores (Tabla 7 y Figura 12).

Con este método la deterioración se inicia desde el extremo proximal y las raíces con mayor susceptibilidad al deterioro fisiológico muestran las estrías características de esta clase de deterioración hasta las selecciones mas alejadas del extremo proximal (Figura 13). Las raíces con menor susceptibilidad al DFP mostraran los síntomas de la deterioración en las secciones cercanas al extremo proximal pero pocos o ningún síntoma en las secciones distantes de dicho extremo. El deterioro máximo posible equivale a un 100% de la superficie o sea

valor 10 de la escala para cada sección; el promedio de la suma total de los valores puede por tanto expresarse como porcentaje y esta expresión constituye el porcentaje de deterioración (Wheatley, 1982).

3.6 COMPARACIÓN ENTRE LOS CLONES DE JAMUNDÍ AÑO 2004 Y LA DOLORES AÑO 2003

En esta investigación se ha realizado una comparación que permitió establecer las diferencias y relaciones entre las evaluaciones por resistencia a *P. tropicalis* en las fases de penetración y pospenetración de la enfermedad, comparando su respuesta con caracteres morfológicos y bioquímicos de la raíz realizados para clones "elites" provenientes de dos pruebas regionales de CIAT ubicadas en el corregimiento de La Dolores Palmira – Valle del Cauca y en la Hacienda Agrícola ubicada en el municipio de Jamundí.

3.7 ANÁLISIS DE DATOS PARA LAS VARIABLES DE PRP Y DFP

3.7.1 Cultivo en Jamundí. Las variables relacionadas con DFP y PRP evaluados en los 26 clones cosechados en Jamundí, fueron analizadas bajo el diseño experimental de Parcelas divididas en el cual la parcela principal fueron los sitios en los cuales se dispusieron las cinco primeras repeticiones, la subparcela fue época dado que las diez repeticiones se manejaron en dos épocas de cosechas y en último lugar se colocaron los clones. Las repeticiones de cada variable, fueron dispuestas en cinco sitios diferentes dentro de un cuarto de incubación (CIAT) (Anexos 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 y 7.8).



Figura 11. Porcentaje de área afectada por *P. tropicalis*: (A) daño de 40% en una raíz por medio de inoculación artificial y (B) 40% de daño en una raíz afectada naturalmente

Tabla 7. Equivalencia de la escala de deterioro fisiológico (Wheatley, 1985)

ESCALA	PORCENTAJE	ESCALA	PORCENTAJE
0	0 %	6	60 %
1	10 %	7	70 %
2	20 %	8	80 %
3	30 %	9	90 %
4	40 %	10 ^a	100 %
5	50 %		

^a 10 equivale a un cambio de coloración total en los tejidos parenquimatosos y los ases del xilema, adquiriendo éstos una coloración entre azulada y marrón, en forma de estrías vasculares.

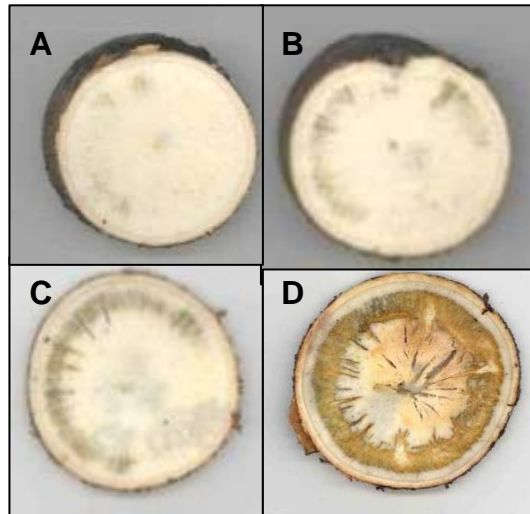


Figura 12. Valores de DFP según la escala: (A) valor de 3, (B) valor de 6, (C) valor de 8 y (D) valor de 10 marcado por un deterioro microbiano

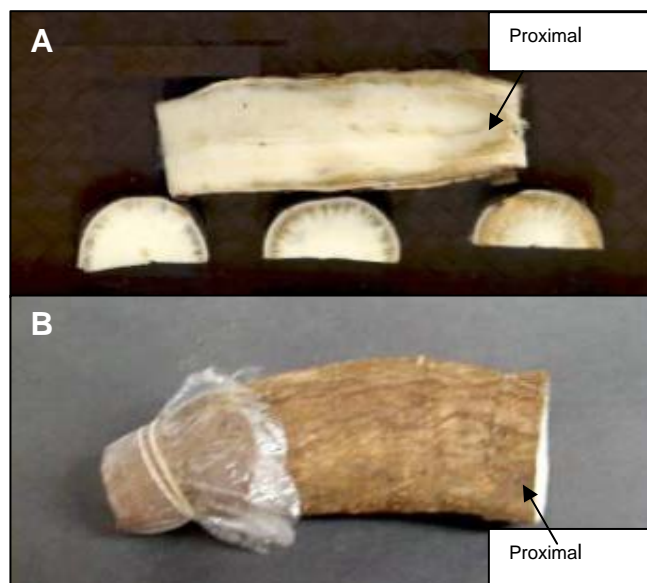


Figura 13. DFP de la raíz: (A) corte longitudinal en el cual se muestra el avance del deterioro desde la sección proximal y (B) raíz con la película plástica de PVC para predisponer el deterioro desde la sección proximal

3.7.2 Cultivo en Rozo. La evaluación de las variables relacionadas con DFP y PRP de los 34 clones cosechados en Rozo, se realizó en cuatro fechas diferentes analizando los datos de cada una mediante un diseño en Bloques completos al azar. En la primera fecha se evaluaron nueve clones, en la segunda seis, en la tercera 10 y en la cuarta nueve. Se mantuvo un mismo clon control susceptible CM 523-7 (Catumare) para las cuatro fechas, para esta manera desarrollar el índice de desarrollo de la enfermedad con respecto al control, que permitiera la comparación entre las variables de resistencia de los 34 clones (Anexos 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 y 7.8) Las repeticiones de cada variable fueron dispuestas en los cinco sitios dentro del cuarto incubación.

Los análisis de varianza, la separación de medias con la prueba de comparación Tukey y las correlaciones Pearson entre las variables, con un nivel de significancia del 5%; se realizaron en el programa estadístico Statistix 8,0 (1985-2003, Analytical Software).

4. RESULTADOS

4.1 RESISTENCIA DE LA CÁSCARA

El avance del patógeno a través de la cáscara fue claramente observado en las diferentes evaluaciones realizadas (Figura 14), se pudo determinar que la fluorescencia encontrada en las diferentes secciones de la raíz, es causada por la infección generada por *P. tropicalis*.

La verificación de la pureza de *P. tropicalis* mediante la técnica PCR - RFLP, determinó que efectivamente para las diferentes inoculaciones se evaluó el daño causado por *Phytophthora* (Figura 15), igualmente también se verificó que el daño en las raíces era causado por la especie *P. tropicalis* (Figura 16).

Según los porcentajes de área afectada determinados en las diferentes secciones de las raíces de clones de yuca, se realizó la discriminación por categorías de resistencia para los clones de Jamundí (Tabla 8) y para los clones de Rozo (Tabla 9), encontrando una primera evidencia que permite observar como en algunos clones la severidad del daño esta altamente determinada por la sección inoculada con *P. tropicalis*.

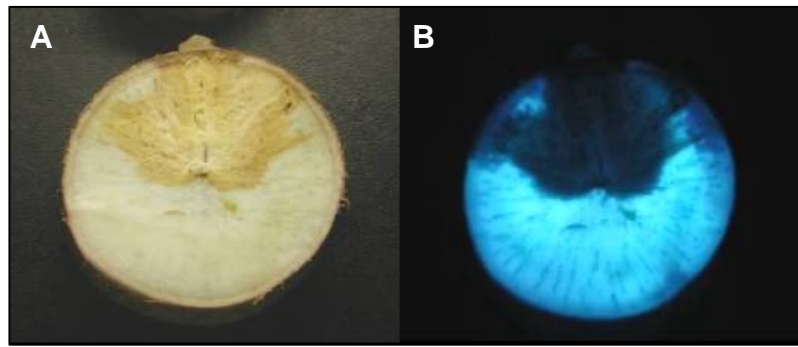


Figura 14. Corte transversal de raíz de yuca afectado por *P. tropicalis*: (A) avance de *P. tropicalis* a través de la cáscara causando pudrición en el parénquima y (B) fluorescencia debida al ataque del patógeno observada bajo luz ultravioleta

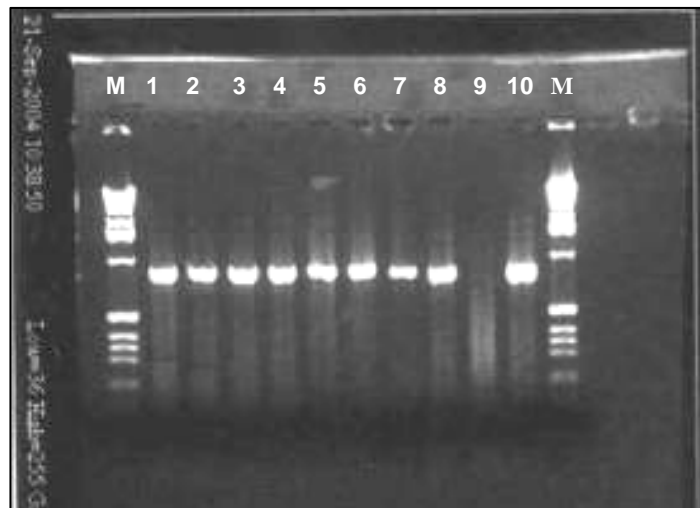


Figura 15. Amplificación de las regiones espaciadoras ITS 1 y 2 del ADN ribosomal de aislamientos de *Phytophthora* spp. M = marcador 100 pb; las bandas de los carriles 1,2,3 y 4 corresponden a aislamientos de *P. palmivora* puros, las de los carriles 5,6,7 y 8 corresponden a aislamiento de *P. tropicalis* para prueba de pureza; el carril 9 es el control negativo con agua y el carril 10 corresponde a un banda es *P. tropicalis* puro utilizado como control positivo conservado como muestra de ADN

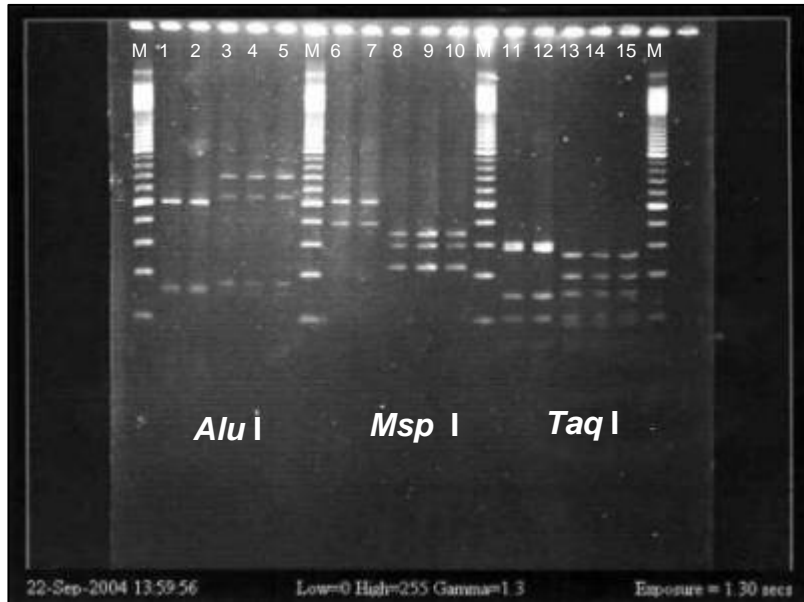


Figura 16. Verificación de la pureza para la especie *P. tropicalis* con enzimas de restricción (*Alu I*, *Msp I* y *Taq I*): M = marcador 100pb; las bandas de los carriles 1, 2, 6, 7, 11 y 12 dieron positivo para *P. palmivora* y las bandas de los carriles 3, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 14, 15 dieron positivo para *P. tropicalis*

Tabla 8. Categorías de resistencia y susceptibilidad a *P. tropicalis*, según porcentaje promedio del área afectada con maceración de tejido 10 días después de realizar la inoculación sobre la cáscara, en raíces de 26 clones de yuca de Jamundí

CLONES	PROXIMAL	CENTRAL	DISTAL	PROMEDIO
CM 6660-21	MR	S	S	S
CM 7463-2	R	S	S	S
CM 7951-5	S	AS	S	S
CM 8370-10	S	S	MR	S
CM 8370-11	MR	MR	S	MR
MCOL 2759	S	AS	S	S
MPER 183	MR	MR	MR	MR
MTAI 8	R	MR	MR	MR
SM 1520-16	R	R	S	MR
SM 1520-18	R	R	S	MR
SM 1642-22	R	MR	MR	MR
SM 1660-4	S	S	AS	S
SM 1779-7	S	S	AS	S
SM 1855-15	R	R	R	R
SM 1871-33	R	R	R	R
SM 1959-1	R	R	S	MR
SM 1965-1	MR	S	R	MR
SM 2052-4	R	S	AS	S
SM 2058-2	R	MR	S	MR
SM 2073-1	MR	MR	R	MR
SM 2085-7	AS	R	AS	S
SM 2141-1	MR	R	R	R
SM 2160-2	AS	AS	AS	AS
SM 2198-4	MR	S	S	S
SM 2211-3	R	R	R	R
SM 653-14	S	S	S	S

AS: Altamente susceptible, S: Susceptible, MR: Moderadamente Resistente y R: Resistente

Tabla 9. Categorías de resistencia y susceptibilidad a *P. tropicalis*, según porcentaje promedio del área afectada con maceración de tejido 10 días después de realizar la inoculación sobre la cáscara, en raíces de 34 clones de yuca de Rozo

CLONES	PROXIMAL	CENTRAL	DISTAL	PROMEDIO
CM 523-7	MR	S	AS	S
CM 6438-14	R	R	R	R
CM 9582-14	MR	MR	MR	MR
CM 9582-16	R	R	R	R
CM 9582-17	S	S	S	S
CM 9582-18	MR	MR	MR	MR
CM 9582-20	MR	MR	MR	MR
CM 9582-28	MR	MR	MR	MR
CM 9582-29	MR	MR	MR	MR
CM 9582-30	R	MR	AS	R
CM 9582-32	MR	R	R	S
CM 9582-55	R	R	S	R
CM 9582-62	S	S	MR	S
CM 9582-63	MR	MR	S	MR
CM 9582-64	R	MR	R	R
CM 9582-9	S	S	S	S
CMC40	AS	S	R	S
HMC-1	R	R	MR	R
M Bra 1044	R	R	R	R
M Bra 1045	AS	AS	AS	AS
M Bra 12	S	AS	AS	AS
M Bra 532	MR	R	R	R
MCOL1505	S	S	AS	S
MCOL2066	S	S	AS	AS
M Cr 81	MR	MR	MR	MR
M Nga2	S	S	AS	S
M Per 183	R	R	MR	R
M Tai-8	R	S	AS	S
SM1210-4	R	MR	MR	MR
SM1411-5	R	R	AS	MR
SM1460-1	R	R	MR	R
SM1479-8	MR	MR	AS	S
SM1555-17	MR	S	S	S
SM1741-1	MR	MR	MR	MR

AS: Altamente susceptible, S: Susceptible, MR: Moderadamente Resistente y R: Resistente

El análisis estadístico determinó en los clones de Jamundí diferencias altamente significativas para las diferentes secciones de la raíz, evaluadas por el porcentaje de pudrición de parénquima (Anexo 7.2), método sin perforación, (Tabla 10). En los clones de Rozo también existieron diferencias significativas para todas las secciones de la raíz e incluyendo el valor promedio, las diferencias altamente significativas se dieron pese a que los porcentajes de coeficiente de variación fueron altos en la sección proximal y central (323,4% y 323,1%), aunque en la sección distal y el valor promedio de la raíz fueron bajos (100,1% y 88,8%) (Tabla 11), queriendo decir que estos clones son altamente variables en las secciones proximal y central en cuanto al daño causado por *P. tropicalis*, variaciones que no son observadas en la sección distal identificada como la más susceptible según evaluaciones de campo realizadas por CIAT (2004) y según los promedios observados en estas tablas. Las diferencias altamente significativas entre los clones sirvieron para determinar que se contaba con clones contrastantes que podrían responder en el análisis de correlaciones.

En Jamundí para las evaluaciones de resistencia a *P tropicalis*, en la fase de penetración del patógeno, se observó que los clones resistentes con un porcentaje de área afectada inferior al 10% en la sección proximal fueron: SM 1871-33, SM 1642-22, SM 1520-18, SM1520-16, M Tai-8, CM 7463-2 (todos con 0% de área afectada), SM 2058-2 (0,5%), SM 1959-1, SM 2211-3 (ambos con 1,0%), y SM 1855-15 (2,5%); para la sección central: SM 1871-33, SM 1520-18, SM 1520-16 (con 0 % de área afectada), SM 2211-3 (1,5%), SM 1855-15 (3,5%), SM 1959-1 (5,5%), SM 2141-1 (9,0%), y SM 2085-7 (9,5%); en la sección distal SM 1871-33 (0 %), SM 2211-3, (ambos con 1,5%), SM 2073-1 (2,0%), SM 1855-15 (3%) y SM 1965-1 (4%) y con el valor promedio de las tres secciones, los clones resistentes fueron: SM 1871-33 (0%), SM 2211-3 (1,3%) SM 1855-15 (3,0%) y SM 2141-1 (7%) (Tabla 10).

Tabla 10. Resistencia de raíces de 26 clones de yuca a *Phytophthora tropicalis* en términos de porcentajes de pudrición, lesiones y área con escopoletina, Jamundí

Clones	% pudrición, método con perforación				% pudrición, método sin perforación				% lesiones en el parénquima método, sin perforación				% área con escopoletina, método sin perforación			
	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a
CM 6660-21	34,5	40,5	42,5	39,2	21,2	41,5	55,0	39,2	100	100	100	100	55,7	75,5	79,0	70,1
CM 7463-2	43,5	50,0	60,5	51,3	0,0	40,0	56,5	32,2	0,0	100	100	66,7	37,5	79,0	78,0	64,8
CM 7951-5	50,5	54,0	65,0	56,5	37,5	61,0	53,0	50,5	100	100	100	100	70,0	75,5	80,5	76,2
CM 8370-10	42,5	48,0	54,0	48,2	30,5	43,0	26,5	33,3	100	100	100	100	38,0	41,5	34,5	38,0
CM 8370-11	53,5	61,0	71,0	61,8	18,0	23,0	32,5	24,5	100	100	100	100	70,0	72,5	77,0	73,2
M Col 2759	61,0	71,5	64,0	65,5	46,0	68,5	45,0	53,2	100	100	100	100	89,5	92,0	84,5	88,7
M Per 183	55,0	59,5	68,5	61,0	16,5	17,5	27,0	20,3	100	100	100	100	16,5	26,5	30,0	24,3
M Tai 8	34,2	37,2	37,7	36,4	0,0	21,5	27,5	16,3	0,0	100	100	66,7	16,0	36,5	37,5	30,0
SM 1520-16	43,0	51,0	59,5	51,2	0,0	0,0	32,5	10,8	0,0	0,0	100	33,3	46,5	77,5	70,0	64,7
SM 1520-18	60,5	70,5	74,0	68,3	0,0	0,0	31,0	10,3	0,0	0,0	100	33,3	10,0	19,5	38,5	22,7
SM 1642-22	35,5	49,5	59,5	48,2	0,0	20,5	24,5	15,0	0,0	90,0	90,0	60,0	13,5	42,0	49,5	35,0
SM 1660-4	58,5	59,5	76,5	64,8	41,5	47,0	69,5	52,7	100	100	100	100	67,0	67,5	69,0	67,8
SM 1779-7	36,5	63,8	69,0	56,4	40,0	51,0	71,5	54,2	100	100	100	100	83,0	77,0	78,5	79,5
SM 1855-15	51,0	50,0	69,0	56,7	2,5	3,5	3,0	3,0	20,0	20,0	20,0	20,0	15,5	18,0	16,0	16,5
SM 1871-33	69,5	75,5	86,5	77,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	11,5	9,0	10,5
SM 1959-1	36,5	40,5	43,0	40,0	1,0	5,5	41,0	15,8	10,0	30,0	100	46,7	68,5	60,5	67,0	65,3
SM 1965-1	57,8	67,0	71,0	65,3	23,0	31,5	4,0	19,5	100	100	40,0	80,0	36,5	50,5	13,0	33,3
SM 2052-4	64,0	67,5	79,0	70,2	1,5	54,5	65,0	40,3	20,0	100	100	73,3	81,0	77,5	69,5	76,0
SM 2058-2	53,5	61,5	69,0	61,3	0,5	26,5	60,0	29,0	10,0	100	100	70,0	81,5	82,5	82,5	82,2
SM 2073-1	44,0	57,5	60,5	54,0	27,5	21,0	2,0	16,8	100	100	20,0	73,3	39,0	40,0	13,5	30,8
SM 2085-7	27,0	36,0	53,0	38,7	78,0	9,5	68,0	51,8	100	30,0	100	76,7	77,5	75,0	67,5	73,3
SM 2141-1	36,4	45,0	55,0	45,5	10,5	9,0	1,5	7,0	100	100	30,0	76,7	23,0	21,5	9,0	17,8

Continua...

Continuación

Clones	% pudrición, método con perforación				% pudrición, método sin perforación				% lesiones en el parénquima método, sin perforación				% área con escopoletina, método sin perforación			
	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a
SM 2160-2	53,0	56,5	80,5	63,3	68,5	69,5	76,0	71,3	100	100	100	100	85,0	77,0	79,5	80,5
SM 2198-4	52,0	57,0	63,0	57,3	27,0	31,0	38,0	32,0	90,0	90,0	90,0	90,0	43,0	50,5	64,5	53,0
SM 2211-3	39,0	43,0	56,5	46,2	1,0	1,5	1,5	1,3	20,0	20,0	20,0	20,0	9,0	7,0	15,0	10,3
SM 653-14	42,5	59,2	60,0	53,9	35,0	33,5	50,5	39,7	100	100	100	100	47,0	55,5	72,5	58,3
Máximo	69,5	75,5	86,5	77,2	78,0	69,5	76,0	71,3	100	100	100	100	89,5	92,0	84,5	88,7
Mínimo	27,0	36,0	37,7	36,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	7,0	9,0	10,3
Promedio	47,5	55,1	63,4	55,3	20,3	28,1	37,0	28,5	60,4	76,2	81,2	72,6	47,3	54,2	53,3	51,7
Valor de F	5,3	3,9	5,2	6,6	60,8	30,7	42,4	49,7	63,5	36,0	22,3	32,3	56,4	44,2	47,3	67,4
P > F^b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coefficiente de variación(%)	31,5	31,4	25,8	23,6	44,3	44,0	32,3	30,3	30,7	27,0	27,9	23,1	24,4	22,3	23,6	19,0

^a Promedio de las secciones de la raíz, proximal, central y distal.

^b Probabilidad de que existan valores mayores que F

Tabla 11. Resistencia de raíces de 34 clones de yuca a *Phytophthora tropicalis* en términos de porcentajes de pudrición, lesiones y área con escopoletina, Rozo

Clones	% pudrición, método con perforación				% pudrición, método sin perforación				% lesiones en el parénquima método, sin perforación				% área con escopoletina, método sin perforación			
	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a
CM 523-7	42,5	25,5	37,5	35,2	11,0	42,0	67,5	40,2	70,0	70,0	100	80,0	89,0	85,5	84,5	86,3
CM 6438-14	46,0	41,0	34,5	40,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1,5	2,0	1,8
CM 9582-14	41,0	44,0	64,0	49,7	20,0	21,5	22,0	21,2	20,0	40,0	30,0	30,0	20,5	24,0	24,0	22,8
CM 9582-16	36,5	43,0	47,5	42,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CM 9582-17	42,0	42,0	67,0	50,3	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
CM 9582-18	36,0	37,0	44,5	39,2	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	31,0	31,5	36,0	32,8
CM 9582-20	39,0	30,0	33,5	34,2	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
CM 9582-28	58,0	52,5	52,5	54,3	30,0	10,0	10,0	16,7	30,0	10,0	10,0	16,7	42,0	38,0	46,5	42,2
CM 9582-29	33,5	36,0	47,0	38,8	26,5	24,5	31,5	27,5	90,0	90,0	90,0	90,0	86,5	85,0	81,5	84,3
CM 9582-30	49,0	47,0	46,5	47,5	0,0	10,0	16,5	8,8	0,0	40,0	70,0	36,7	19,0	29,0	25,0	24,3
CM 9582-32	35,5	22,0	36,5	31,3	20,0	0,0	80,0	33,3	20,0	0,0	80,0	33,3	68,0	76,0	80,0	74,7
CM 9582-55	19,5	16,5	9,5	15,2	2,0	7,0	5,0	4,7	20,0	50,0	20,0	30,0	11,2	19,5	16,5	15,7
CM 9582-62	31,5	40,0	31,5	34,3	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	41,0	40,5	41,5	41,0
CM 9582-63	44,5	30,0	49,5	41,3	30,0	30,0	25,0	28,3	30,0	30,0	30,0	30,0	32,0	31,5	33,0	32,2
CM 9582-64	37,0	39,5	63,0	46,5	2,5	14,5	7,5	8,2	10,0	40,0	20,0	23,3	14,5	29,5	20,0	21,3
CM 9582-9	28,0	44,5	43,0	38,5	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	44,0	45,2	45,0	44,7
CMC 40	62,0	66,5	69,0	65,8	100	40,0	0,0	46,7	100	40,0	0,0	46,7	85,0	82,5	82,5	83,3
HMC-1	11,5	17,0	36,0	21,5	0,0	6,0	16,5	7,5	0,0	40,0	50,0	30,0	9,5	22,5	36,0	22,7
M Bra 1044	34,5	67,0	90,5	64,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	7,5	8,0	8,0
M Bra 1045	28,5	20,5	20,0	23,0	80,5	80,5	66,5	75,8	90,0	90,0	80,0	86,7	87,5	87,5	80,0	85,0
M Bra 12	48,5	17,5	13,5	26,5	60,0	65,5	72,0	65,8	100	100	100	100	75,0	77,0	72,5	74,8
M Bra 532	22,0	25,5	42,0	29,8	10,0	0,0	0,0	3,3	10,0	0,0	0,0	3,3	17,5	13,0	14,5	15,0
M Col 1505	24,0	27,5	26,0	25,8	30,5	42,5	49,0	40,7	100	100	100	100	40,5	66,5	65,0	57,3
M Col 2066	6,5	9,5	40,5	18,8	59,0	59,0	75,0	64,3	100	100	100	100	77,5	71,0	75,0	74,5
M Cr 81	38,0	31,5	44,0	37,8	23,5	22,5	27,5	24,5	90,0	90,0	90,0	90,0	56,5	45,5	47,0	49,7

Continuación

Clones	% pudrición, método con perforación				% pudrición, método sin perforación				% lesiones en el parénquima método, sin perforación				% área con escopoletina, método sin perforación			
	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a
M Nga 2	14,5	14,5	12,5	13,8	49,0	60,0	61,0	56,7	100	100	100	100	70,0	72,5	77,0	73,2
M Per 183	72,0	41,5	16,0	43,2	4,5	8,5	16,0	9,7	30,0	50,0	70,0	50,0	9,0	17,0	26,5	17,5
M Tai 8	17,0	14,0	0,0	10,3	3,0	44,5	44,5	30,7	20,0	80,0	100	66,7	41,5	69,0	67,5	59,3
SM 1210-4	19,5	40,5	35,5	31,8	5,0	11,5	29,5	15,3	70,0	50,0	90,0	70,0	14,0	25,0	48,0	29,0
SM 1411-5	27,0	41,0	49,5	39,2	7,0	2,5	42,5	17,3	30,0	20,5	100	50,2	16,0	22,0	61,0	33,0
SM 1460-1	40,0	48,0	68,0	52,0	0,5	1,0	19,0	6,8	10,0	10,0	50,0	23,3	10,5	17,0	41,0	22,8
SM 1479-8	31,5	26,5	47,5	35,2	26,0	21,5	69,0	38,8	80,0	90,0	100	90,0	44,0	59,5	86,0	63,2
SM 1555-17	42,0	59,0	62,0	54,3	29,5	30,5	36,5	32,2	90,0	90,0	100	93,3	56,0	56,5	64,0	58,8
SM 1741-1	40,5	57,0	67,0	54,8	24,0	22,0	28,0	24,7	90,0	80,0	100	90,0	49,5	48,5	51,5	49,8
Máximo	72,0	67,0	90,5	65,8	100	80,5	80,0	75,8	100	100	100	100	89	87,5	86	86,3
Mínimo	6,5	9,5	0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Promedio	35,3	35,7	42,6	37,8	24,2	24,9	32,0	27,0	46,2	49,1	57,4	50,9	39,4	43,1	47,3	43,3
Valor de F	2,3	2,1	10,25	7,8	4,2	3,9	6,1	9,3	3,7	3,3	13,55	10,8	9,7	9,4	9,9	10,1
P > F^b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Coefficiente de variación (%)	288,1	238,0	44,25	38,4	322,4	323,1	100,1	88,8	372,3	312,5	56,9	73,1	68,8	61,5	54,8	57,9

^a Promedio de las secciones de la raíz, proximal, central y distal.

^b Probabilidad de que existan valores mayores que F

Para el cultivo de Rozo los clones que mostraron resistencia en la sección proximal fueron: SM 1460-1 (0,5%), CM 9582-55 (2%), CM 9582-64 (2,5%), M Tai-8 (3%), M Per 183 (4,5%), SM 1210-4 (5%) y SM 1411-5 (7%); en la sección central: M Bra 532, M Bra 1044, CM 9582-32, CM 9582-16, CM 6438-14 (con 0%), SM 1460-1 (1%), SM 1411-5 (2,5%) HMC-1 (6%), CM 9582-55 (7%) y M Per 183 (8,5%); en la sección distal M Bra 532, M Bra 1044, CMC 40, CM 9582-16, CM 6438-14 (todos con 0% de área afectada), CM 9582-55 (5%), CM 9582-64 (7,5%) y según el valor promedio de las tres secciones la resistencia la mostraron los clones: M Bra 1044, CM 9582-16, CM 6438-14 (0%), M Bra 532 (3,3%) CM 9582-55 (4,6%), HMC-1 (7,5%), CM 9582-64 (8,2%), CM 9582-30 (8,8%) y M Per 183 (9,7%) (Tabla 11).

En los análisis de porcentaje de lesiones en las diferentes secciones de la raíz (Anexo 7.3), que buscaron determinar la resistencia de la cáscara a *P. tropicalis*, se encontraron diferencias altamente significativas para los clones de Jamundí y Rozo, aunque para este último, continuaron altos los porcentajes de coeficiente de variación para la sección proximal y central, igualmente que en la evaluación anterior (% de pudrición) también se presentaron valores bajos para la sección distal y el valor promedio. En las tablas 10 y 11 se indican los porcentajes de lesiones en el parénquima para cada sección de la raíz (proximal, central y distal y promedio de las tres). Los clones de Jamundí con menores porcentajes promedio de área con pudrición de parénquima, mostraron la menor cantidad de lesiones promedio (menos del 20% de los puntos de inoculación), a excepción de SM 2141-1 que mostró 76,7% de lesiones en el parénquima.

Los clones de Rozo que mostraron un porcentaje de lesiones menores o iguales al 10%, como indicadores de resistencia al patógeno, en la fase de penetración, en la sección proximal, fueron M Bra 1044, M Bra 532, HMC-1, CM 9582-30, CM 9582-16, CM 6438-14, SM 1460-1 y CM 9582-64; para la sección central fueron M Bra 532, M Bra 1044, CM 9582-32, CM 9582-16, CM 6438-14, SM 1460-1, CM

9582-28; y para la distal fueron M Bra 532, M Bra 1044, CMC 40, CM 9582-16, CM 6438-14 y CM 9582-28 y con el valor promedio: M Bra 1044, CM 9582-16, CM 6438-14 y M Bra 532. En los clones que presentaron menor porcentaje de pudrición, M Bra 1044, CM 9582-16, CM 6438-14 y M Bra 532, también se observó bajo porcentaje promedio de lesiones en el parénquima (menos de 3,3%). Por lo tanto se podría deducir que ambas evaluaciones ofrecen un valor para la discriminación de clones por resistencia o susceptibilidad muy similar.

Entre los clones evaluados en el cultivo de Rozo, se encontraba la población CM 9582, resultante del cruce de M Bra 1045 y M Cr 81, clones con comportamiento de susceptibilidad y resistencia en cuanto a las evaluaciones de porcentaje de pudrición, que determinaron la resistencia de la cáscara (Tabla 9). Esta F 1 (progenie del cruce) mostró una población segregante, típica para este tipo de cruces. De este cruce resultaron clones resistentes (con menos de 10% de área de parénquima afectado) con un porcentaje dentro de la población que osciló entre el 21 y 28% según la sección de la raíz, además la población más representativa estuvo en los clones moderadamente resistentes (Figura 17) característica que muy posiblemente adquirieron del clon parental M Cr 81.

Clones que como el CM 9582-32, mostraron diferencias en cuanto a resistencia de la cáscara, dependiendo de la sección de la raíz (Figura 18), indican que el grado de resistencia depende de la sección de la raíz.

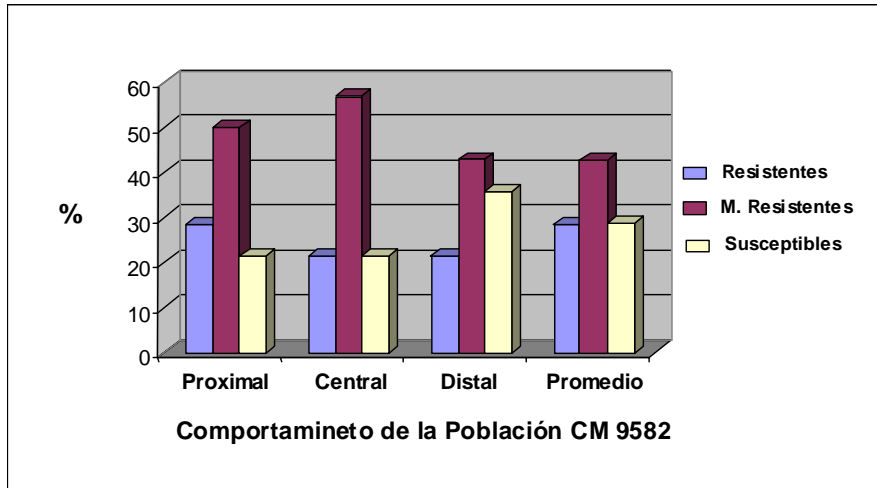


Figura 17. Categorías de resistencia para la población CM 9582, según las evaluaciones de porcentaje de área con pudrición de parénquima, causado por *P. tropicalis*, resistencia de la cáscara

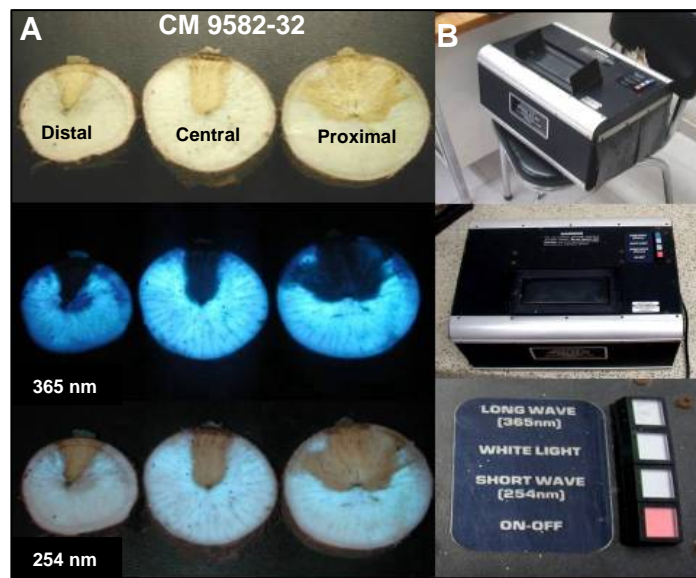


Figura 18. Resistencia de la cáscara en el clon CM 9582-32, determinada mediante porcentaje área con pudrición de parénquima: (A) área con maceración en las secciones distal, central y proximal de la raíz y observadas con luz UV a 365 y 254 nm; (B) Cabina con luz UV para la determinación de la fluorescencia y avance del patógeno

4.2 RESISTENCIA DEL PARÉNQUIMA DE LA RAÍZ

En los análisis estadísticos, se establecieron diferencias altamente significativas entre los clones evaluados de los cultivos de Jamundí y Rozo (Anexo 7.4). Nuevamente el coeficiente de variación fue alto para las secciones proximal y central de los clones provenientes de Rozo (Tabla 11). Los resultados mediante el análisis con las categorías de resistencia no mostraron clones resistentes.

Las evaluaciones de resistencia a *P. tropicalis* en la fase de pospenetración del patógeno (con perforación a la cáscara) permitieron determinar que ningún genotipo establecido en Jamundí fue resistente, aunque solo el genotipo SM 2085-7 se ubico en la categoría de moderadamente resistente con respecto a la evaluación realizada en la sección proximal. En Rozo solo un clon se mostró resistente y uno pocos clones mostraron resistencia moderada en las diferentes secciones de la raíz. En la sección proximal M Col 2066 (6,5%), en la central M Col 2066 (9,5%) y en la distal (0%); los clones M Tai-8, M Nga 2, CM 9582-55, M Col 2066, HMC-1 y M Bra 532, entre otros, fueron moderadamente resistentes, con un porcentaje de daño inferior al 20% (Tablas 10 y 11). Los resultados obtenidos en los últimos clones, confirman que la cáscara es un factor importante en la resistencia de la yuca a *P. tropicalis*. Aunque aparentemente existen en el parénquima de las raíces del clon HMC-1 algunos sustancias que hacen que se expresen mecanismos de resistencia que no permiten que el patógeno se desarrolle la mayoría de las veces y cause la pudrición del tejido (Figura 19).



Figura 19. Daños observados al quinto día, en cortes transversales de raíces del clon HMC-1 inoculadas con *P. tropicalis*, por medio del método con perforación de la raíz para determinar la resistencia del parénquima de la raíz de yuca en la fase de pospenetración del patógeno

4.3 CORRELACIONES ENTRE LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DE LA CÁSCARA Y EL PARÉNQUIMA

4.3.1 Resistencia de la cáscara. Las evaluaciones de los porcentajes de área afecta con maceración de parénquima y de lesiones, evaluadas a los 10 días y obtenidas mediante el método de inoculación sin perforación de la cáscara, sirvieron para determinar la resistencia de la cáscara. Estas evaluaciones al ser relacionadas mostraron para las diferentes secciones de la raíz y su valor promedio en los clones de Rozo y Jamundí correlaciones altas y altamente significativas (Tabla 12). Las correlaciones fueron mas altas en el cultivo de Rozo, pero en ambos cultivos, según se observa en sus cuatro variables (secciones: proximal, central, distal y su promedio) los valores mantuvieron un patrón de correlación similar con oscilaciones para el caso de Rozo de $r = 0,77$ a $0,87$ y para los clones de Jamundí con correlaciones entre $0,63$ y $0,66$. En este caso la evaluación del porcentaje de maceración para la resistencia de la cáscara es un valor que puede ser utilizado, como de igual forma se ha utilizado para la evaluación de la resistencia del parénquima en la fase de pospenetración de la enfermedad.

Para la resistencia de la cáscara, determinada según el porcentaje de área con pudrición de parénquima, se encontraron correlaciones altamente significativas entre las diferentes secciones de la raíz y para los clones de ambos cultivos (Tabla 13). La sección central al parecer es la que se encuentra mejor correlacionada con las otras dos secciones, mostrando correlaciones entre sección central y proximal de $r = 0,72$ para el caso de Jamundí y de $r = 0,53$ para los clones de Rozo; y entre la sección central y la distal, las correlaciones son de $r = 0,66$ y $0,61$ para Rozo y Jamundí respectivamente.

Tabla 12. Correlación entre los porcentajes de área afectada y de lesiones, del método sin perforación de la cáscara, inoculando con *P. tropicalis* (aislamiento 44) y comparando entre las secciones proximal, central y distal de raíces de clones de yuca cosechados en Rozo y Jamundí

RELACIÓN	CORRELACIÓN ^b	
	34 clones Rozo	26 clones Jamundí
Proximal	0,80 **	0,69 **
Central	0,77 **	0,63 **
Distal	0,79 **	0,64 **
promedio ^a	0,87 **	0,66 **

^a El valor de la raíz, determinado por el promedio de las tres secciones evaluada

^b Las correlaciones entre 340 datos para Rozo y 260 para Jamundí

** altamente significativo

Tabla 13. Correlación entre las secciones proximal, central y distal evaluadas por resistencia de la cáscara de la raíz de yuca a *P. tropicalis* (aislamiento 44) en clones cosechados en Rozo (34 clones) y Jamundí (26 clones)

RELACIÓN	CORRELACIÓN ^a	
	34 clones Rozo	26 clones Jamundí
proximal vs. central	0,72 **	0,53 **
proximal vs. distal	0,50 **	0,46 **
central vs. distal	0,66 **	0,61 **

^a Las correlaciones entre 340 datos para Rozo y 260 para Jamundí

** altamente significativo

4.3.2 Resistencia del parénquima. Determinada por el porcentaje de área con pudrición y evaluada a los 5 días de inoculada la raíz mediante el método con perforación de la cáscara, mostró correlaciones altas y altamente significativas entre los valores evaluados para las diferentes secciones de la raíz, las correlaciones de las secciones proximal y distal con la sección central fueron las mas altas (Tabla 14), como lo encontrado para la resistencia de la cáscara.

4.3.3 Correlaciones entre Resistencia de la cáscara y del parénquima. Se realizó la comparación de estas dos resistencias mediante las evaluaciones de porcentaje de área afecta por maceración de tejido en el parénquima, las correlaciones encontradas entre los dos tipos de resistencia para las diferentes secciones de la raíz (Tabla 15), muestran para el caso de los clones del cultivo de Rozo, valores bajos de correlación altamente significativos ($\alpha = 5\%$) para las secciones distal ($r = -0,25$) y significativos para el valor promedio de las tres secciones ($r = 0,02$). Para los clones evaluados en el cultivo establecido en Jamundí, una correlación baja y significativa fue encontradas en la sección central ($r = 0,18$).

4.4 RESISTENCIA AL DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA

Para estas evaluaciones según el análisis de varianza se establecieron diferencias significativas y un coeficiente de variación de 107%, valor relativamente alto entre los clones establecidos en Jamundí (Anexo 7.5), que mostraron deterioro fisiológico entre 4,2% y 55,2% y siendo el menos afectado M Tai 8, (Tabla 16). Resultados similares se observaron con los clones de Rozo (Anexo 7.5), en donde con diferencias altamente significativas, se presentaron coeficientes de variación de 298,1%, aunque se identificaron clones resistentes como SM 1555-17 que mostró 9% de deterioro y M Nga 2 con 2% (Tabla 17).

Tabla. 14. Correlación entre las secciones proximal, central y distal evaluadas por resistencia del parénquima interno de la raíz de yuca a *P. tropicalis* (aislamiento 44) en clones cosechados en Rozo y Jamundí

RELACIÓN	CORRELACIÓN ^a	
	34 clones Rozo	26 clones Jamundí
proximal vs. central	0,46 **	0,69 **
proximal vs. distal	0,21 **	0,59 **
central vs. distal	0,44 **	0,64 **

^a Las correlaciones entre 340 datos para Rozo y 260 para Jamundí

** altamente significativo

Tabla 15. Correlación entre la resistencia de la cáscara y la resistencia del parénquima a *P. tropicalis* (aislamiento 44), determinada para las tres secciones de la raíz y su promedio en clones de yuca cosechados en Rozo y Jamundí

RELACIÓN	CORRELACIÓN ^b	
	34 clones Rozo	26 clones Jamundí
proximal	0,06 ns	-0,02 ns
central	-0,07 ns	0,18 *
distal	-0,25 **	0,09 ns
promedio ^a	-0,12 *	0,11 ns

^a El valor de la raíz, determinado por el promedio de las tres secciones evaluadas

^b Las correlaciones entre 340 datos para rozo y 260 para Jamundí
significativo, ** altamente significativo, ns: no significativo

Tabla 16. Resistencia a *Phytophthora tropicalis*, área con presencia de escopoletina, características morfológicas de la raíz y resistencia a deterioro fisiológico de raíces de yuca de 26 clones establecidos en Jamundí

Clones	Deterioro fisiológico		Dureza de la raíz (kg/cm ²)				Grosor de la cáscara (mm)				Color ^b			% de Humedad ^b	
	%	% área con escopoletina	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Externo de la raíz	Corteza	Parénquima	Cáscara	Parénquima
CM 6660-21	24,0	49,2	44,4	40,2	48,2	44,3	2,2	2,4	2,0	2,2	1	1	1	78,2	66,1
CM 7463-2	15,2	36,5	50,2	38,8	46,8	45,3	2,6	3,4	2,2	2,7	2	2	1	74,4	62,6
CM 7951-5	36,4	60,0	50,7	41,6	62,8	51,7	2,2	2,3	1,9	2,1	3	3	1	74,8	60,6
CM 8370-10	22,4	64,6	48,1	40,7	48,6	45,8	2,8	4,7	1,9	3,1	3	3	1	73,5	62,0
CM 8370-11	22,4	46,1	67,3	36,5	32,1	45,3	2,7	3,3	2,5	2,8	4	2	2	75,5	63,3
M Col 2759	36,4	46,5	57,9	39,3	35,1	44,1	2,5	2,5	1,9	2,3	3	3	2	82,4	61,2
M Per 183	38,0	52,8	61,6	47,3	37,7	48,9	2,9	3,2	2,3	2,8	3	4	1	76,9	67,4
M Tai 8	4,2	21,4	56,4	47,2	37,4	47,0	3,3	2,8	2,0	2,7	1	2	2	73,7	61,2
SM 1520-16	20,4	28,1	74,9	52,7	38,5	55,4	2,5	2,7	2,0	2,4	3	1	2	71,3	60,0
SM 1520-18	19,4	57,5	55,9	48,1	54,5	52,8	2,4	2,4	2,0	2,3	2	2	1	67,6	60,9
SM 1642-22	12,2	31,6	48,8	52,2	49,3	50,1	2,7	2,6	1,8	2,4	3	1	1	68,5	60,4
SM 1660-4	20,4	58,6	47,2	37,3	40,5	41,6	2,1	2,2	1,7	2,0	2	2	1	79,3	66,4
SM 1779-7	39,6	57,8	52,8	40,7	46,2	46,6	3,5	3,1	2,4	3,0	3	2	2	73,6	60,0
SM 1855-15	55,2	68,5	64,6	69,6	60,4	64,9	2,9	3,2	2,1	2,7	3	2	1	68,7	60,0
SM 1871-33	28,0	48,8	66,6	65,8	57,9	63,4	2,6	2,9	2,4	2,6	4	4	1	69,2	56,4
SM 1959-1	23,4	54,9	59,6	45,0	40,3	48,3	2,3	2,3	1,7	2,1	3	2	1	76,5	70,0
SM 1965-1	50,0	61,4	56,7	57,1	57,7	57,2	2,8	3,0	1,5	2,4	3	2	1	71,2	63,4
SM 2052-4	21,0	36,9	38,9	35,6	32,6	35,7	2,5	2,4	2,0	2,3	3	1	1	77,6	65,5
SM 2058-2	26,0	55,2	55,0	50,8	54,9	53,6	2,0	2,3	1,8	2,0	3	2	1	72,3	61,2
SM 2073-1	13,4	50,8	55,9	50,8	43,9	50,2	2,8	2,6	2,0	2,4	3	1	1	70,9	58,2
SM 2085-7	36,6	60,1	36,5	32,8	28,1	32,5	2,3	2,1	1,7	2,0	3	1	1	76,9	62,1
SM 2141-1	25,6	33,1	72,3	54,4	46,1	57,6	2,8	3,1	2,4	2,8	3	2	1	70,5	58,2
SM 2160-2	21,2	38,7	53,8	53,6	51,0	52,8	2,3	2,4	1,9	2,2	3	1	1	72,0	60,0

Continua...

Continuación...

Clones	Deterioro fisiológico		Dureza de la raíz (kg/cm ²)				Grosor de la cáscara (mm)				Color ⁿ			% de Humedad ^b	
	%	% área con escopoletina	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Externo de la raíz	Corteza	Parénquima	Cáscara	Parénquima
SM 2198-4	24,4	52,2	60,1	47,9	73,6	60,5	2,1	2,0	2,1	2,0	2	2	1	69,9	57,4
SM 2211-3	20,4	33,2	52,5	54,6	39,2	48,8	2,5	2,8	2,0	2,4	3	2	1	73,4	66,4
SM 653-14	20,6	33,5	63,8	63,0	118,5	81,7	2,4	2,3	1,7	2,1	3	3	1	71,0	55,6
Máximo	55,2	68,5	74,9	69,6	118,5	81,7	3,5	4,7	2,5	3,1	4	4	2	82,4	70,0
Mínimo	4,2	21,4	36,5	32,8	28,1	32,5	2,0	2,0	1,5	2,0	1	1	1	67,6	55,6
Promedio	26,0	47,6	55,9	47,8	49,3	51,0	2,6	2,7	2,0	2,4	-	-	-	73,5	61,8
Valor de F	1,68	2,0	3,6	9,3	5,7	9,8	10,7	2,0	3,4	4,2	-	-	-	-	-
P > F^b	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-
Coefficiente de variación	107,5	58,9	19,5	14,6	33,6	13,7	9,6	33,2	14,7	14,6	-	-	-	-	-

^a Promedio de la tres secciones de la raíz, proximal, central y distal.

^b Datos obtenidos de una sola repetición

^c Probabilidad de que existan valores mayores que F

Tabla 17. Resistencia a *Phytophthora tropicalis*, área con presencia de escopoletina, características morfológicas de la raíz y resistencia a deterioro fisiológico de raíces de yuca de 34 clones establecidos en Rozo

Clones	Deterioro fisiológico		Dureza de la raíz (kg/cm ²)				Grosor de la cáscara (mm)				Color ^b			% de Humedad ^b	
	%	% área con escopoletina	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Externo de la raíz	Corteza	Parénquima	Cáscara	Parénquima
CM 523-7	44,8	49,9	91,5	62,0	64,7	72,7	2,0	2,6	2,0	2,2	3	3	1	61,8	56,2
CM 6438-14	49,2	65,8	64,4	50,7	48,3	54,5	2,4	2,6	1,3	2,1	3	1	1	67,5	61,3
CM 9582-14	62,4	58,0	58,1	44,7	43,9	48,9	2,7	2,2	1,6	2,2	3	1	2	71,5	60,2
CM 9582-16	41,4	47,2	56,7	60,7	39,5	52,3	2,3	2,8	1,8	2,3	3	1	2	67,8	58,5
CM 9582-17	42,0	45,5	78,4	55,9	46,5	60,3	3,0	2,5	1,9	2,4	3	1	2	67,8	56,3
CM 9582-18	33,8	32,5	57,4	52,3	46,5	52,1	2,2	2,9	2,4	2,5	3	1	2	68,2	58,2
CM 9582-20	50,0	62,7	45,5	44,5	50,1	46,7	3,0	3,8	2,3	3,0	3	1	2	67,0	58,5
CM 9582-28	43,4	41,2	57,7	51,1	37,8	48,8	3,5	3,6	3,3	3,5	3	1	2	70,9	61,0
CM 9582-29	15,2	31,4	40,2	36,3	32,1	36,2	2,2	2,5	1,6	2,1	3	1	2	65,7	59,6
CM 9582-30	44,8	49,6	64,1	46,1	53,4	54,6	2,6	2,7	1,8	2,4	3	1	2	70,8	61,3
CM 9582-32	29,6	31,9	59,0	52,7	40,5	50,7	2,6	2,8	2,2	2,5	3	1	3	71,1	67,7
CM 9582-55	35,6	54,1	35,8	33,6	37,4	35,6	2,6	2,7	2,0	2,4	3	1	2	69,9	65,5
CM 9582-62	28,8	41,4	58,5	60,5	49,9	56,3	2,6	3,5	2,9	3,0	3	1	2	69,6	55,8
CM 9582-63	46,2	42,4	39,7	39,7	31,2	36,9	1,9	1,9	1,4	1,7	3	1	2	74,3	65,2
CM 9582-64	22,8	16,6	66,7	43,0	39,4	49,7	2,2	2,5	2,1	2,3	3	1	3	71,5	66,1
CM 9582-9	37,0	37,4	86,0	72,6	48,9	69,2	3,6	3,8	2,4	3,3	3	1	2	69,4	59,7
CMC 40	31,4	75,9	54,4	52,8	39,2	48,8	1,9	2,3	1,2	1,8	3	3	1	72,2	61,8
HMC-1	18,0	26,8	71,8	68,0	43,9	61,2	2,2	2,6	2,1	2,3	4	4	1	74,4	67,7
M Bra 1044	10,2	10,8	52,1	43,1	54,9	50,0	2,3	2,5	2,0	2,3	3	2	2	68,4	65,1
M Bra 1045	47,0	38,2	88,8	81,4	80,0	83,4	2,3	3,1	2,2	2,5	3	1	2	61,8	57,7
M Bra 12	39,8	44,9	65,5	67,5	69,9	67,6	2,5	3,0	2,2	2,6	2	3	1	72,5	64,9
M Bra 532	30,0	54,9	58,3	53,3	42,8	51,4	2,5	3,3	2,8	2,9	4	1	1	71,5	59,4

Continúa..

Continuación...

Clones	Deterioro fisiológico		Dureza de la raíz (kg/cm ²)				Grosor de la cáscara (mm)				Color ^b			% de Humedad ^b	
	%	% área con escopoletina	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Distal	Prom. ^a	Externo de la raíz	Corteza	Parénquima	Cáscara	Parénquima
M Col 1505	43,4	39,8	75,8	60,0	57,3	64,4	5,0	2,4	1,7	3,0	3	3	1	69,1	55,7
M Col 2066	39,8	49,6	61,2	58,9	34,0	51,4	1,7	2,0	1,4	1,7	4	3	1	68,5	64,2
M Cr81	29,2	29,0	51,5	38,7	44,0	44,7	3,2	3,4	2,4	3,0	4	2	1	70,5	56,6
M Nga 2	57,0	55,4	100,4	77,0	49,0	75,5	3,4	3,2	2,2	2,9	3	2	1	66,4	60,6
M Per 183	34,4	37,6	49,3	40,2	35,7	41,7	2,4	2,4	1,9	2,2	4	3	1	74,2	67,1
M Tai 8	33,8	40,1	66,0	71,1	44,8	60,6	3,0	3,5	2,3	3,0	1	2	2	67,6	57,1
SM 1210-4	16,2	20,9	56,0	36,6	39,1	43,9	2,0	2,2	1,8	2,0	3	2	1	76,5	65,8
SM 1411-5	16,8	29,2	56,5	46,6	65,3	56,1	2,2	3,0	2,5	2,6	2	1	1	68,9	61,8
SM 1460-1	48,6	65,9	48,3	38,5	32,0	39,6	2,5	2,7	1,7	2,3	3	1	1	68,2	63,3
SM 1479-8	10,0	24,6	50,5	39,5	34,7	41,6	1,7	2,2	1,4	1,8	3	1	1	77,2	72,2
SM 1555-17	9,0	5,3	45,2	42,6	40,4	42,7	1,8	2,0	1,7	1,8	4	3	1	73,0	56,3
SM 1741-1	27,2	26,2	48,4	59,2	58,9	55,5	2,1	4,4	1,7	2,7	3	1	1	70,2	60,4
Máximo	62,4	75,9	100,4	81,4	80	83,4	5	4,4	3,3	3,5	4	4	3	77,2	72,2
Mínimo	9,0	5,3	35,8	33,6	31,2	35,6	1,7	1,9	1,2	1,7	1	1	1	61,8	55,7
Promedio	34,4	40,7	60,6	52,4	46,3	53,1	2,5	2,8	2,0	2,4	-	-	-	69,9	61,4
Valor de F	5,1	1,7	6,3	7,0	9,0	15,8	1,3	2,3	9,8	3,2	-	-	-	-	-
P > F^b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-
Coefficiente de variación	298,0	375,8	22,1	20,3	18,4	12,1	50,4	31,2	16,8	23,4	-	-	-	-	-

^a Promedio de la tres secciones de la raíz, proximal, central y distal.

^b Datos obtenidos de una sola repetición

^c Probabilidad de que existan valores mayores que F

4.5 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA RAÍZ

4.5.1 Dureza de la raíz. Los análisis estadísticos determinaron diferencias altamente significativas para los clones de Jamundí y Rozo (Anexo 7.6), Para los clones de Jamundí el coeficiente de variación fue bajo, mostrando clones contrastantes en cuanto a la evaluación de esta característica en las diferentes secciones de la raíz (Tabla 16). La dureza evaluada para estos clones en la sección proximal, osciló con valores de resistencia de 74,9 a 36,5 kg/cm², siendo estos valores reportados en los clones SM 1520-16 y SM 2085-7 respectivamente; en la sección central el mayor valor lo tuvo el clon SM 1855-15 con 69,5 kg/cm² y el menor valor fue de 32,8 kg/cm² para el clon SM 2087-7; para la sección distal el clon SM 653-14 mostró un valor promedio de 118,5 kg/cm², seguido por el clon SM 2198-4 con 73,6 kg/cm², los valores de dureza más bajos estuvieron en SM 2052-4 (32,6 kg/cm²), CM 8371-11 (32,1 kg/cm²) y SM 2085-7 (28,5 kg/cm²); y los valores de dureza de la raíz según el promedio de las tres secciones mostraron al clon SM 653-14-14 con el mayor valor (81,76 kg/cm²) y al clon SM 2085-7 con el menor valor (32, 5 kg/cm²).

Para los clones de Rozo, igualmente se establecieron diferencias altamente significativas con el análisis de las diferentes secciones. En la sección proximal el clon M Nga 2 mostró un valor de dureza de 100,4 kg/cm², siendo el mayor valor; los clones diferenciados en otro grupo con menor valor fueron CM 9582-55 (35,8 kg/cm²) y CM 9582-63 (39,7 kg/cm²); en la sección central los valores máximos y mínimos estuvieron en los clones M Bra 1045 (81,4 kg/cm²) y CM 9582-55 (33,6 kg/cm²); en la distal M Bra 1045 nuevamente mostró el máximo valor 79,9 kg/cm² y CM 9582-63 con 31,2 kg/cm² (Tabla 17). Con las evaluaciones de dureza se determinaron correlaciones entre las diferentes secciones. Las correlaciones realizadas con las diferentes secciones muestran mayores valores cuando en la relación esta presente la sección central (Tabla 18).

4.5.2 Grosor de la cáscara (corteza mas cáscara externa). Las evaluaciones de las tres secciones y el análisis promedio mostraron diferencias altamente significativas para los clones de Jamundí y Rozo (Anexo 7.7). Se determinaron grupos de clones según el grosor de la cáscara. Para la sección proximal, el clon SM 1779-7 (3,5mm) se ubicó en el grupo de mayor valor y en grupo de menor valor los clones SM 1660-4 (2,1mm), SM 2198-4 y SM 2058 (2mm para ambos); para la sección central el mayor valor lo presento el clon MM 8370-10 (4,7mm) y el menor valor estuvo en el clon SM 2198-4 (1,9mm); en la sección distal los valores más contrastantes los dieron los clones MM 8370-11 (2,4mm) y el clon SM 1965-1 (1,5mm) y para el valor promedio de las tres secciones el clon SM 8370-10 con 3,1mm de grosor de cáscara conformó el grupo con el valor más alto y los clones SM 2085-7 (1.9mm) SM 1660-4 (2mm), SM 2198-4 (2mm) SM 2058-2 (2mm) entre otros, el grupo con los valores mas bajos (Tabla 16).

En los clones del cultivo de Rozo las diferencias entre clones igualmente fueron altamente significativas para las diferentes secciones de la raíz. En la sección proximal, para el grupo de mayor valor se ubico el clon M Col 1505 (5mm) y en el grupo de menor valor se ubicaron los clones MM 9582-63, MMC 40, SM 1555-17, SM 1479-8 y M Col 2066, con valores de grosor que oscilaron entre 1,7mm y 1,9mm; en la sección central el clon SM 1741-1 mostró el mayor valor 4,4mm, mientras que los menores valores estuvieron representados por los clones SM 1210-4 (2,2mm), MM 9582-14 (2,2mm), SM 1479-8 (2,2mm), M Col 2066 (2mm) SM 1555-17 (2mm) y MM 9582-63 (1,8mm); en la sección distal los clones MM 9582-28 (3,3mm) y MMC 40 (1,2mm) fueron los dos clones más contrastantes para esta sección. Para el valor promedio de la tres secciones nuevamente el clon MM 9582-63 representó el grupo de mayor valor y los clones M Col 2066, MM 9582-63, SM 1479-8, MMC 40 SM 1555-17 marcaron el grupo de menor valor (valores de grosor de 1,7 a 1,8mm) (Tabla 17). Las correlaciones realizadas entre las secciones de la raíz por medio de las evaluaciones de grosor de la cáscara, determinaron valores bajos de correlación, que estarían acordes a un desarrollo

fisiológico normal de la raíz, ya que la sección distal de esta, por ser la parte más joven, mostró los valores más bajos de grosor con un promedio de 2mm para los clones de ambos cultivos (Tabla 19)

4.5.3 Color de la cáscara externa, la corteza y el parénquima de la raíz. La mayoría de los clones evaluados en Jamundí y Rozo mostraron un color de la cáscara externa marrón claro (categoría 3), el color de la corteza predominante en Rozo fue blanco o crema (categoría 1) y amarillo (categoría 2) para los clones de Jamundí. Para el color del parénquima, en Rozo predominaron los clones con colores blanco y crema (categorías 1 y 2) y en Jamundí los clones con color de parénquima blanco (categoría 1) (Tablas 16 y 17). Las correlaciones determinadas entre los colores de las partes de la raíz, tuvieron baja correlación, indicando que para la expresión de un color en una parte de la raíz no existe influencia de otra parte de la raíz (Tabla 20).

4.6 CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE LA RAÍZ

4.6.1 Porcentaje de humedad en el parénquima y en la cáscara de la raíz. En general para todos los clones evaluados en los cultivos de Jamundí y Rozo el porcentaje de humedad siempre fue mayor en la cáscara que en el parénquima. El clon M Per, que se repitió en los dos cultivos, reportó porcentajes de humedad parecidos entre cultivos. En Jamundí, M Per 183 reportó en la cáscara un 76,8% de humedad y en el parénquima 67,4% de humedad, mientras que en Rozo reportó en la cáscara 74,2% y en el parénquima 67,1%. Para el caso del clon M Tai-8 sus valores fueron diferentes en ambos cultivos: en Jamundí tuvo en la cáscara un porcentaje de humedad de 73,7% y en el parénquima 61,24% mientras que en Rozo los porcentajes fueron inferiores con 67,6 y 57,1% de humedad respectivamente, esto podría llevar a pensar que el contenido de humedad en la cáscara y parénquima de estos clones puede estar influenciado no solo por las características varietales, sino también por condiciones ambientales.

Tabla 18. Correlación entre las secciones proximal, central y distal de la raíz de yuca según las evaluaciones de dureza de raíz (kg/cm²) en los clones del cultivo de Rozo de Jamundí

RELACIÓN DE LA DUREZA DE LA RAÍZ	CORRELACIÓN	
	34 clones Rozo	26 clones Jamundí
proximal vs. central	0,80	0,60
proximal vs. distal	0,57	0,55
central vs. distal	0,54	0,25

Tabla 19. Correlación entre las secciones proximal, central y distal de la raíz de yuca según las evaluaciones de grosor de cáscara (mm) en los clones del cultivo de Rozo y 26 clones del cultivo de Jamundí

RELACIÓN DEL GROSOR DE LA CÁSCARA	CORRELACIÓN	
	34 clones Rozo	26 clones Jamundí
proximal vs. central	0,38	0,60
proximal vs. distal	0,40	0,55
central vs. distal	0,38	0,42

Tabla 20. Correlación entre los colores externo, de la corteza y del parénquima de raíces de yuca, para los clones del cultivo de Rozo y de Jamundí

RELACIÓN	CORRELACIÓN	
	34 clones Rozo	26 clones Jamundí
color externo vs. color corteza	0,26	0,27
color externo vs. color parénquima	0,26	0,02
color corteza vs. color parénquima	0,55	-0,02

Las correlaciones entre los porcentajes de humedad obtenidos en la cáscara y el parénquima, para los dos cultivos fueron muy similares con valores de 0,66 para el cultivo de Jamundí y 0,62 para el cultivo de Rozo, con lo que se podría deducir que la humedad del parénquima se ve muy influenciada por la humedad de la cáscara.

Se realizaron correlaciones entre las evaluaciones de humedad de la cáscara y el parénquima y dureza de la raíz, las correlaciones entre estas evaluaciones mostraron una tendencia lógica, dado que a mayor humedad, se encuentra menos dureza en la raíz, la que al parecer mostró mayores correlaciones con el porcentaje de humedad en la cáscara que con el porcentaje de humedad del parénquima (Tabla 21), lo que indicaría que las evaluaciones de dureza de la raíz se ven altamente influenciadas por la dureza de la cáscara. Se encontró una correlación muy fuerte que favorece aún más la hipótesis, dado que para los clones de Jamundí se encontró una correlación de 0,73 entre el porcentaje de humedad de la cáscara y la dureza de la sección central de la raíz. (Figura 20).

4.6.2 Porcentaje de escopoletina en raíces expuestas a deterioro fisiológico y en raíces inoculadas con *P. tropicalis* sin perforación de la cáscara. El porcentaje de fluorescencia como indicador de la presencia de escopoletina fue positivo con la prueba para la diferenciación de aflatoxinas. La fluorescencia observada tanto en tejido expuesto a deterioro fisiológico, como en el tejido circundante a la infección con *P. tropicalis* fue positiva a escopoletina, oscureciéndose el papel filtro que contenía la escopoletina precipitada de estos tejidos, al momento del contacto con el yodo (Figura 21). Se pudo determinar que la fluorescencia observada fue directamente proporcional a la magnitud del daño observado en las en las raíces expuesta a deterioro y en las raíces inoculadas con *P. tropicalis*, lo que esta de acuerdo con los registros de Wheatley (1982), Agrios (1989) y Morales (1983).

Tabla 21. Correlación entre el porcentaje de humedad de la cáscara y la dureza de la raíz de yuca para 34 clones del cultivo de Rozo y 26 clones del cultivo de Jamundí

RELACIÓN ENTRE LOS PORCENTAJES DE HUMEDAD Y LA DUREZA DE LA RAÍZ		CORRELACIÓN ^b	
		Rozo	Jamundí
cáscara	vs. dureza proximal	-0,45	-0,42
cáscara	vs. dureza central	-0,43	-0,73
cáscara	vs. dureza distal	-0,48	-0,47
cáscara	vs. dureza promedio ^a	-0,52	-0,65
parénquima	vs. dureza proximal	-0,29	-0,37
parénquima	vs. dureza proximal	-0,33	-0,38
parénquima	vs. dureza proximal	-0,35	-0,45
parénquima	vs. dureza promedio ^a	-0,37	-0,61

^a El valor de la raíz, determinado por el promedio de las tres secciones evaluadas.

^b Las correlaciones entre los valores promedio para 34 clones de Rozo y 26 clones de Jamundí

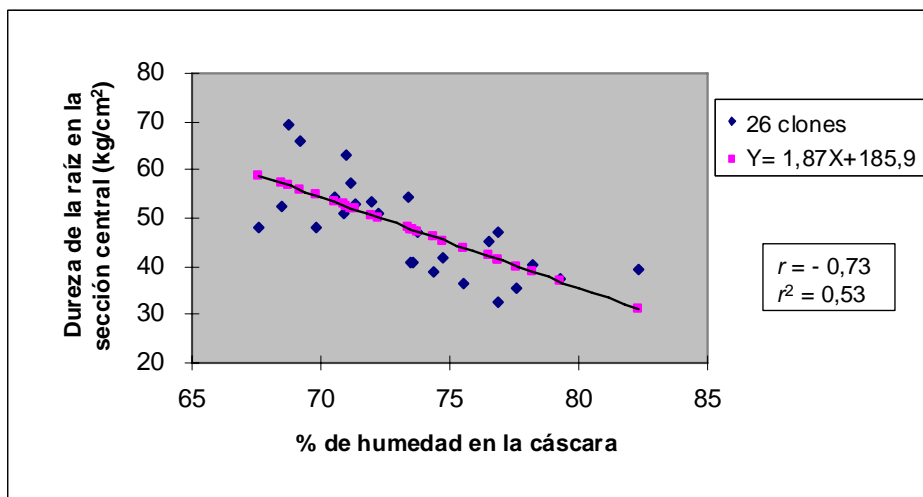


Figura 20. Relación entre los valores de dureza de la sección central de la raíz y el porcentaje de humedad de la cáscara para 26 clones de yuca cosechados en Jamundí

La prueba para la identificación de escopoletina en el parénquima de yuca expuesto a deterioro fisiológico sirvió para validar lo encontrado en raíces de M Tai-8 inoculadas con *P. tropicalis*, ya que el oscurecimiento a causa del yodo es muy parecido en ambas (Figura 21 y 22), aunque para el caso de la escopoletina en raíces expuestas a deterioro no se pudo observar una buena fluorescencia en la foto C que se diferenciara de la foto D, pero si se observa fluorescencia en el fragmento de la foto B lo que indica presencia de escopoletina.

4.6.3 Contenidos de hierro y manganeso en la cáscara y en el parénquima de la raíz. Los contenidos de estos dos elementos siempre fueron mayores en la cáscara que en el parénquima, y en los clones cosechados en Jamundí se encontró un mayor contenido de estos elementos en comparación con los clones cosechados en Rozo (Tablas 22 y 23). Al comparar el contenido de hierro en el clon M Tai 8, se encontró 50,1 ppm en Rozo mientras éste valor fue 292,5 en Jamundí. Para el clon M Per 183, a pesar de que los valores son similares, también fue más alto en Jamundí con valores de 97,1, comparados con 94,5 en Rozo. Para el caso de manganeso en la cáscara de M Tai-8; los valores fueron 5,45 ppm en Rozo y 59,23 ppm Jamundí y para M Per 183 fueron 3,37 ppm en Rozo y 104,9 ppm en Jamundí. Igualmente los valores fueron contrastantes para la presencia de estos dos elementos en el parénquima de las raíces al analizar los dos clones en las diferentes localidades

En las observaciones realizadas entre los contenidos de los elementos ya sea de la cáscara y el parénquima se observaron una buenas correlaciones entre el contenido de hierro en la cáscara y contenido de manganeso en la cáscara con 0,89 para los clones de Jamundí y 0,57 para los clones de Rozo. Al parecer existe sinergismo entre estos dos elementos, ya que el aumento del hierro en la cáscara, se ve acompañado de un aumento de manganeso.

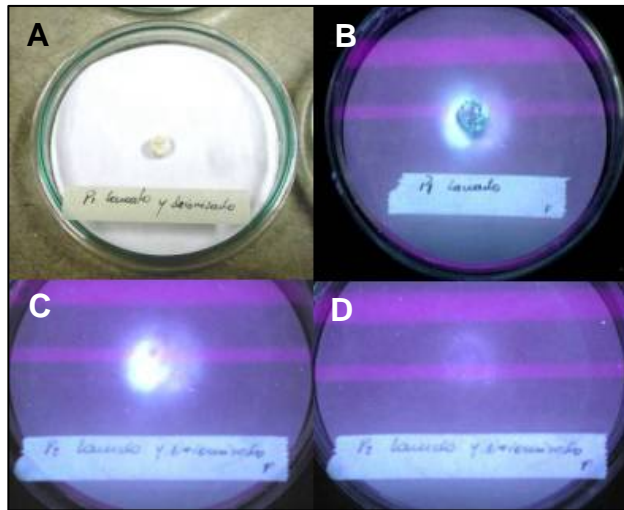


Figura 21. Presencia de escopoletina en el perímetro de la infección por *P. tropicalis*, inoculado sobre la cáscara de raíces del clon M Tai 8: (A) parénquima con 24 horas en caja petri y sobre papel filtro, (B) fluorescencia del parénquima bajo luz UV, (C) fluorescencia en el papel y (D) oscurecimiento de la fluorescencia del papel filtro debido a exposiciones de yodo

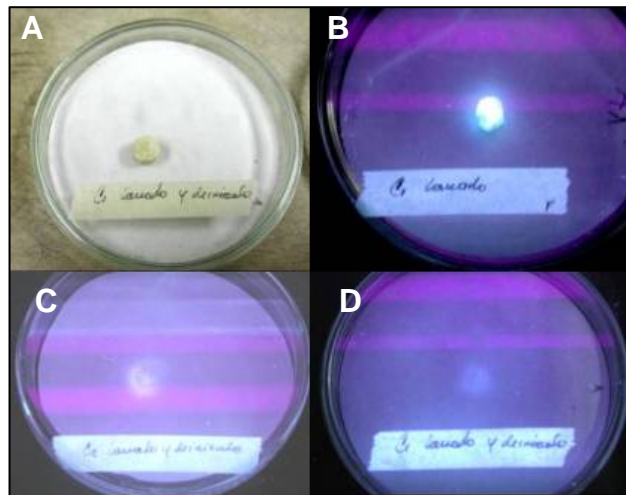


Figura 22. Presencia de escopoletina en parénquima expuesto a deterioro fisiológico: (A) parénquima con 24 horas en caja petri y sobre papel filtro, (B) fluorescencia del parénquima bajo luz UV, (C) fluorescencia en el papel filtro y (D) oscurecimiento de la fluorescencia del papel filtro debido a exposiciones de yodo (Wheatley, 1989)

Tabla 22. Contenidos en ppm y relaciones entre los contenidos para los elementos hierro y manganeso presentes en la cáscara y el parénquima de raíces 26 clones de yuca cosechados en Jamundí

CLON	Contenidos en ppm cáscara		Contenidos en ppm parénquima		Relaciones Fe/Mn	
	Fe	Mn	Fe	Mn	Cáscara	Parénquima
CM 6660-21	415,4	86,7	32,0	14,3	4,8	2,2
CM 7463-2	560,0	53,5	22,7	7,0	10,5	3,2
CM 7951-5	242,3	69,1	18,5	9,2	3,5	2,0
CM 8370-10	329,0	52,5	19,6	8,9	6,3	2,2
CM 8370-11	1259,5	102,8	31,2	11,1	12,2	2,8
M Col 2759	774,2	110,2	13,5	8,6	7,0	1,6
M Per 183	292,5	104,9	9,0	13,1	2,8	0,7
M Tai-8	97,8	59,2	10,6	12,0	1,7	0,9
SM 1520-16	314,3	53,2	17,4	8,8	5,9	2,0
SM 1520-18	588,9	74,3	37,7	11,6	7,9	3,3
SM 1642-22	440,3	65,1	19,4	10,9	6,8	1,8
SM 1660-4	487,1	87,1	15,2	10,2	5,6	1,5
SM 1779-7	498,1	74,7	15,1	10,1	6,7	1,5
SM 1855-15	911,1	80,5	20,9	9,7	11,3	2,2
SM 1871-33	198,8	43,6	33,6	7,8	4,6	4,3
SM 1959-1	520,0	76,4	14,6	10,2	6,8	1,4
SM 1965-1	410,1	58,5	15,1	9,9	7,0	1,5
SM 2052-4	229,0	62,8	42,7	10,6	3,6	4,0
SM 2058-2	255,1	59,2	18,3	10,9	4,3	1,7
SM 2073-1	180,2	51,0	15,0	11,3	3,5	1,3
SM 2085-7	664,1	91,0	36,2	7,9	7,3	4,6
SM 2141-1	289,6	85,7	13,9	14,0	3,4	1,0
SM 2160-2	286,1	83,2	9,5	13,5	3,4	0,7
SM 2198-4	222,4	63,7	45,0	11,6	3,5	3,9
SM 2211-3	674,5	78,2	37,7	11,0	8,6	3,4
SM 653-14	772,2	76,2	29,0	9,6	10,1	3,0
Máximo	1259,5	110,2	45,0	14,3	12,2	4,6
Mínimo	97,8	43,6	9,0	7,0	1,7	0,7
Promedio	458,2	73,2	22,8	10,5	6,1	2,3

Tabla 23. Contenidos en ppm y relaciones entre los contenidos para los elementos hierro y manganeso presentes en la cáscara y el parénquima de raíces de 34 clones de yuca cosechados en Rozo

CLON	Contenidos en ppm cáscara		Contenidos en ppm parénquima		Relaciones Fe/Mn	
	Fe	Mn	Fe	Mn	Cáscara	Parénquima
CM 523-7	124,5	7,0	1,6	1,5	17,8	1,0
CM 6438-14	187,2	7,2	8,9	0,3	26,1	30,7
CM 9582-14	153,4	7,2	9,8	1,3	21,3	7,6
CM 9582-16	508,3	16,7	26,0	1,4	30,4	18,5
CM 9582-17	156,2	7,7	6,0	1,4	20,2	4,4
CM 9582-18	205,5	7,9	3,1	0,5	26,0	5,7
CM 9582-20	190,9	9,1	9,5	0,1	21,1	94,6
CM 9582-28	162,1	7,4	6,8	0,1	21,8	68,2
CM 9582-29	267,1	10,7	13,2	0,1	25,1	131,6
CM 9582-30	318,0	11,2	13,7	0,1	28,4	136,7
CM 9582-32	312,9	11,1	7,9	0,1	28,2	78,7
CM 9582-55	213,2	8,8	14,9	1,1	24,3	13,9
CM 9582-62	148,1	5,4	6,8	0,9	27,2	7,9
CM 9582-63	265,0	13,8	9,5	2,1	19,2	4,6
CM 9582-64	238,0	12,0	6,7	2,1	19,9	3,1
CM 9582-9	221,1	8,6	12,0	1,5	25,6	8,2
CMC 40	216,5	8,0	14,6	0,1	27,1	145,7
HMC-1	80,5	10,4	12,9	0,1	7,8	128,5
M Bra 1044	149,3	7,0	1,4	0,3	21,5	4,6
M Bra 1045	114,1	6,3	6,8	2,0	18,2	3,4
M Bra 12	92,9	6,3	2,5	0,1	14,8	24,6
M Bra 532	78,9	8,4	8,0	1,0	9,3	8,2
M Col 1505	163,3	7,5	2,0	0,1	21,8	19,6
M Col 2066	204,6	9,7	1,4	0,1	21,2	14,2
M Cr 81	566,2	20,2	14,1	0,1	28,0	140,7
M Nga 2	174,7	10,2	4,1	2,3	17,1	1,8
M Per 183	50,1	3,4	0,9	0,1	14,9	8,6
M Tai-8	94,5	5,5	4,7	0,1	17,3	47,4
SM 1210-4	258,3	14,2	4,2	1,0	18,2	4,5
SM 1411-5	96,6	5,3	5,6	0,6	18,3	9,4
SM 1460-1	204,9	7,9	15,8	0,1	26,0	157,7
SM 1479-8	245,8	14,8	3,2	1,2	16,6	2,7
SM 1555-17	497,6	20,1	7,7	0,1	24,8	76,9
SM 1741-1	265,0	14,3	12,5	0,7	18,5	18,9
Máximo	566,2	20,2	26,0	2,3	30,4	157,7
Mínimo	50,1	3,4	0,9	0,1	7,8	1,0
Promedio	212,5	9,7	8,2	0,7	21,3	42,1

4.7 CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA RAÍZ Y LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA A PRP Y DFP

4.7.1 Grosor de la cáscara. No se encontró correlación de esta característica con las evaluaciones de porcentaje de lesiones y de pudrición de parénquima, que determinarían la resistencia de la cáscara en los clones de Rozo y Jamundí. Tampoco estuvo relacionada con las evaluaciones de deterioro fisiológico y no estuvo asociada a la característica dureza de la raíz, con la cual una correlación alta y positiva tendría una explicación lógica (Tablas 24 y 25).

4.7.2 Color de la cáscara, de la corteza y del parénquima. Los valores obtenidos con la escala de colores para cada uno de los 60 clones no estuvieron correlacionados con las evaluaciones que determinaron la resistencia de la cáscara y del parénquima a *P. tropicalis*, ni con las evaluaciones de DFP (Tablas 24 y 25).

4.7.3 Dureza de la raíz. No se encontraron correlaciones altas que puedan explicar la resistencia de los clones de Rozo y Jamundí a *P. tropicalis* en ninguna de las fases de infección del patógeno (fase de penetración y de pospenetración), igualmente estas evaluaciones tampoco estuvieron correlacionadas con las del DFP (Tablas 24 y 25). Sin embargo un caso particular ocurrió en los cultivos, pues al parecer se marcaron tendencias en las que la dureza de la raíz estuvo más correlacionada con la resistencia de la cáscara en los clones de Jamundí, mientras que en los clones de Rozo la evaluación de la dureza estuvo encaminada a explicar la resistencia del parénquima. Al parecer la respuesta de los tejidos por medio de mecanismos de resistencia, está dada por la condición en la que se encuentra el tejido y en este caso por su dureza.

Tabla 24. Correlaciones entre las características morfológicas de las raíces de la yuca y las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP, para 26 clones cosechados en el municipio de Jamundí

Relación de características morfológicas de la raíz		Resistencia de los 26 clones de Jamundí												
		Cáscara inoculada con <i>P. tropicalis</i>								Parénquima inoculado con <i>P. tropicalis</i>				Deterioro fisiológico
		% de área con pudrición de parénquima				% de lesiones con pudrición de parénquima				% de área con pudrición de parénquima				% de área con estrías vasculares
		Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Promedio de 5 cortes
Dureza de las secciones de la raíz (kg/cm ²)	Proximal	-0,36	-0,43	-0,53	-0,52	-0,10	-0,25	-0,03	-0,29	0,17	0,18	0,08	0,15	0,09
	Central	-0,33	-0,45	-0,61	-0,56	-0,27	-0,36	-0,66	-0,55	0,15	0,13	0,19	0,17	0,19
	Distal	0,04	0,06	-0,03	0,02	0,11	0,09	-0,07	0,07	0,08	0,20	0,10	0,14	0,07
	Promedio ^a	-0,20	-0,24	-0,38	-0,33	-0,05	-0,14	-0,36	-0,23	0,15	0,22	0,14	0,18	-0,23
Grosor de la cáscara de raíz (mm)	Proximal	-0,17	-0,09	-0,35	-0,25	-0,02	0,12	-0,22	-0,04	-0,18	0,01	-0,08	-0,25	0,13
	Central	-0,22	-0,06	-0,38	-0,27	0,02	0,10	-0,17	-0,01	-0,05	-0,05	-0,04	-0,27	0,09
	Distal	-0,28	-0,17	-0,24	-0,27	-0,03	-0,02	-0,21	-0,10	0,12	0,19	0,20	-0,27	-0,03
	Promedio ^a	-0,26	-0,11	-0,41	-0,32	0,00	0,09	-0,23	-0,05	-0,07	0,02	0,00	-0,32	0,09
Color de las partes de la raíz	Externo	-0,07	-0,13	-0,24	-0,12	0,09	-0,19	-0,34	-0,16	0,29	0,39	0,49	0,41	0,35
	Corteza	-0,07	-0,01	-0,24	-0,13	0,12	0,00	-0,12	0,01	0,41	0,80	0,21	0,34	0,29
	Parénquima	0,01	0,11	0,10	0,09	0,00	0,05	0,27	0,12	-0,08	0,08	-0,13	-0,05	-0,06

^a Son los valores que se obtienen al promediar las tres secciones de la raíz (proximal, central y distal)

Tabla 25. Correlaciones entre las características morfológicas de las raíces de la yuca y las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP, para 34 clones cosechados en el corregimiento de Rozo

Relación de características morfológicas de la raíz		Resistencia de los 34 clones de Rozo												
		Cáscara inoculada con <i>P. tropicalis</i>								Parénquima inoculado con <i>P. tropicalis</i>				Deterioro fisiológico
		% de área con pudrición de parénquima				% de lesiones con pudrición de parénquima				% de área con pudrición de parénquima				% de área con estrías vasculares
		Prox.	Cent.	Dist.	Prom . ^a	Prox.	Cent.	Dist.	Prom . ^a	Prox.	Cent.	Dist.	Prom . ^a	Promedio de 5 cortes
Dureza de las secciones de la raíz (kg/cm ²)	Proximal	0,06	0,10	-0,01	0,05	0,16	0,20	0,19	0,20	-0,26	-0,31	-0,27	-0,33	0,37
	Central	0,24	0,17	-0,03	0,14	0,14	0,15	0,10	0,14	-0,30	-0,36	-0,39	-0,42	0,32
	Distal	-0,03	0,07	-0,02	0,00	0,04	0,08	0,08	0,07	-0,04	-0,09	-0,19	-0,14	0,15
	Promedio ^a	0,10	0,13	-0,02	0,08	0,13	0,17	0,14	0,16	-0,24	-0,30	-0,33	-0,35	0,33
Grosor de la cáscara de raíz (mm)	Proximal	0,19	0,12	0,03	0,13	0,03	0,07	0,02	0,04	-0,09	-0,12	-0,28	-0,21	0,40
	Central	0,07	-0,02	-0,03	0,01	-0,02	-0,02	0,02	0,00	-0,04	0,01	-0,18	-0,10	0,14
	Distal	-0,02	-0,11	-0,06	-0,07	-0,13	-0,05	0,00	-0,07	-0,12	-0,13	-0,25	-0,21	-0,01
	Promedio ^a	0,11	0,01	-0,02	0,04	-0,03	0,01	0,01	0,00	-0,10	-0,10	-0,30	-0,21	0,25
Color de las partes de la raíz	Externo	-0,19	0,02	0,17	0,00	0,32	0,20	0,12	0,23	0,04	0,09	0,23	0,16	-0,12
	Corteza	0,00	0,00	-0,18	-0,07	0,23	0,22	0,18	0,23	-0,05	-0,16	-0,19	-0,17	-0,17
	Parénquima	0,14	0,12	0,14	0,15	-0,46	-0,40	-0,37	-0,44	0,05	0,03	0,09	0,07	0,08

^a Son los valores que se obtienen al promediar las tres secciones de la raíz (proximal, central y distal)

La sección distal es la que se encuentra menos correlacionada, coincidiendo para ambos cultivos, podría deberse a que la respuesta de esta sección no es muy variable en cuanto a las evaluaciones de deterioro fisiológico, de pudrición de parénquima y de lesiones; determinadas para las raíces de los clones de Jamundí y Rozo (Tabla 26).

En la Figura 23, se puede observar la mejor correlación de PRP sin perforación de la cáscara y la dureza de la raíz observada en los clones de Jamundí. Al observar el cuadrante inferior izquierdo de la figura, el cual está ocupado por los clones SM 2085-7, CM 8370-11, SM 1959-1 y SM 1965-1 se observa la expresión de otro mecanismo que les permite estar en la categoría de resistentes y moderadamente resistentes.

4.8 CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE LA RAÍZ Y LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA A PRP Y DFP

4.8.1 Contenidos de hierro y manganeso en la cáscara y parénquima. Los valores de hierro y manganeso en los 60 clones evaluados, no estuvieron correlacionados con las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP (Tabla 27 y 28).

4.8.2 Porcentajes de humedad de la cáscara y el parénquima. Con los valores obtenidos para cada clon, no se encontraron correlaciones importantes con las evaluaciones para los dos tipos de resistencia a PRP y DFP (Tablas 27 y 28), aunque si se observaron tendencias lógicas en cuanto al comportamiento de *P. tropicalis*, con desarrollo de la enfermedad en tejidos con condiciones de humedad altas para el caso de los clones cosechados en Jamundí.

Tabla 26. Correlación entre las evaluaciones de dureza de la raíz y los porcentajes de área con pudrición, que determinaron la resistencia de la cáscara y el parénquima en las diferentes secciones de la raíz de los clones de Jamundí y Rozo

RELACIÓN	CORRELACIÓN	
	34 clones Rozo	26 clones Jamundí
Resistencia de la cáscara		
proximal	0,06	-0,36
central	0,18	-0,45
distal	-0,02	-0,03
promedio ^a	0,08	-0,33
Resistencia del parénquima interno o pulpa		
proximal	-0,25	0,17
central	-0,36	0,14
distal	-0,19	0,10
promedio ^a	-0,35	0,18

^a El valor de la raíz, determinado por el promedio de las tres secciones evaluadas

^b Las correlaciones entre los valores promedios de los 34 clones de Rozo y los 26 de Jamundí

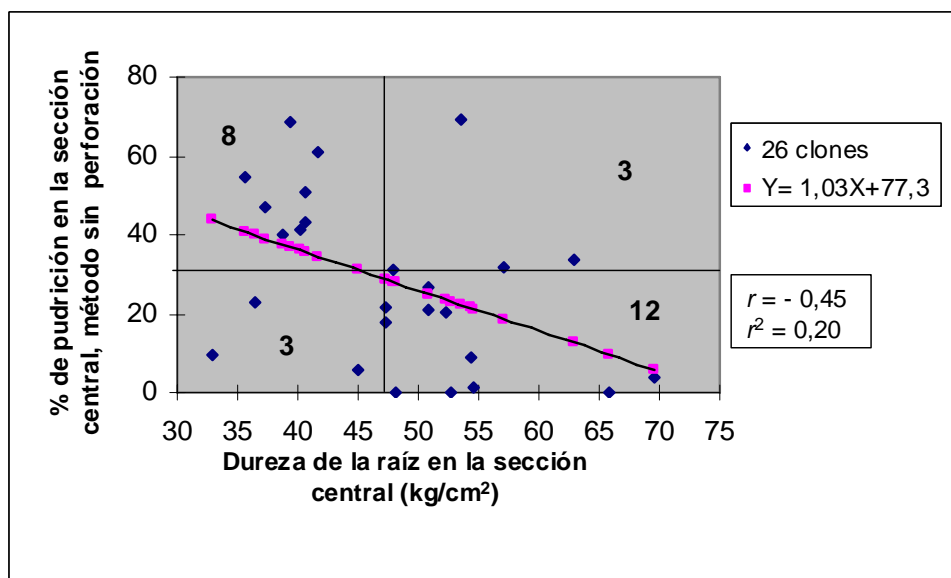


Figura 23. Correlación entre la dureza de la sección central de la raíz y el porcentaje de pudrición, debido a inoculaciones con *P. tropicalis* sin perforación de la cáscara y evaluado en la sección central de raíces de 26 clones cosechados en Jamundí

Tabla 27. Correlaciones entre las características bioquímicas de las raíces de la yuca y las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP, para 26 clones cosechados en el municipio de Jamundí

Relación de características bioquímicas de la raíz		Resistencia de los 26 clones de Jamundí												
		Cáscara inoculada con <i>P. tropicalis</i>								Parénquima inoculado con <i>P. tropicalis</i>				Deterioro fisiológico
		% de área con pudrición de parénquima				% de lesiones con pudrición de parénquima				% de área con pudrición de parénquima				% de área con estrías vasculares
		Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Promedio de 5 cortes
Porcentaje de humedad	Cáscara	0,36	0,50	0,51	0,54	0,35	0,34	0,46	0,50	0,00	-0,08	-0,17	-0,09	0,06
	Parénquima	-0,13	0,02	0,18	0,03	-0,06	0,01	0,27	0,08	-0,10	-0,27	-0,22	-0,19	0,02
Contenido de Elementos (ppm)	Fe cáscara	0,10	0,17	0,01	0,01	0,11	-0,16	0,05	0,01	-0,02	0,02	0,05	0,02	0,27
	Fe parénquima	-0,12	-0,21	0,02	-0,12	-0,17	-0,34	-0,06	-0,26	0,13	0,09	0,13	0,13	-0,09
	Mn cáscara	0,41	0,17	0,23	0,32	0,48	0,15	0,26	0,41	-0,02	-0,04	-0,02	-0,03	0,31
	Mn parénquima	-0,05	0,01	-0,07	-0,04	0,23	0,31	0,01	0,26	-0,12	-0,16	-0,14	-0,15	-0,19
Relación entre los contenidos	Fe/Mn cáscara	-0,07	-0,20	-0,07	-0,13	-0,10	-0,27	-0,04	-0,18	-0,05	0,02	0,06	0,01	0,21
	Fe/mn parénquima	-0,04	-0,23	0,04	-0,08	-0,23	-0,43	-0,10	-0,34	0,13	0,11	0,18	0,15	-0,02
	Cásc./Parénq. Fe	0,25	0,20	0,08	0,20	0,26	0,09	0,12	0,22	0,07	0,13	0,09	0,10	0,44
	Cásc./Parénq. Mn	0,49	0,18	0,30	0,39	0,31	-0,05	0,26	0,24	0,00	0,02	0,02	0,01	0,41
Escopoletina en raíces con DFP		0,31	0,07	0,05	0,17	0,35	-0,08	-0,05	0,13	0,24	0,21	0,25	0,25	0,67
Escopoletina en raíces con PRP	Proximal	0,58	0,66	0,78	0,81	0,40	0,36	0,54	0,57	0,05	0,13	0,12	0,11	0,14
	Central	0,44	0,66	0,80	0,76	0,26	0,42	0,68	0,57	-0,03	0,06	0,00	0,00	0,00
	Distal	0,36	0,59	0,89	0,74	0,14	0,31	0,82	0,51	-0,06	0,20	-0,02	-0,02	-0,12
	Promedio ^a	0,48	0,67	0,86	0,81	0,28	0,38	0,71	0,58	-0,01	0,07	0,04	0,03	0,00

^a Son los valores que se obtienen al promediar las tres secciones de la raíz (proximal, central y distal)

Tabla 28. Correlaciones entre las características bioquímicas de las raíces de la yuca y las evaluaciones de resistencia a PRP y DFP, para 34 clones cosechados en el corregimiento de Rozo

Relación de características bioquímicas de la raíz		Resistencia de los 34 clones de Rozo												
		Cáscara inoculada con <i>P. tropicalis</i>								Parénquima inoculado con <i>P. tropicalis</i>				Deterioro fisiológico
		% de área con pudrición de parénquima				% de lesiones con pudrición de parénquima				% de área con pudrición de parénquima				% de área con estrías vasculares
		Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Prox.	Cent.	Dist.	Prom. ^a	Promedio de 5 cortes
Porcentaje de humedad	Cáscara	-0,10	-0,31	-0,35	-0,29	-0,08	-0,10	-0,05	-0,09	0,14	0,15	0,13	0,16	-0,41
	Parénquima	-0,32	-0,45	-0,31	-0,41	-0,28	-0,26	-0,13	-0,24	0,00	-0,12	0,04	-0,03	-0,31
Contenido de Elementos (ppm)	Fe cáscara	0,03	0,09	0,16	0,11	0,13	0,01	0,04	0,07	0,08	0,25	0,28	0,26	-0,18
	Fe parénquima	0,01	0,08	0,20	0,11	-0,20	-0,24	-0,29	-0,26	0,08	0,24	0,21	0,22	0,11
	Mn cáscara	-0,01	0,00	-0,02	-0,01	0,26	0,19	0,21	0,24	-0,08	0,11	0,27	0,14	-0,33
	Mn parénquima	-0,05	-0,03	-0,11	-0,08	0,11	0,15	0,00	0,09	-0,20	-0,17	-0,03	-0,15	0,25
Relación entre los contenidos	Fe/Mn cáscara	0,00	0,09	0,37	0,18	-0,13	-0,32	-0,30	-0,27	0,26	0,40	0,26	0,36	0,13
	Fe/mn parénquima	-0,12	-0,07	0,12	-0,02	-0,04	-0,11	-0,03	-0,06	0,21	0,19	0,28	0,23	-0,07
	Cásc./Parénq. Fe	0,05	0,08	0,04	0,07	0,28	0,22	0,26	0,28	-0,17	-0,10	0,08	-0,06	-0,22
	Cásc./Parénq. Mn	-0,03	0,04	0,08	0,04	0,16	0,12	0,21	0,18	0,10	0,06	0,07	0,09	-0,22
Escopoletina en raíces con DFP		0,31	0,03	0,10	0,21	0,13	-0,04	-0,17	-0,29	-0,19	0,16	-0,14	-0,20	0,76
Escopoletina en raíces con PRP	Proximal	0,73	0,71	0,69	0,83	0,82	0,05	0,23	0,09	0,11	-0,03	-0,05	0,00	0,14
	Central	0,67	0,71	0,73	0,82	0,89	0,01	0,20	0,06	0,16	0,01	-0,01	0,05	0,12
	Distal	0,58	0,61	0,77	0,76	-0,03	-0,05	0,20	0,02	0,16	0,01	-0,06	0,03	0,10
	Promedio ^a	0,68	0,69	0,74	0,82	-0,05	0,00	0,21	0,06	0,15	0,00	-0,04	0,03	0,12

^a Son los valores que se obtienen al promediar las tres secciones de la raíz (proximal, central y distal)

En las Figuras 24 y 25 se puede observar el comportamiento lógico para 17 y 18 clones de los 26 evaluados provenientes de Jamundí. En el cuadrante inferior derecho de las figuras se identifican los clones SM 1959-1, M Per 183, CM 8370-11 y M Tai 8 y el clon SM 2085-7, observado en la Figura 25, como clones que muestran resistencia de la cáscara a *P. tropicalis*, aun con porcentajes de humedad altos.

4.8.3 Porcentaje de escopoletina. La prueba para la determinación del tipo de fluorescencia debido a inoculaciones con *P. tropicalis* dio positiva para escopoletina, queriendo decir que el patógeno en este caso también causa el incremento de este fenol en la raíz, como de igual forma se produce en las raíces expuestas al deterioro fisiológico (Morales, 1983; Wheatley, 1982; Agrios, 1978; Harborne, 1969).

Los porcentajes de fluorescencia determinados en los cortes transversales sometidos a deterioro fisiológico y en los sometidos a pudrición de parénquima mediante inoculaciones con *P. tropicalis* sin perforación de la cáscara, están correlacionados con las variables de deterioro fisiológico y de resistencia de la cáscara.

La correlación encontrada entre las evaluaciones de deterioro y el porcentaje de fluorescencia como indicador de escopoletina es de 0,67 para los clones de Jamundí (Figura. 26) y de 0,76 para los clones de Rozo (Figura 27).

El porcentaje de escopoletina evaluado en raíces inoculadas sin perforación de la cáscara, estuvo correlacionado con el porcentaje de área con pudrición de parénquima en raíces inoculadas con *P. tropicalis* de manera significativa en cada una de las secciones de la raíz. Las correlaciones entre el valor promedio de las tres secciones muestra correlación de 0,65 para los clones de Jamundí (Figura 28) y de 0,72 para los clones ubicados en Rozo (Figura 29).

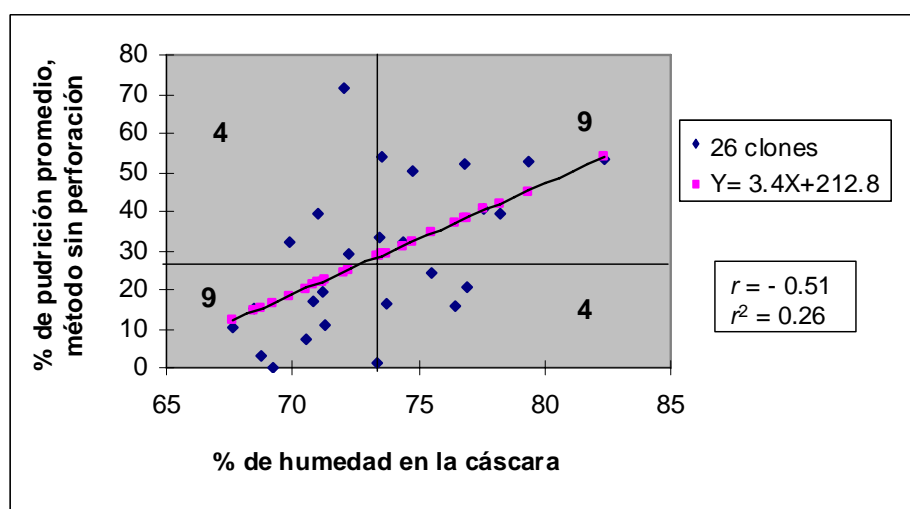


Figura 24. Correlación entre el porcentaje de humedad en la cáscara y el porcentaje de pudrición promedio, método sin perforación, de las evaluaciones que determinaron la resistencia de la cáscara para 26 clones de yuca cosechados en Jamundí e inoculados con *P. tropicalis*

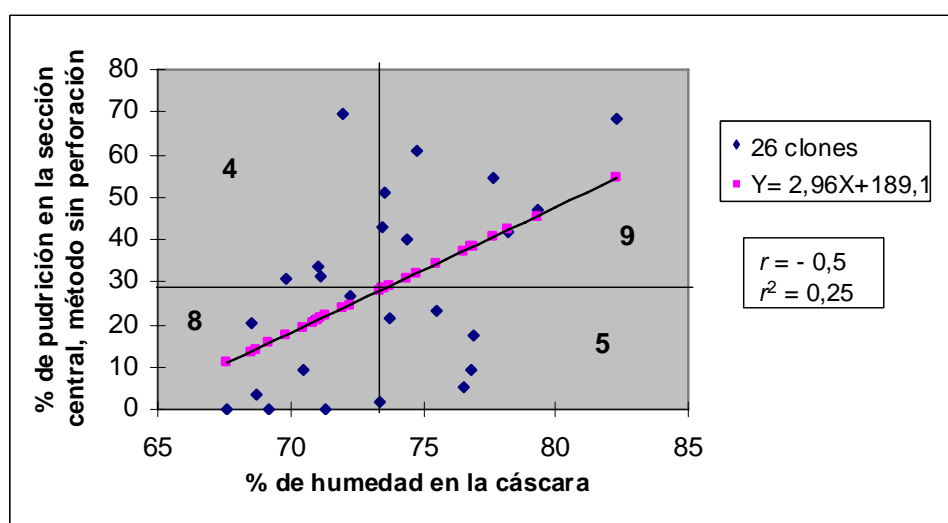


Figura 25. Correlación entre el porcentaje de humedad en la cáscara y el porcentaje de pudrición evaluado en la sección central, método sin perforación, para determinar la resistencia de la cáscara para 26 clones de yuca cosechados en Jamundí e inoculados con *P. tropicalis*

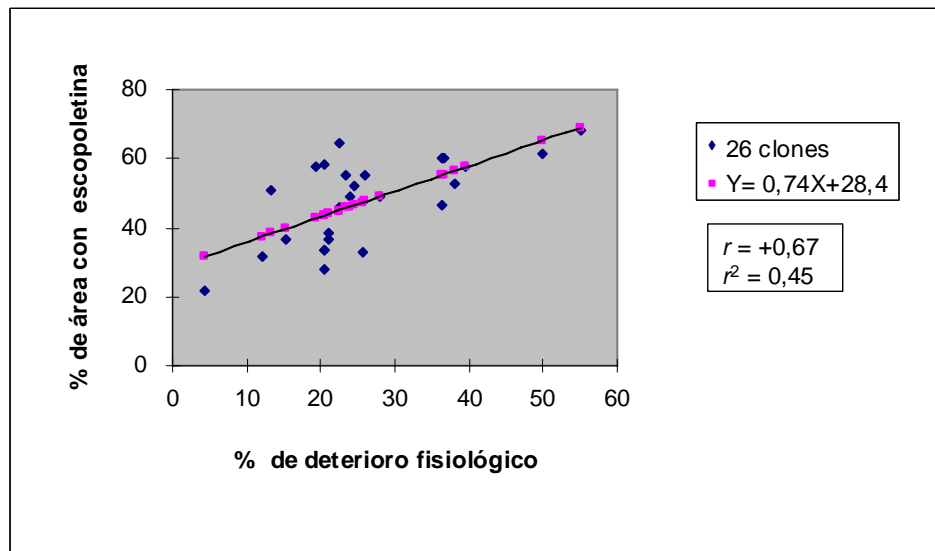


Figura 26. Relación entre el porcentaje de escopoletina en raíces sometidas a DFP y el porcentaje de DFP observado de dichas raíces, para 26 clones de un cultivo ubicado en Jamundí

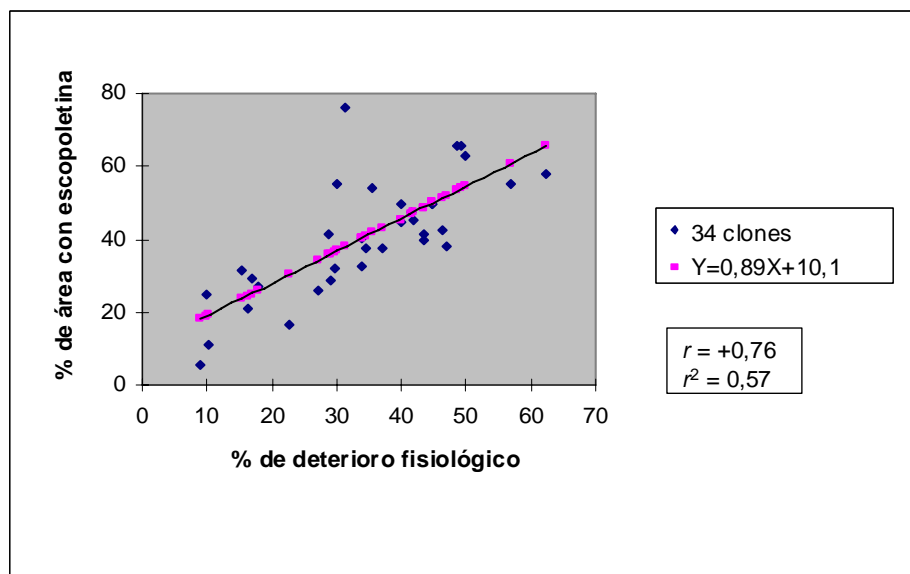


Figura 27. Relación entre el porcentaje de escopoletina en raíces sometidas a DFP y el porcentaje de DFP observado de dichas raíces, para 34 clones de un cultivo ubicado en Rozo

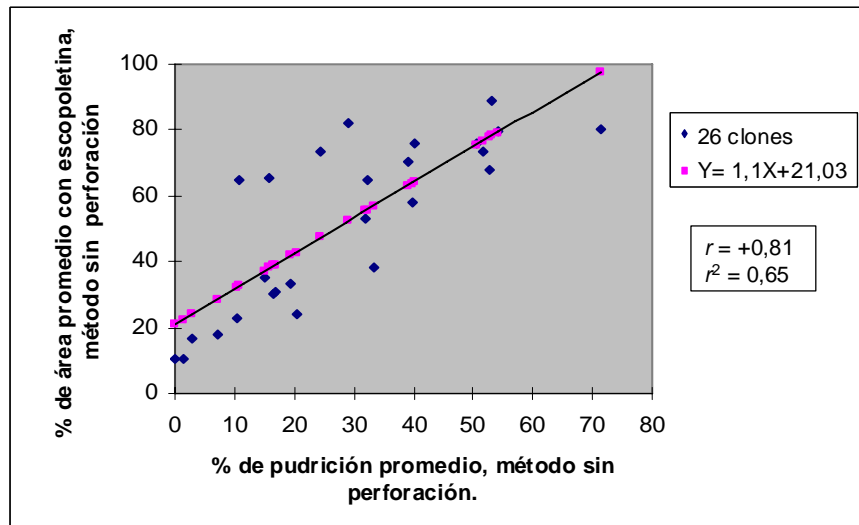


Figura 28. Relación entre los valores promedio de porcentaje de escopoletina en el parénquima, observado en raíces sometidas a PRP sin perforación de la cáscara y los porcentajes de área con PRP de 26 clones de Jamundí

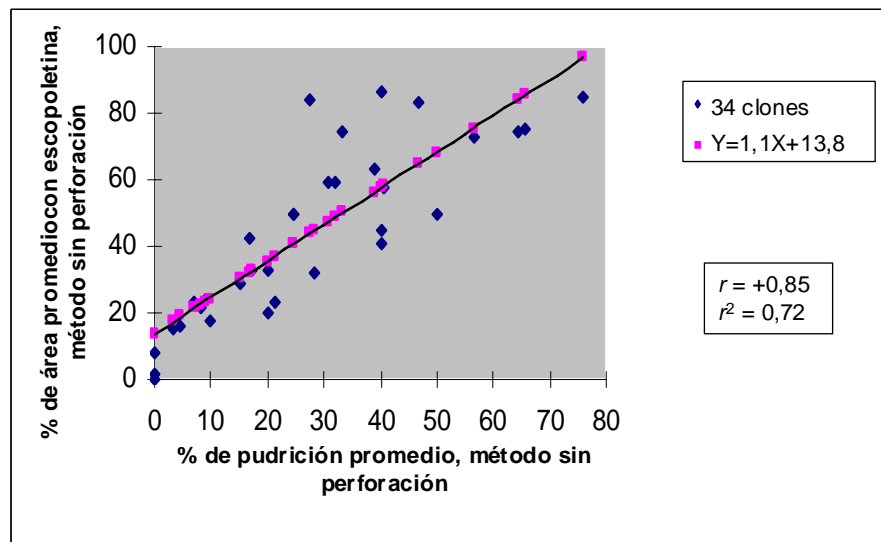


Figura 29. Relación entre los valores promedio de porcentaje de escopoletina en el parénquima, observado en raíces sometidas a PRP sin perforación de la cáscara y los porcentajes de área con PRP para 34 clones de Rozo

4.9 CORRELACIÓN ENTRE LAS EVALUACIONES REALIZADAS PARA LOS CLONES DE JAMUNDI Y LOS DE LA DOLORES

El grupo de clones evaluado en el año 2003 por Loke (2004) en el corregimiento de La Dolores y un mismo grupo de clones proveniente de Jamundí, mostró diferencias muy marcadas para las evaluaciones de resistencia a PRP y las características morfológicas y bioquímicas de la raíz que evidencian una vez más, el efecto determinante de las condiciones ambientales propias de cada localidad.

4.9.1 Resistencia de la cáscara de la raíz a *P. tropicalis*. Entre las evaluaciones de porcentaje de lesiones, método sin perforación, no hubo una correlación significativa ($r = 0,11$), queriendo decir que el efecto del tiempo, y más aún del ambiente influencia drásticamente la respuesta de los clones, pues el promedio de lesiones fue mucho menor en La Dolores (60,0%), comparado con el de Jamundí (76,7%) (Tabla 29).

4.9.2 Resistencia del parénquima de la raíz a *P. tropicalis*. Entre las evaluaciones de porcentaje de área con pudrición de parénquima, método sin perforación, no hubo correlación ($r = 0,02$), coincidiendo con la correlación anterior (de resistencia de la cáscara) queriendo decir que una vez más el efecto del ambiente influencia drásticamente la respuesta de los clones aunque el porcentaje promedio de enfermedad no fluctuó mucho entre las dos localidades (Tabla 30).

4.9.3 Grosor de la cáscara. Esta característica morfológica de la raíz se mostró muy influenciada por el ambiente, pues al comparar las evaluaciones de grosor promedio de la raíz no se encontró correlación, $r = 0,04$ (Tabla 31).

Tabla 29. Comparación entre las evaluaciones de porcentaje de lesiones, método sin perforación, realizadas a las raíces de 18 clones yuca, cosechados en las localidades La Dolores en el 2003 y en Jamundí en el 2004

CLON	LA DOLORES	JAMUNDÍ
CM 6660-21	67,3	100
CM 7463-2	79,8	66,7
CM 7951-5	57,0	100
CM 8370-10	65,2	100
CM 8370-11	47,3	100
M Per 183	42,2	100
M Tai 8	59,8	66,7
SM 1520-16	59,8	33,3
SM 1642-22	97,3	60,0
SM 1660-4	72,3	100
SM 1779-7	68,5	100
SM 1855-15	31,9	20,0
SM 1871-33	59,8	0,0
SM 1965-1	64,0	80,0
SM 2058-2	61,7	70,0
SM 2073-1	36,9	73,3
SM 2085-7	47,5	76,7
SM 2160-2	59,8	100
Promedio	60,0	74,8

Tabla 30. Comparación entre las evaluaciones de porcentaje de área con pudrición de parénquima, método con perforación, realizadas en raíces de 18 clones de yuca, cosechados en las localidades La Dolores en el 2003 y en Jamundí en el 2004

CLON	LA DOLORES	JAMUNDÍ
CM 6660-21	33,4	39,2
CM 7463-2	69	51,3
CM 7951-5	25,6	56,5
CM 8370-10	50,6	48,2
CM 8370-11	60,1	61,8
M Per 183	46,8	61,0
M Tai 8	41,3	36,4
SM 1520-16	41,8	51,2
SM 1642-22	46,2	48,2
SM 1660-4	42,7	64,8
SM 1779-7	50,4	56,4
SM 1855-15	19,4	56,7
SM 1871-33	54	77,2
SM 1965-1	46	65,3
SM 2058-2	43,1	61,33
SM 2073-1	76,8	54,00
SM 2085-7	70,9	38,67
SM 2160-2	64,3	63,33
Promedio	49,0	55,1

Tabla 31. Comparación entre las evaluaciones de grosor de la cáscara de la raíces de yuca, realizadas en 14 clones, cosechados en las localidades La Dolores en el 2003 y en Jamundí en el 2004

CLON	LA DOLORES	JAMUNDÍ
CM 6660-21	2,6	2,2
CM 7463-2	2,6	2,7
CM 8370-10	2,0	3,1
CM 8370-11	2,0	2,8
M Tai 8	3,0	2,7
SM 1219-9	2,0	2,4
SM 1520-16	2,7	2,3
SM 1642-22	3,0	2,4
SM 1660-4	2,0	2,0
SM 1779-7	3,0	3,0
SM 1871-33	2,8	2,6
SM 1965-1	2,3	2,1
SM 2058-2	2,9	2,0
SM 2085-7	2,4	2,0
Promedio	2,5	2,5

4.9.4 Color de la corteza y color externo de la raíz. En general esta característica fue muy estable en ambas localidades, según las observaciones de 12 clones. En Algunos casos con respecto al grado de intensidad en el color de la corteza se observó que el clon M Tai 8 paso de tener un color blanco o crema (categoría 1) en La Dolores, a un color amarillo en Jamundí categoría 2; similar condición se presentó en el clon SM 1871-33 para el color de la corteza y en el clon SM 1660-4, para el color externo de raíz, las correlaciones fueron de 0,90 para la corteza y 0,95 para el color externo (Tabla 32).

4.9.5 Contenidos de hierro y manganeso y su relación, en la cáscara de la raíz. Los análisis realizados para la determinación del contenido de estos elementos en la cáscara, muestran para las dos localidades diferencias muy marcadas (Tabla 33). La cantidad de estos dos elementos fue mucho mayor para los clones de Jamundí, y los valores mas altos de relación Fe/Mn se presentaron en los clones provenientes de La Dolores, al parecer la condición de relaciones bajas fue la causante de no encontrar correlación ($r = 0,26$) entre las evaluaciones de resistencia de la cáscara con la relación para los contenidos de Fe y Mn en los clones de Jamundí, contrario a lo encontrado por Loke (2004) en los clones de La Dolores (Figura 30).

4.9.6. Porcentaje de escopoletina evaluado en raíces expuestas a DFP. Con la comparación para 18 clones presentes en ambas localidades, no se encontro correlación ($r = 0,15$), pero si se observaron clones que mantienen esta característica de bajo contenido de escopoletina asociado con la baja deterioración fisiológica de la raíz, en este caso el clon M Tai 8 se mantiene con porcentajes de 21 % de escopoletina en la raíz (Tabla 34).

Tabla 32. Comparación entre las observaciones de color de la corteza y color externo de la raíz, de 12 clones yuca cosechados en las localidades La Dolores en el 2003 y en Jamundí en el 2004

CLON	COLOR DE LA CORTEZA		COLOR EXTERNO	
	La Dolores	Jamundí	La Dolores	Jamundí
CM 6660-21	1	1	1	1
CM 8370-10	3	3	3	3
CM 8370-11	2	2	4	4
M Tai 8	1	2	1	1
SM 1520-16	1	1	3	3
SM 1642-22	1	1	3	3
SM 1660-4	2	2	2	3
SM 1779-7	2	2	3	3
SM 1871-33	3	4	4	4
SM 1965-1	2	2	3	3
SM 2058-2	2	2	3	3
SM 2085-7	1	1	3	3

Tabla 33. Comparación entre los contenidos de hierro y manganeso en la cáscara y los valores de la relación Fe/Mn, para 9 clones de yuca evaluados en las localidades de La Dolores (Palmira -Valle del Cauca) y en Jamundí

CLON	La Dolores	Jamundí	La Dolores	Jamundí	La Dolores	Jamundí
	Fe ppm	Fe ppm	Mn ppm	Mn ppm	Fe/Mn	Fe/Mn
CM 6660-21	255,6	415,4	9,4	86,7	27,2	4,8
CM 7463-2	184,7	560,0	9,4	53,5	19,6	10,5
CM 8370-10	138,9	329,0	7,3	52,5	18,9	6,3
SM 1642-22	78,5	440,3	3,6	65,1	22,1	6,8
SM 1660-4	244,3	487,1	26,0	87,1	9,4	5,6
SM 1779-7	145,4	498,1	4,7	74,7	31,1	6,7
SM 1855-15	126,6	911,1	4,1	80,5	30,8	11,3
SM 2073-1	130,4	180,2	3,9	51,0	33,4	3,5
SM 2160-2	296,9	286,1	7,6	83,2	39,3	3,4
Promedio	177,9	456,4	8,4	70,5	25,8	6,5

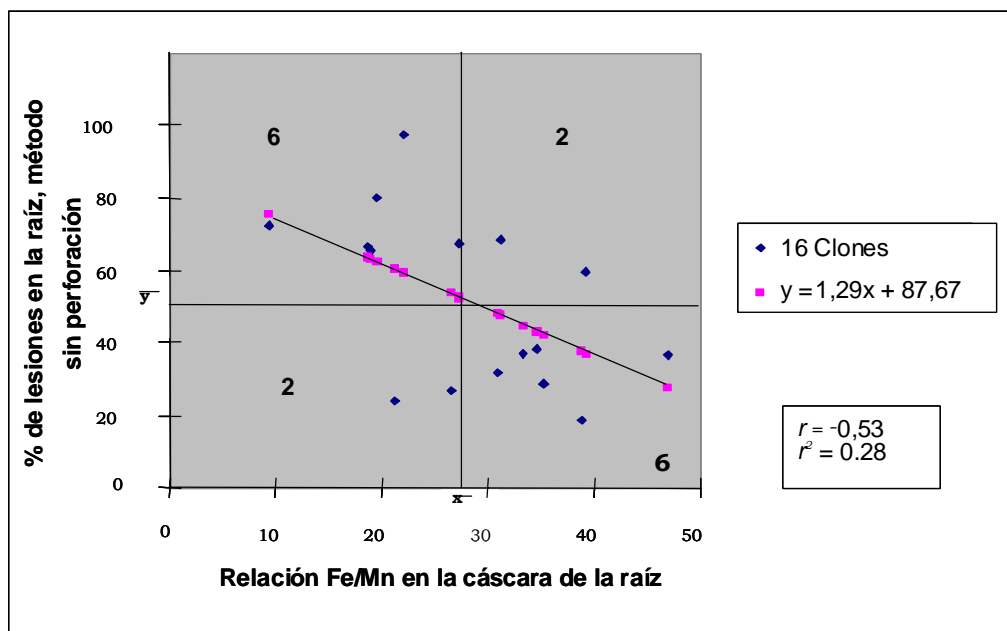


Figura 30. Correlación entre el porcentaje de lesiones y las relaciones Fe/Mn encontradas en 16 clones de yuca provenientes de La Dolores (Palmira-Valle del Cauca) **Fuente: Jhon Loke, Tesis de Maestría, 2004**

Tabla 34. Porcentajes de escopoletina en raíces expuestas a deterioro fisiológico poscosecha, para 18 clones de yuca evaluados en las localidades de La Dolores y en Jamundí

CLON	LA DOLORES	JAMUNDÍ
CM 6660-21	17,6	49,2
CM 7463-2	60,8	36,5
CM 7951-5	40,5	60,0
CM 8370-10	43,8	64,6
CM 8370-11	54,2	46,1
M Per 183	41,7	52,8
M Tai-8	21,2	21,4
SM 1520-16	25,5	28,1
SM 1642-22	35,8	31,6
SM 1660-4	31,0	58,6
SM 1779-7	31,6	57,8
SM 1855-15	22,0	68,5
SM 1871-33	51,8	48,8
SM 1965-1	46,5	61,4
SM 2058-2	38,7	55,2
SM 2073-1	60,5	50,8
SM 2085-7	75,5	60,1
SM 2160-2	50,5	38,7
Promedio	41,6	49,5

5. CONCLUSIONES

- No se observaron correlaciones significativas entre las evaluaciones de resistencia a DFP y PRP, y los caracteres morfológicos y bioquímicos evaluados. Estos resultados confirman lo reportado por Loke (2004) para el cultivo de la yuca e Iwaro y colaboradores (1997) para el cultivo de cacao. La escasa asociación de los caracteres morfológicos con la resistencia a *P. tropicalis*, corrobora los estudios realizados por Álvarez y colaboradores (2003), que indican que la resistencia a *P. tropicalis* está controlada por genes menores, con alta influencia del ambiente.
- Se validó la existencia de diferentes tipos de resistencia en la raíz de yuca, determinados por los mecanismos de resistencia a la penetración y a la pospenetración del patógeno, evaluando la respuesta de la cáscara y el parénquima con inoculaciones de *P. tropicalis*.
- Se determinó que el grado de resistencia o susceptibilidad de la raíz a inoculaciones con *P. tropicalis* está fuerte influenciado por los puntos de inoculación de la raíz, determinados para las secciones proximal, central y distal.
- Las correlaciones observadas para la escopoletina con *P. tropicalis* inoculada sin perforación y con DFP, muestran que la escopoletina es una expresión del deterioro, ya sea patológico o fisiológico, en la raíz

- La investigación permitió mejorar la metodología de inoculación y evaluación de clones de yuca por resistencia a PRP dado que con inoculaciones en el centro de la raíz se obtiene un valor que explicaría el comportamiento de resto de las secciones de la raíz.
- Para el caso de las respuestas de los clones por resistencia a PRP y DFP, es claro que el ambiente es determinante en la expresión de estas características, por lo tanto la investigación encaminada a identificar agroecosistemas que permitan la obtención de un equilibrio sería la estrategia a adoptar en futuras investigaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN. M, Fredy y DUFOUR, Dominique. Almidón Agrario de yuca en Colombia.: Producción y Recomendaciones.Tomo 1. Cali: publicación CIAT No. 268, (diciembre, 1998). ISBN 958-9439-67-5

AGRIOS, G.N. Fitopatología. Editorial Limusa., Mexico. 1996. p 93-105

AGRIOS, N.G. Plant Pathology. Defense Biochemical. 2ed. New York. Academic Press. 1978. p. 79-85. ISBN 0-12-044560-3.

ÁLVAREZ, Elizabeth y LLANO, Germán. Manejo de Enfermedades y Plagas En: BERNARDO, Ospina y CEBALLOS, Hernan. La Yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali: CIAT publicación No. 327 (May, 2002) p. 271-294 ISBN 958-694-043-8

ÁLVAREZ, Elizabeth; LOKE, John; RIVERA, Sandra y LLANO, German. Genética de la resistencia a pudrición causada por *Phytophthora tropicalis* en dos poblaciones segregantes de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.). En: Fitopatología Colombiana, Cali (Colombia). Vol. 26, No. 2 (2003); p. 61-66

AVERRE, C.W; Vascular streaking of stored cassava roots. In: In International Symposium on Tropical Root Crops, Ist, St. Augustine, Trinidad, 1967. Proceedings. St. Augustine, University of West Indies. Vol. 2 (1969); p. 31-35

BAJIT, Gracia and GAPASIN, Ruben. Relationship between morphological characteristics and varietal resistance of sweet potato to scab infection caused by *Sphaceloma batatas* Saw. In: Annals of Tropical Research, Visca – Leyte (Philippines). Vol. 9, No. 2 (1987); p. 75-83.

BREEDING CROPS FOR BETTER NUTRITION. Biofortification CGIAR. Biofortification. [on line]: Roma, Italia: FAO, 2004. [Cited 25 March 2004]. Available from <<http://www.harvestplus.org>>

BOOTH, R.H.. Storage of fresh cassava. 1-Post harvest deterioration and its control. In: Experimental Agriculture. Cambridge (UK). Vol. 12, No. 2 (april. 1976); p. 103-111

CEBALLOS, Hernán. Resistencia a estreses bióticos y abióticos: patogénesis. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 1997; p. 9-21

_____. La Yuca en Colombia y el Mundo : Nuevas perspectivas para un cultivo milenario. En: BERNARDO, Ospina y CEBALLOS, Hernan., La Yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción , procesamiento, utilización y comercialización. Cali: CIAT publicación No. 327 (May, 2002). p. 1-13 ISBN 958-694-043-8

CEBALLOS, Hernán y DE LA CRUZ, Gabriel. Taxonomía y Morfología de la Yuca. En: BERNARDO, Ospina y CEBALLOS, Hernan. La Yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción , procesamiento, utilización y comercialización. Cali: CIAT publicación No. 327 (May, 2002). p. 17-34 ISBN 958-694-043-8

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Caracterización de regiones para el cultivo de la yuca, documentos de trabajo, Memorias de la segunda reunión panamericana de Fitomejoradores de yuca. CIAT, Cali-Colombia. 1984

_____. Integrated Pest and Disease Management in major Agroecosystems, Evaluating the effects of various control practices on the indicator of *Phytophthora* root rots under field conditions in Quindío, Colombia. Project -PE 1- Annual Report. Cali, Colombia CIAT, 2004. p. 270-271

_____. Improved cassava for the developing world; Annual Report, *Phytophthora tropicalis*. Cali, Colombia: CIAT, 2000. p 123 – 154

CEÑOS J., Pedro; LÓPEZ, Alfredo y BURGOS, Ángela M. Factores ambientales que regulan el deterioro poscosecha en Mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). [en línea]: Sargento Cabral: Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE, 2001. [Citado 12 de Agosto de 2004]. Disponible en <<http://www1.unne.edu.ar/cyt/2001/5-Agrarias/A-011.pdf>>

COOKE D. E. L. and DUNCAN J. M. Phylogenetic analysis of *Phytophthora* species based on the ITS1 and ITS2 sequences of ribosomal DNA. In: Mycological Research. New Rochelle (USA) Vol. 101 (1997), p 667-677.

DAVIDSE, L. C.; LOOIJEN, D.; TURKENSTEEN, L. J. and VAN DER WAL. D. Occurrence of Metalaxyl-resistant strains of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. European Plant Protection Organisation Bulletin Vol. 15 (1981); p. 403–409

FAO/ FIDA (Fondo Inetrnacional del Desarrollo Agrícola/ organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. La economía mundial de la yuca: hechos tendencia y perspectivas. Roma, Italia, 59p Citado por CEBALLOS, Hernán. La Yuca en Colombia y el mundo : Nuevas perspectivas para un cultivo milenario. En: BERNARDO, Ospina y CEBALLOS, Hernan., la yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción , procesamiento, utilización y comercialización. Cali: CIAT publicación No. 327 (May, 2002). p. 1-13 ISBN 958-694-043-8

FOOD AND AGRICULTURA ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT Agriculture [on line]:FAO, 2004. [Cited 25 March 2004]. Available from <<http://apps.fao.org/>>

FUKUDA, W.M.N.G. em GUEVARA. C.L. Descriptores morfológicos e agronômicos para la caracteriçãõ de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) En: EMBRAPA. Cruz das Almas (Brasil). 1998. 38p. (EMBRAPA – CNPMF, Documento 78).

GEES, R. and HOLH, H. R. Cytological comparision of specific (Ra) and general resistance to late blight in potato leaf tissue. In: Phytopathology. Vol. 78, No. 3 (March, 1988); p. 350-357

GUZMAN G., Patricia. Mancha Marrón (Helminthosporiosis) *Bipolaris oryzae*. En: CIAT, MIP en Arroz manejo integrado de plagas, artropodos, enfermedades y malezas. Cali: CIAT publicación No 292, (sep, 1997); p. 141-144. ISBN 958-9439586

HAYNES, K.G; LAMBERT, D.H; CHRIST, B.J; WEINGARTNER, D.P; DOUCHES, D.S; BACKLUND, J.E; SECOR, G; FRY, W and STEVENSON, W. Phenotypic stability of resistance to late blight in potato clones evaluated at eight sites in the United States. In: American Journal of Potato Research, Vol. 75, No. 5 (1998); p. 211-217

JARAMILO, Gustavo. Recursos genéticos de *Manihot* en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En: BERNARDO, Ospina y CEBALLOS, Hernán., La Yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción , procesamiento, utilización y comercialización. Cali: CIAT publicación No. 327 (May, 2002). p. 271-294 ISBN 958-694-043-8

IVANOV, G.E. and R. N. MERTSEDIN. Zinc oxide improves potato tuber quality. Kartoffel'-i-Ovoshchi Vol 2 (1990); p. 13-15

IWARO. Adeniyi D. Mechanisms of Resistance to *Phytophthora palmivora* (Butler) butler in cacao (*Theobroma cacao* L.) and their genetic basis. 1995.

291p. Thesis. (PhD) The university of west Indies, Trinidad and Tobago, Department of Plant Science, Faculty of Agriculture.

IWARO. A.D; SREENIVASAN T.N and UMAHARAN P. Foliar resistance to *Phytophthora palmivora* as an indicator of pod resistance in *Theobroma cacao*. Plant Diseases, St. Paul-Minnesota (USA). Vol. 81 (june. 1997a); p. 619-624

IWARO,. A.D; SREENIVASAN, T.N and UMAHARAN, P. *Phytophthora* resistance in cacao (*Theobroma cacao*): Influence of pod morphological. In: Plant Pathology, Oxford (England). Vol. 46 (august. 1997b); p. 557-565

JOHNSON, I.; PALANISWAMI, A. *Phytophthora* tuber rot of cassava - a new record in India. In: Journal of Mycology and Plant Pathology. Vol. 29 (1999); p. 323-332

LOKE, John. Resistencia foliar, marcadores bioquímicos y QTLs como indicadores para la resistencia a Pudrición de Raíz (*Phytophthora tropicalis*) en yuca (*Manihot esculenta* Crantz), 2004. 143p. Tesis (Maestría en Ciencias Agrarias con Enfoque en Fitomejoramiento) Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Facultad Ciencias Agropecuarias

LOPES, E. B. e MATIAS, E. C. Controle varietal e cultural da podridao radicular da mandioca. Joao Pessoa-PB, Brasil, In: Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuaria da Paraiba. Pesquisa em Andamento no.7, 1984; 2 p

LOPES, E.B; MELO, G.S.; MATIAS, E.C.. Problemas fitossanitarios da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) na Paraiba, e recomendacoes de controle. Lagoa Seca-PB, Brasil, In: Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuaria da Paraiba. Lagoa Seca-PB (Brasil) (1984); 15 p

LOPEZ, C.; LOZANO, T.J. Evaluación sobre resistencia a *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae* en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En:

Fitopatología Colombiana, Cali (Colombia). Vol.16, Nos.1-2 (Junio. 1992); p.113-119

LOZANO, José. Primeros cultivares de mandioca resistentes a pudriciones radicales liberan en Brasil. En: Yuca Boletín Informativo. Cali Vol. 15, No. 1 (1991a); p. 4-5

LOZANO, José. Control Integrado de Enfermedades en Yuca. En: Fitopatología Venezolana, Maracay (Venezuela). Vol. 4, No. 2 (jul.-dic. 1991b); p. 30-36

LOZANO, J.C. y BOOTH, R.H. Enfermedades de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz.). En: Yuca: Investigación, producción y utilización. Programa de Yuca, CIAT, Cali (Colombia), 1982. p 493-512

LLANO R, Germán A. Identificación de genes análogos de resistencia a enfermedades en yuca, *Manihot esculenta* Crantz y su relación con la resistencia a tres especies de *Phytophthora*. Palmira. 2003. 119p. Tesis (Maestría Ciencias Agrarias con Énfasis en Fitomejoramiento) Universidad Nacional de Colombia. Facultad Ciencias Agropecuarias.

LLANO R, German *et. al.* Evaluación de la adaptación de variedades de yuca con resistencia a *Phytophthora* spp., mediante investigación participativa en comunidades indígenas de Mitú (Vaupés, Colombia). En: Acta Agronómica, Palmira. Vol. 51, Nos. 1-2 (2001-2002); p. 31-39

MARRIOTT, J., B.O BEEN and PERKINS. The aetiology of vascular discoloration in cassava roots after harvesting: development of endogenous resistance in stored roots. *Physiologia Plantarum*. Elmont, (Sweden). Vol. 45 No. 1.: (january. 1979); p. 51-56

MARRIOTT , J., R.A PLUMBLEY and RICKARD. Physiological aspects of the storage of cassava and other tropical root crops. In: In Hurd, R.G., BISCOE, P.V and DENIS, C. Opportunities for increasing crop yield. Pitman, London 1980. p. 363 - 375.

MENDONCA, H. A. DE; MOURA, G. D. E. M. e CUNHA, E. T. Avaliacao de clones de mandioca em diferentes epocas de colheita no Estado do Acre. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (EMBRAPA), Vol. 38, No 6 (2003); p. 761-769.

MITŠKO, V.M.; NOVOSEL'SKA, A.P. and KHOLODYLO, I.K. Intercommunication between infection of the *Solanum tuberosum* plants by *Phytophthora* and darkening tubers pulp. In: International conference on selection of potato breeding for *Phytophthora* resistance. Obroshino (Ukraine), (jul. 1994); 36p.

MONTALDO, A. Vascular streaking of cassava root tuber. In: Tropical Science, oxford (UK). Vol. 15, No. 1 (1973); p. 39-46

MORALES, Margarita. Aspectos bioquímicos de la resistencia a enfermedades En: Boletín de Reseñas (Protección de plantas), La Habana. No 9 (mayo. 1983) 75p.

MUTOMBO, T; PHEMBA. P; LUTALADIO, N.B; KIDANEMARIAM, H.M. Evaluation of potato genotypes in different agro-ecological zones in eastern Congo. In: African-Crop-Science-Journal, Kampala, Uganda. Vol. 6, No. 4 (December, 1998); p. 357-366

OKEY, E. N; DUNCAN, E. J.; SIRJU-CHARRAN, G. and SREENIVASAN, T. N. Factors affecting the susceptibility to six cocoa clones to *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butler bark canker in Trinidad. In: Plant Pathology, Oxford (England). Vol. 45, (february. 1996); p. 84–91.

PARLEVLIET, J.E. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. In: Annual Reviews Phytopathology, Palo Alto, USA Vol. 17, (1979); p. 203-222

PLUCKNETT, D.T; PHILLIPS; KAGBO, R. Global Cassava Development Strategy. Transforming a traditional tropical root crop; Roma, Italia: FAO. 1999

RAJ KUMAR, JAIN., V. B and PANDEY., J.C. Morphological nature of disease resistance in winged bean cultivars to *Phoma sorghina* In: International Journal of Tropical Plant Diseases, New delhi (India). Vol 3. No. 1 (january-june. 1985); p. 57-61.

RICKARD, J.E. Investigation into post-harvest behavior of cassava roots and their response to wounding. 1982. 161 p. Thesis Ph.D (Biochemist) University of London.

SÁNCHEZ Marina y PRAGER M., Martín. Nociones fundamentales para el manejo ecológico de problemas fitosanitarios. 1ed, Cali: Feriva S.A, 2001. p 17-43. ISBN 958-8095-07-7

SÁNCHEZ, N. J. Caracterización de *Phytophthora* spp. Agente Causal de Pudrición en Raíz de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) utilizando Pruebas de Patogenicidad y Técnicas Moleculares, 1998. 205p. Tesis (Biologa). Universidad Nacional de Colombia, Sede Santafé de Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología.

WAGGONER, Ben. Introduction to the Oomycota [on line]: Arkansas: University of Central Arkansas, 1995. [Cited 19 Octubre de 2004]. Available from < <http://www.ucmp.berkeley.edu/chromista/oomycota.html>>

WHEATLEY, Christopher. Studies on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots, post-harvest physiological deterioration. 1982. 246p. Thesis Ph.D (Biochemist). University of London.

WHEATLEY, C.; La diferencia entre aflotoxinas y escopoletinas en la yuca seca. In: In Romanoff, S.; Rodriguez, M., eds. Seminario Anual sobre La Yuca, 2, Portoviejo, Ecuador, 1986. La industria de yuca en la Costa Ecuatoriana: memorias. Quito, Ecuador. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Fundación para el Desarrollo Agropecuario, 1989. p.70-72 ISBN 84-84421-01-3

WHEATLEY, C.; LOZANO, C. y GÓMEZ, G. Deterioración y almacenamiento de raíces de yuca. En: Yuca: Investigación, producción y utilización. Programa de Yuca, CIAT, Cali - Colombia, 1982. p 493-512

WHEATLEY, C; SCHWABE, W. W. Scopoletin involvement in post-harvest physiological deterioration of cassava root (*Manihot esculenta* Crantz). In: Journal of Experimental Botany, Lancaster (UK). Vol. 36, No. 166 (May, 1981); p. 783-791

TAKATSU, A. and FUKUDA, S.. Current status of cassava diseases in Brazil. In Hahn, S.K.; Caveness, F.E. eds. Workshop on the Global Status of and Prospects for Integrated Pest Management of Root and Tuber Crops in the Tropics, Ibadan, Nigeria, 1987. In: Integrated pest management for tropical root and tuber crops: proceedings. Ibadan, Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture. (1990); p. 127-131

ZAPATA OTALVARO, Gloria. Disminución de Deterioro fisiológico poscosecha en raíces de yuca (*Manihot esculenta* CRANTZ) mediante almacenamiento controlado. Santiago de Cali, 2001. 84p. Tesis (Ingeniero Agoindustrial). Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingenieria Agroindustrial

7. ANEXOS

7.1 PREPARACIÓN DE MEDIO DE CULTIVO V8A MODIFICADO PARA *P. tropicalis* Y OTRAS ESPECIES DE *Phytophthora* y *Pythium*

7.1.1 Medio de V8 Agar (V8A). 500 ml de medio, suficiente para 5 muestras vegetales:

- 100 ml jugo V8
- 400 ml agua destilada (se puede reemplazar por agua desionizado)
- 1,0 g carbonato de calcio (CaCO_3)
- 10 g agar
- tiabendazol (opcional, reduce contaminación por hongos)
- Bottela Pyrex o erlenmeyer de 1 L
- 17 cajas de petri

a, Diluir el jugo de V8 en el agua destilada, mezclarlo con CaCO_3 y 0,5 ml tiabendazol,

b, Agitar por varios minutos en un agitador magnético o a mano,

c, Agrega el agar,

d, Autoclavar el medio,

e, Opcional: Agregar 500 μl (=0,5 ml) de cada agente antiomicrobial, para cada 500 ml de medio al medio poco antes de ser servido a una temperatura de 45 °C,

f, Agitar el medio suavemente y servirle,

7.1.2 Preparación de antibióticos y fungicidas para agregar al medio de cultivo.

- Preparación de diluciones madres de los antibióticos y fungicidas para los medios de cultivo:

Para procesar 5 muestras vegetales, se necesita preparar 500 ml de V8A y PDA, a cada medio se debe agregar:

- 0,5 ml tiabendazol (Mertect)
- 20 mg benomyl (Benlate)
- 250 mg ampicilina
- 10 mg rifampicina
- 400 mg penicilina G
- 200 mg pentaclornitrobenzene (PCNB)

Adicionalmente se necesita:

- 100 ml etanol (alcohol) 98%
- 100 ml agua destilada estéril
- 5 tubos plásticos o de vidrio estériles con tapa rosca de 50 ml

- Se prepara las siguientes soluciones madres concentradas (para 10 muestras, 34 cajas de petri con medio, 0,5 L de cada medio):

Reactivo	Etanol 98% (ml)	Agua destilada (ml)	Total (ml)
20 mg benomil	5,0	15,0	20,0
250 mg ampicilina	6,7	13,3	20,0
10 mg rifampicina	6,7	13,3	20,0
200 mg pentaclornitrobenzene	17,0	3,0	20,0

b. Las soluciones se conservan a -10 hasta -20° C

7.2 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DE LA CÁSCARA SEGÚN LOS PORCENTAJES DE ÁREA CON PUDRICIÓN DE PARÉNQUIMA

7.2.1 Clones de Jamundí, diseño en Parcelas Divididas.

P > F: Probabilidad de encontrar valores mayores que F

Error(b)= (Sitio x Clon) + (Sitio x Época x Clon) = 200

- **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	4572	1143,06		
Época	1	718	717,78	18,92	0,0122
Error Sitio x Época	4	152	37,93	60,77	0,0000
Clon	25	122669	4906,78	1,75	0,0189
Época x Clon	25	3534	141,34		
Error (b)	200	16149	80,75		
Total	259	147794			

Promedio 20,277

CV (Sitio x Época) 30,37

CV (Error (b)) 44,32

- **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	7153	1788,13		
Época	1	2	1,54	0,01	0,9219
Error Sitio x Época	4	565	141,20		
Clon	25	117952	4718,06	30,75	0,0000
Época x Clon	25	4923	196,94	1,28	0,1750
Error (b)	200	30683	153,41		
Total	259	161277			

Promedio 28,115

CV (Sitio x Época) 42,26

CV (Error (b)) 44,05

- **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	8709	2177,16		
Época	1	335	664,71	2,89	0,1642
Error Sitio x Época	4	463	115,72		
Clon	25	151577	6063,10	42,39	0,0000
Época x Clon	25	6473	258,91	1,81	0,0137
Error (b)	200	28608	143,04		
Total	259	196165			

Promedio 37,019

CV (Sitio x Época) 29,06

CV (Error (b)) 32,31

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	6686	1671,44		
Época	1	6	5,85	0,08	0,7948
Error Sitio x Época	4	303	75,67		
Clon	25	92393	3695,71	49,75	0,0000
Época x Clon	25	2521	100,83	1,36	0,1286
Error (b)	200	14858	74,29		
Total	259	116766			

Promedio 28,472

CV (Sitio x Época) 30,55

CV (Error (b)) 30,27

7.2.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar.

- **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	5108,5	567,616		
Clon	33	16748,9	507,543	4,17	0,0000
Error	297	36163,1	121,761		
Total	339	58020,5			

Promedio 3,4221 CV 322,45

- **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	7500,3	833,367		
Clon	33	16961,0	513,969	3,87	0,0000
Error	297	39480,8	132,932		
Total	339	63942,1			

Promedio 3,5682 CV 323,12

- **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	10,393	1,15476		
Clon	33	65,904	1,99710	6,05	0,0000
Error	297	98,075	0,33022		
Total	339	174,372			

Promedio 0,5741 CV 100,09

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	2,352	0,26131		
Clon	33	94,646	2,86805	9,27	0,0000
Error	297	91,844	0,30924		
Total	339	188,842			

Promedio 0,6265 CV 88,77

7.3 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DE LA CÁSCARA SEGÚN LOS PORCENTAJES LESIONES OBSERVADOS EN EL PARÉNQUIMA

7.3.1 Clones de Jamundí, diseño en Parcelas Divididas.

- **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	2923	730,8		
Época	1	38	38,5	1,00	0,3739
Error Sitio x Época	4	154	38,5		
Clon	25	546962	21878,5	63,49	0,0000
Época x Clon	25	2962	118,5	0,34	0,9987
Error (b)	200	68923	344,6		
Total	259	621962			

Promedio 60,385

CV (Sitio x Época) 10,27

CV (Error (b)) 30,74

- **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	2538	634,6		
Época	1	154	153,8	0,62	0,4766
Error Sitio x Época	4	1000	250,0		
Clon	25	380154	15206,2	36,01	0,0000
Época x Clon	25	3846	153,8	0,36	0,9980
Error (b)	200	84462	422,3		
Total	259	472154			

Promedio 76,154

CV (Sitio x Época) 20,76

CV (Error (b)) 26,99

- **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	4769	1192,3		
Época	1	346	346,2	2,25	0,2080
Error Sitio x Época	4	615	153,8		
Clon	25	286654	11466,2	22,35	0,0000
Época x Clon	25	2654	106,2	0,21	1,0000
Error (b)	200	102615	513,1		
Total	259	397654			

Promedio 81,154

CV (Sitio x Época) 15,28

CV (Error (b)) 27,91

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	3051	762,82		
Época	1	154	153,85	2,67	0,1778
Error Sitio x Época	4	231	57,69		
Clon	25	226957	9078,29	32,26	0,0000
Época x Clon	25	2068	82,74	0,29	0,9997
Error (b)	200	56274	281,37		
Total	259	288735			

Promedio 72,564

CV (Sitio x Época) 10,47

CV (Error (b)) 23,12

7.3.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar

- **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	25061	2784,59		
Clon	33	45770	1386,96	3,73	0,0000
Error	297	110571	372,29		
Total	339	181402			

Promedio 6,0786 CV 317,42

- **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	27635	3070,60		
Clon	33	43873	1329,50	3,33	0,0000
Error	297	118743	399,81		
Total	339	190252			

Promedio 6,3991 CV 312,47

- **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	1,1677	0,12975		
Clon	33	48,2911	1,46337	13,55	0,0000
Error	297	3206,43	0,10796		
Total	339	81,5232			

Promedio 0,5778 CV 56,87

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	5,956	0,66181		
Clon	33	72,068	2,18387	10,83	0,0000
Error	297	59,877	0,20161		
Total	339	137,901			

Promedio 0,6138 CV 73,15

7.4 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DEL PARÉNQUIMA SEGÚN LOS PORCENTAJES DE ÁREA CON PUDRICIÓN DE PARÉNQUIMA

7.4.1 Clones de Jamundí, diseño en Parcelas Divididas.

- **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	3390	847,55		
Época	1	1797	1796,82	3,65	0,1288
Error Sitio x Época	4	1971	492,63		
Clon	25	29797	1191,86	5,31	0,0000
Época x Clon	25	22806	912,24	4,07	0,0000
Error (b)	200	44862	224,31		
Total	259	104622			

Promedio 47,494

CV (Sitio x Época) 46,73

CV (Error (b)) 31,53

- **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	2276	569,07		
Época	1	374	374,40	1,15	0,3437
Error Sitio x Época	4	1301	325,27		
Clon	25	29477	1179,09	3,93	0,0000
Época x Clon	25	26739	1069,55	3,57	0,0000
Error (b)	200	59942	299,71		
Total	259	12110			

Promedio 55,085

CV (Sitio x Época) 32,74

CV (Error (b)) 31,43

- **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	2641	660,16		
Época	1	789	789,27	3,56	0,1324
Error Sitio x Época	4	888	221,91		
Clon	25	34790	1391,59	5,20	0,0000
Época x Clon	25	16369	654,75	2,45	0,0003
Error (b)	200	53495	267,47		
Total	259	108971			

Promedio 63,373

CV (Sitio x Época) 23,51

CV (Error (b)) 25,81

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	23,13,8	578,46		
Época	1	896,2	896,15	3,12	0,1522
Error Sitio x Época	4	1150,0	287,50		
Clon	25	27959,8	1118,39	6,58	0,0000
Época x Clon	25	18482,3	739,29	4,35	0,0000
Error (b)	200	33984,3	169,92		
Total	259	84786,4			

Promedio 55,317

CV (Sitio x Época) 30,65

CV (Error (b)) 23,57

7.4.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar.

- **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	6174,1	686,007		
Clon	33	6383,8	193,449	2,31	0,0001
Error	297	24875,5	83,756		
Total	339	37433,4			

Promedio 3,1765 CV 288,11

- **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	5893,2	654,805		
Clon	33	4549,0	137,847	2,07	0,0008
Error	297	19786,8	66,622		
Total	339	30229,0			

Promedio 3,4297 CV 237,99

- **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	5,6441	0,62713		
Clon	33	34,7323	1,05249	10,05	0,0000
Error	297	31,1169	0,10477		
Total	339	71,4933			

Promedio 0,7315 CV 44,25

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	8,5954	0,95505		
Clon	33	30,3942	0,92104	7,78	0,0000
Error	297	35,1646	0,11840		
Total	339	74,1542			

Promedio 0,8959 CV 38,41

7.5 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA AL DETERIORO FISIOLÓGICO DE LA RAÍZ SEGÚN LOS PORCENTAJES DE DETERIORO Y DE ESCOPOLETINA PRESENTES EN LA RAÍZ

7.5.1 Clones de Jamundí, diseño en Parcelas Divididas.

- **Porcentaje de Deterioro fisiológico**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	7235	1808,7		
Época	1	12131	12131,4	16,68	0,0150
Error Sitio x Época	4	2909	727,3		
Clon	25	32856	1314,2	1,68	0,0276
Época x Clon	25	25973	1038,9	1,33	0,1461
Error (b)	200	156552	782,8		
Total	259	237656			

Promedio 26,031

CV (Sitio x Época) 103,60

CV (Error (b)) 107,48

7.5.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar.

- **Porcentaje de Deterioro fisiológico**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	3098,7	344,299		
Clon	33	22705,5	688,046	5,09	0,0000
Error	297	40179,8	135,285		
Total	339	65984,0			

Promedio 3,9030 CV 298,01

7.6 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE DUREZA DE LA RAÍZ SEGÚN LAS EVALUACIONES DE RESISTENCIA DE LA RAÍZ, DETERMINADAS CON UN PENETRO-METRO Y MEDIDAS EN kg/cm²

7.6.1 Clones de Jamundí, diseño en Bloques Completos al Azar.

• **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	552,1	138,026		
Clon	25	10764,2	430,567	3,64	0,0000
Error	100	11823,3	118,233		
Total	129	23139,6			

Promedio 55,860 CV 19,47

• **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	52,9	13,237		
Clon	25	11361,6	454,464	9,30	0,0000
Error	100	4887,7	48,877		
Total	129	16302,3			

Promedio 47,836 CV 14,62

• **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	1813,3	453,33		
Clon	25	39116,7	1564,67	5,68	0,0000
Error	100	27523,8	275,24		
Total	129	68453,8			

Promedio 49,310 CV 33,65

• **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	378,2	94,547		
Clon	25	12009,4	480,374	9,80	0,0000
Error	100	4900,5	49,005		
Total	129	17288,0			

Promedio 51,002 CV 13,73

7.6.2 Clones de Rozo, diseño en Bloques Completos al Azar

- **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	250,7	62,68		
Clon	33	37578,7	1138,75	6,35	0,0000
Error	132	23661,6	179,25		
Total	169	6149,0			

Promedio 60,581 CV 22,10

- **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	797,0	199,256		
Clon	33	26280,4	796,376	7,02	0,0000
Error	132	14977,6	113,467		
Total	169	42055,1			

Promedio 52,390 CV 20,33

- **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	228,9	57,236		
Clon	33	21563,2	653,431	8,99	0,0000
Error	132	9593,8	72,680		
Total	169	31386,0			

Promedio 46,351 CV 18,39

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	121,0	30,262		
Clon	33	21466,1	650,486	15,76	0,0000
Error	132	5447,0	41,265		
Total	169	27034,1			

Promedio 53,106 CV 12,10

7.7 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE GROSOR DE LA CÁSCARA, SEGÚN LAS MEDICIONES EN MILÍMETROS (mm) REALIZADAS CON UN INSTRUMENTO DE PRECISIÓN (CALIBRADOR)

7.7.1 Clones de Jamundí, Diseño en Bloques Completos al Azar

• **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	0,3218	0,08046		
Clon	25	16,2763	0,65105	10,71	0,0000
Error	100	6,0772	0,06077		
Total	129	22,6753			

Promedio 2,5623 CV 9,62

• **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	2,530	0,63238		
Clon	25	40,815	1,63260	2,01	0,0081
Error	100	81,221	0,81221		
Total	129	124,566			

Promedio 2,7162 CV 33,18

• **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	0,2235	0,05587		
Clon	25	7,4178	0,29671	3,45	0,0000
Error	100	8,6074	0,08607		
Total	129	16,2486			

Promedio 1,9847 CV 14,78

• **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	0,3721	0,09302		
Clon	25	13,2624	0,53050	4,25	0,0000
Error	100	12,4739	0,12474		
Total	129	26,1084			

Promedio 2,4211 CV 14,59

7.7.2 Clones de Rozo, Diseño en Bloques Completos al Azar

- **Sección Proximal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	3,409	0,85227		
Clon	33	72,220	2,18849	1,34	0,1267
Error	132	215,750	1,63447		
Total	169	291,379			

Promedio 2,5356 CV 50,42

- **Sección Central**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	4,970	1,24254		
Clon	33	57,959	1,75634	2,29	0,0005
Error	132	101,094	0,76586		
Total	169	164,024			

Promedio 2,8064 CV 31,18

- **Sección Distal**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	1,3905	0,34763		
Clon	33	36,5549	1,10772	9,82	0,0000
Error	132	14,8930	0,11283		
Total	169	52,8384			

Promedio 2,0015 CV 16,78

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	4	1,2261	0,30653		
Clon	33	34,9018	1,05763	3,23	0,0000
Error	132	43,2012	0,32728		
Total	169	79,3291			

Promedio 2,4459 CV 23,39

7.8 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EVALUACIONES DE PORCENTAJES DE ESCOPOLETINA EN EL PARÉNQUIMA, DE RAÍCES EXPUESTAS A DETERIORO FISIOLÓGICO Y RAÍCES INOCULADAS CON EL MÉTODO SIN PERFORACIÓN

7.8.1 Clones de Jamundí, Diseño en Parcelas Divididas

- **Porcentaje de área con escopoletina en raíces expuestas a deterioro fisiológico**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	3470	867,52		
Época	1	3789	3789,44	6,03	0,0700
Error Sitio x Época	4	2514	628,46		
Clon	25	39836	1593,44	2,03	0,0041
Época x Clon	25	29195	1167,80	1,49	0,0721
Error (b)	200	157248	786,24		
Total	259	236052			

Promedio 47,612

CV (Sitio x Época) 52,65

CV (Error (b)) 58,89

- **Sección Proximal, raíces inoculadas**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	4456	1113,99		
Época	1	362	362,50	1,85	0,2450
Error Sitio x Época	4	782	195,53		
Clon	25	188683	7547,31	56,43	0,0000
Época x Clon	25	9047	361,90	2,71	0,0001
Error (b)	200	26751	133,76		
Total	259	230082			

Promedio 47,335

CV (Sitio x Época) 29,54

CV (Error (b)) 24,43

- **Sección Central, raíces inoculadas**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	3269	817,16		
Época	1	51	50,87	0,23	0,6539
Error Sitio x Época	4	870	217,45		
Clon	25	161181	6447,23	44,19	0,0000
Época x Clon	25	10712	428,47	2,94	0,0000
Error (b)	200	29182	145,91		
Total	259	205263			

Promedio 54,212

CV (Sitio x Época) 27,20

CV (Error (b)) 22,28

- **Sección Distal, raíces inoculadas**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	2863	715,63		
Época	1	19	18,85	0,07	0,8113
Error Sitio x Época	4	1159	289,76		
Clon	25	187616	7504,65	47,29	0,0000
Época x Clon	25	9476	379,05	2,39	0,0005
Error (b)	200	31738	158,69		
Total	259	232871			

Promedio 53,269

CV (Sitio x Época) 31,96

CV (Error (b)) 23,65

- **Valor Promedio de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Sitio	4	3373	843,30		
Época	1	43	43,30	0,23	0,6573
Error Sitio x Época	4	756	189,10		
Clon	25	162792	6511,69	67,46	0,0000
Época x Clon	25	6663	266,53	2,76	0,0000
Error (b)	200	19307	96,53		
Total	259	192935			

Promedio 51,650

CV (Sitio x Época) 26,62

CV (Error (b)) 19,02

7.8.2 Clones de Rozo, Diseño en Bloques Completos al Azar

- **Porcentaje de área con escopoletina en raíces expuestas a deterioro fisiológico**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	1930,9	203,434		
Clon	33	3953,5	119,803	1,74	0,0089
Error	297	20411,0	68,724		
Total	339	26195,4			

Promedio 2,2061 CV 375,77

- **Sección Proximal, raíces inoculadas**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	0,7085	0,07872		
Clon	33	36,2196	1,09756	9,74	0,9179
Error	297	33,4725	0,11270		
Total	339	70,4006			

Promedio 0,4879 CV 68,80

- **Sección Central, raíces inoculadas**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	0,6424	0,07138		
Clon	33	31,6810	0,96003	9,40	0,0000
Error	297	30,3346	0,10214		
Total	339	62,6580			

Promedio 0,5197 CV 61,49

- **Sección Distal, raíces inoculadas**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	0,5842	0,06492		
Clon	33	34,3341	1,04043	9,88	0,0000
Error	297	31,2618	0,10526		
Total	339	66,1801			

Promedio 0,5924 CV 54,77

- **Valor Promedio o de la Raíz**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P > F
Bloques	9	0,2903	0,03225		
Clon	33	31,5236	0,95526	10,06	0,0000
Error	297	28,2067	0,09497		
Total	339	60,0206			