

MANEJO INTEGRADO DEL AÑUBLO BACTERIAL DE LA PANÍCULA DEL ARROZ (*Oryza sativa* L.) CAUSADO POR *Burkholderia glumae* KURITA & Tabei: UNA REVISIÓN.

*Lederson Gañán Betancur**

* I.A. Candidato a Magister en Fitopatología. Programa de Maestría en Fitopatología, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. Correo electrónico: legabet@gmail.com

Recibido: 10 de octubre; aprobado: 20 de noviembre de 2011

RESUMEN

Se hizo una revisión bibliográfica sobre el Añublo bacteriano de la panícula del arroz causado por la bacteria *Burkholderia glumae*, las prácticas de manejo y el efecto epidemiológico del manejo integrado de la enfermedad. *B. glumae* causa pudrición de granos y plántulas de arroz; en campos severamente afectados ocasiona pérdidas mayores al 75% de la producción. Se han reportado diferentes factores de virulencia del patógeno, como la fitotoxina toxo flavina, la biogénesis flagelar, un sistema de secreción tipo III y la catalasa. Períodos prolongados de condiciones cálidas y húmedas, además de altas dosis en la fertilización nitrogenada del cultivo favorecen el desarrollo de epidemias del añublo bacteriano de la panícula. Tomate, ají, berenjena, perilla y ajonjolí son otros hospedantes de importancia agrícola. Desde el punto de vista epidemiológico, prácticas como: uso de semilla libre del patógeno, tratamiento de semilla o del suelo, eliminación de residuos de cosecha, rotación de cultivos y la siembra de plantas transgénicas con resistencia vertical, pueden reducir o eliminar el inóculo inicial del patógeno; la selección de la fecha de siembra, la protección de las plantas en la etapa crítica de la enfermedad, el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada y el uso de cultivares con resistencia parcial, reducen la tasa de desarrollo de la enfermedad.

Palabras clave: pudrición del grano, prácticas de manejo, efecto epidemiológico.

ABSTRACT

INTEGRATED MANAGEMENT OF RICE BACTERIAL PANICLE BLIGHT (*Oryza sativa* L.) CAUSED BY *Burkholderia glumae* KURITA & Tabei: A REVIEW.

This paper presents a literature review on the rice bacterial panicle blight caused by *Burkholderia glumae*, the management practices and the epidemiological effect of the disease integrated management. *B. glumae* causes rice grain and seedlings rot; it causes losses exceeding 75% of production in severely affected crops. Different pathogen virulence factors, such as the phytotoxin toxo flavin, flagellar biogenesis, a type III secretion system and catalase have been reported. Bacterial panicle blight epidemics are favored by prolonged weather with hot and humid conditions, in addition to high rates of nitrogen fertilization. Tomato, pepper, eggplant, perilla and sesame are alternate hosts of agricultural importance. From the epidemiology viewpoint, practices such as: use of disease-free seed, seed or soil treatment, removal of crop residues, crop rotation and use of transgenic plants with vertical resistance, can reduce or eliminate the pathogen initial inoculum. Selection of planting date, plant protection at the critical stage of the disease, avoid excessive nitrogen rates and use of cultivars with partial resistance, can reduce the rate of disease development.

Key words: grain rot, management practices, epidemiological effect.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* Linneo.), es el principal cultivo alimenticio producido para la mitad de la población mundial (Cottyn *et al.*, 2009). Esta especie es afectada por problemas fitopatológicos que a menudo limitan su producción. Se ha considerado que el Añublo bacteriano de la panícula es la próxima enfermedad con mayor importancia en este cultivo (Ham *et al.*, 2011). Tal enfermedad fue reportada por primera vez en el distrito de Kyushu en Japón (Goto & Ohata, 1956) y desde entonces, se ha reportado en importantes áreas productoras de arroz en Korea (Jeong *et al.*, 2003), China (Zhu *et al.*, 2008), Taiwán (Chien *et al.*, 1984), Sri Lanka, Malasia, Las Filipinas (Cottyn *et al.*, 1996), Vietnam (Trung *et al.*, 1993), Indonesia, Tailandia, Tanzania (Zhu *et al.*, 2008), Cambodia (Cother *et al.*, 2010), Nepal (Nieves, 1999), Panamá (Nandakumar *et al.*, 2007), Venezuela (González *et al.*, 2011), Colombia (Zeigler & Álvarez, 1989) y Estados Unidos en los estados de Louisiana, Arkansas y Texas, (Nandakumar *et al.*, 2005).

En campos de arroz severamente afectados por *B. glumae*, se han reportado pérdidas del 75% de la producción, debido a que la bacteria causa varios tipos de daño como: inhibición de la germinación de la semilla, añublo de la panícula, pudrición de vainas, esterilidad de flores y aborto del grano (Nandakumar *et al.*, 2009; Jeong, *et al.* 2003; Shanjahan *et al.*, 2000). El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión bibliográfica sobre el agente causante del Añublo bacteriano de la panícula del arroz y las estrategias de manejo que han sido reportadas desde el punto de vista epidemiológico.

El Patógeno. En la literatura se reporta la bacteria fitopatógena *Burkholderia glumae* (Kurita & Tabei) (Syn. *Pseudomonas glumae* Kurita & Tabei) como agente causante del Añublo de la panícula de arroz (Urakami *et al.*, 1994). Dicha bacteria se caracteriza

por presentar bacilos Gram negativos (-) con 1 a 7 flagelos polares, sin esporas, mide 1,5-2,5 μm de largo X 0,5-0,7 μm de diámetro, y no produce pigmento fluorescente sobre medio King'B. Las colonias son de crecimiento lento, circulares, elevadas y con márgenes lisos (Ou, 1985; Saddler, 1994).

Otras investigaciones han demostrado que la bacteria fitopatógena *Burkholderia gladioli* (Severini, 1913) Yabuuchi *et al.*, 1993, también puede causar el Añublo bacteriano de la panícula del arroz (Ura *et al.*, 2006; Nandakumar *et al.*, 2007). Propiedades bioquímicas para distinguir las especies *B. glumae* y *B. gladioli*, pueden ser consultadas en la publicación de Ura *et al.* (2006).

Síntomas. *B. glumae* puede causar pudrición de plántulas en almácigo (Uetmasu, *et al.* 1976), así como pudrición del grano (Goto, *et al.* 1987; Waikamoto, *et al.* 1987) o añublo de la panícula (Chien *et al.*, 1987; Sayler *et al.*, 2006; Ura *et al.*, 2006).

En el añublo de panícula, los síntomas iniciales incluyen una decoloración en la parte basal de la vaina, la cual rápidamente avanza, hasta afectar la totalidad de la misma (Nieves, 1999), presentando lesiones largas y verticales color grisáceo, rodeadas por un margen de color marrón rojizo oscuro (Nandakumar *et al.*, 2009). Normalmente, los granos infectados se pueden observar de manera dispersa en la panícula, pero en casos severos, todos los granos pueden ser afectados (Ou, 1985). Los granos infectados muestran una banda café que atraviesa sobre el endospermo (Mogi, 1988). Sin embargo, pese a que las panículas son severamente afectadas, el tallo permanece verde y éstas erectas, en lugar de inclinarse, debido a la pérdida de peso del grano (Sayler *et al.*, 2006) (Figura 1A). Los síntomas del añublo de panícula y pudrición de grano del arroz ocasionados por *B. gladioli* son similares a los de *B. glumae* (Nandakumar *et al.*, 2009).

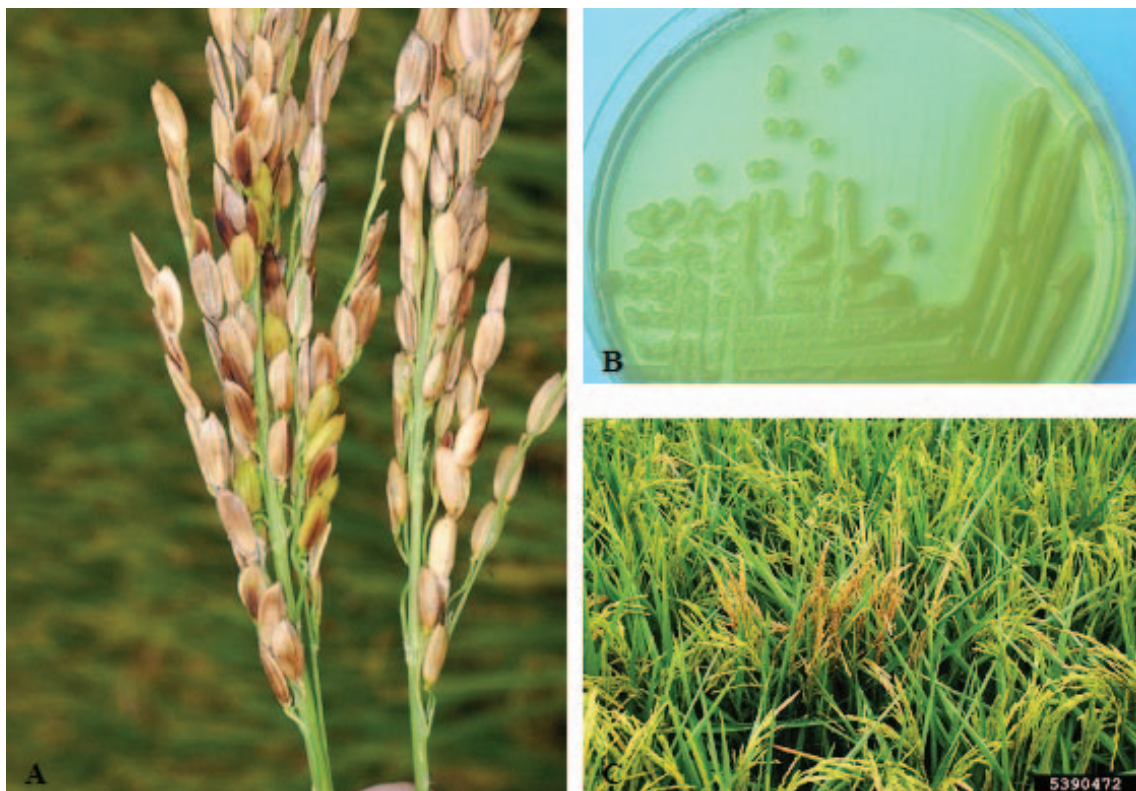


Figura 1. **A.** Síntomas de añublo bacterial de la panícula, mostrando las panículas erguidas, descoloridas, decoloración de granos y los tallos verdes; **B.** Colonias de *Burkholderia glumae* mostrando la pigmentación amarilla de la toxoflavina sobre medio de cultivo King B; **C.** Grupos de panículas de arroz en campo afectadas con añublo bacterial, las cuales son fuente de infecciones secundarias (Fotos cortesía de Dr. Donald Groth, LSU Ag Center)

Factores de virulencia. Se ha reportado que la fitotoxina toxoflavina, la biogénesis flagelar, un sistema de secreción tipo III y la catalasa, son factores implicados en la virulencia de *B. glumae* en la pudrición de granos y plántulas de arroz (Sato *et al.*, 1989; Ham *et al.*, 2011; Jeong *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2007; Chun *et al.*, 2009; Chen, 2011).

Cepas de *B. glumae* que carecen de la producción de toxoflavina son avirulentas y pueden ser identificadas en laboratorio, porque no producen el pigmento amarillo de la toxoflavina sobre medio agar King B (Figura 1B) (Nandakumar *et al.*, 2009). Sin embargo, resultados encontrados por Suzuki *et al.* (2004), sugieren que la producción de toxoflavina, aunque es un requerimiento para causar clorosis en panículas

jóvenes, no parece desempeñar un papel importante en los síntomas de pudrición causados por *B. glumae*. Aunque, la toxoflavina también es responsable en la inducción de síntomas de marchitamiento en otros hospedantes (Jeong *et al.*, 2003). Nagamatsu (2001) reportó que la toxoflavina posee actividad bactericida, fungicida y herbicida. El mecanismo de la actividad herbicida aún no es claro; sin embargo, éste podría causar los síntomas de marchitez vascular a través de algún modo de acción (Jeong *et al.*, 2003).

Ciclo patológico y epidemiología. El ciclo de la enfermedad no ha sido completamente entendido aún (Ham *et al.*, 2011). El patógeno es transmitido por semilla (Sayler *et al.*, 2006; Zhu *et al.*, 2008), donde, las células bacterianas se localizan en la parte basal

del lodículo y al interior de la lema del grano de arroz (Tsushima, 2011). Se ha reportado que *B. glumae* puede sobrevivir en semillas almacenadas a temperatura ambiente por 3 años, pero no en semillas mantenidas a campo abierto durante 5 meses (Tsushima *et al.*, 1989). Varias cepas de *B. gladioli* que fueron aisladas del suelo de campos de arroz, e inoculadas sobre panículas de arroz bajo condiciones de invernadero, fueron infectivas y causaron síntomas típicos de añublo de la panícula (Nandakumar *et al.*, 2008), demostrando que la bacteria puede sobrevivir en el suelo y sus células pueden ser fuente de inóculo primario.

Desde la germinación de la semilla hasta el estado de plántula, la pudrición es causada por un incremento rápido de las poblaciones de *B. glumae* en las plúmulas (Hikichi *et al.*, 2001). Luego de que las plántulas son cultivadas en el campo, el patógeno puede ser aislado usualmente de las vainas foliares inferiores, donde crece epifíticamente durante la etapa de macollamiento (Sayler *et al.*, 2006). Aunque los síntomas no aparecen sobre las láminas o las vainas foliares antes de la emergencia de la panícula, el patógeno puede ser encontrado en las vainas foliares superiores, incluyendo las vainas de la hoja bandera (Wakimoto *et al.*, 1987; Hikichi *et al.*, 2001). El patógeno presente en las vainas foliares desempeña un papel importante como fuente de inóculo primario de la pudrición del grano, puesto que el período crítico de infección se manifiesta en la emergencia de panícula y en floración (Zhang, 2004). Tsushima *et al.* (1995a) indican que el período de mayor susceptibilidad de las espiguillas es de aproximadamente 3 a 4 días después de la emergencia de panícula, disminuyendo después de este período.

Luego de que el patógeno invade las espiguillas, se multiplica rápidamente y finalmente causa la pudrición bacteriana del grano o añublo de la panícula (Sayler *et al.*, 2006; Hikichi, 1993a; Tsushima *et al.*, 1986), estableciendo focos de infección en el campo que van a ser fuente de infecciones secundarias (Figura 1C) (Tsushima *et al.*, 1995a; Tsushima & Naito, 1991).

La diseminación de la enfermedad en campo es muy corta (menos de un metro desde el foco) y disminuye a medida que se incrementa la distancia de la fuente de inóculo (Tsushima & Naito, 1991).

El óptimo de temperatura de crecimiento de *B. glumae* es relativamente alto (30–35 °C) (Kurita *et al.*, 1964), lo cual explica los reportes que indican que la temperatura alta, especialmente la temperatura nocturna, durante el estado crítico, favorece el desarrollo de epidemias de Añublo bacteriano de la panícula (Tsushima *et al.*, 1985; Tsushima *et al.*, 1996; Shahjahan *et al.*, 2000; Nandakumar *et al.*, 2009). No obstante, Tsushima, *et al.* (1996) obtuvieron alto porcentaje de espiguillas enfermas (>50%), en inoculaciones realizadas bajo condiciones de invernadero a 28°C. La temperatura también puede actuar de manera indirecta, puesto que un aumento de la temperatura nocturna genera mayor respiración en las plantas, lo que causa un incremento en la utilización de productos fotosintéticos además de un decline exponencial en la actividad, lo cual posiblemente predisponga a la planta al ataque de *B. glumae* (Nandakumar *et al.*, 2009).

La humedad relativa también favorece el desarrollo de la enfermedad, Tsushima *et al.* (1995a) determinaron que la incidencia de la enfermedad fue mayor bajo condiciones de humedad relativa alta (HR>95%) y es menor cuando las plantas no son incubadas en cámara húmeda).

Otro factor que favorece el desarrollo de la enfermedad es la fertilización con nitrógeno en niveles superiores a los recomendados para el cultivo (Tsushima, 2011; Groth & Hollier, 2011).

Hospedantes. El arroz (*Oryza sativa* L.), es considerado el principal hospedante del patógeno, el cual ha sido también reportado en muchos hospedantes de la familia gramínea (Nieves, 1999). Sin embargo, se han reportado otros hospedantes, no gramíneas, como tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), ají (*Capsicum annuum* L.), berenjena (*Solanum melongena* L.), perilla (*Perilla frutescens* var. japonica Hara) y

ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), en los cuales puede causar síntomas de marchitamiento vascular, similar al ocasionado por la bacteria *Ralstonia solanacearum* (Jeong *et al.*, 2003).

ESTRATEGIAS DE MANEJO

1. Realizar diagnóstico de semilla. Debido a que las semillas de arroz infectadas con *B. glumae* son consideradas como la principal fuente de inóculo inicial para el Añublo bacteriano de la panícula, se debe prevenir la entrada del patógeno al campo y evitar su dispersión, mediante la siembra de semilla limpia (libre del patógeno); en adición, se debe evitar la probable presencia de la enfermedad dentro de parcelas de mejoramiento, lo cual podría resultar en una diseminación rápida del patógeno (Cothier *et al.*, 2010). Para cumplir con ese objetivo, se debe evaluar la presencia o ausencia de *B. glumae* en los lotes de semilla comercial, evitando que los productores siembren semillas infectadas o tengan que realizar algún tratamiento adicional a las mismas para reducir la población del patógeno, con lo cual se podrían disminuir en gran medida las pérdidas en campo (Nandakumar *et al.*, 2009). Reportes recientes, indican que *B. glumae* fue aislada de semillas de arroz asintomáticas (Zhu *et al.*, 2008; Nandakumar *et al.*, 2009), demostrando que la semilla aparentemente sana puede llevar la bacteria sin mostrar síntomas de pudrición del grano. La razón por la cual *B. glumae* podría existir en semillas aparentemente sanas, es atribuido al número insuficiente de células bacterianas para causar los síntomas, o a condiciones ambientales desfavorables para que se desarrolle la enfermedad (Kurita & Tabei, 1967).

La identificación de *B. glumae* y *B. gladioli* puede ser realizada con base en las propiedades bacteriológicas de tipo morfológico y bioquímico, y por pruebas de patogenicidad, no obstante, tal tipo de diagnóstico requiere de experiencia y demanda tiempo. Kawaradani *et al.* (2000) desarrollaron un medio de cultivo con selectividad a *B. glumae*, al cual denominaron CCNT. El patógeno también ha sido detectado mediante pruebas serológicas (Wakimoto *et al.*, 1987).

Sayler *et al.* (2006), desarrollaron un método basado en PCR en tiempo real específico para la detección de *B. glumae* en planta y semillas de arroz, muy sensible, permitiendo la detección hasta de 1 UFC. mL⁻¹. Nandakumar *et al.* (2009), también reportan el uso de la técnica de PCR en tiempo real para la cuantificación de *B. glumae* en semillas sintomáticas e incluso en semillas asintomáticas (aparentemente sanas), por lo cual, el diagnóstico utilizando esta técnica molecular, es una herramienta que puede ser fácilmente implementada en un programa de limpieza de semilla permitiendo la prevención de pérdidas en el cultivo, a través de una sanidad mejorada.

2. Resistencia genética. En adición a la siembra de semilla limpia, el uso de variedades resistentes es un enfoque para la reducción de pérdidas en varias regiones productoras de arroz del mundo. La resistencia genética es la medida más deseable de control, infortunadamente, todos los cultivares comerciales del grano son susceptibles en diferentes grados a *B. glumae* (Shahjahan *et al.*, 2000; Shanon *et al.*, 2010; Saichuck *et al.*, 2011).

Sayler *et al.* (2006), reportaron una resistencia moderada a *B. glumae*, presentada por el cultivar Drew y la línea mutante LM-1 (generada por radiación gamma del cultivar susceptible Lemont) al ser comparados con el cultivar altamente susceptible Bengal. Los mismos autores encontraron que la resistencia a *B. glumae* parece manifestarse por una reducción en la multiplicación bacteriana y que las líneas de arroz que suprimen el crecimiento bacteriano mostraron lesiones de tamaño más pequeño en plántulas inoculadas, cultivadas en invernadero.

La variedad de arroz “Jupiter”, también ha mostrado resistencia moderada al Añublo bacteriano de la panícula causado por *B. glumae* comparado con la variedad Bengal. “Jupiter” (Reg. No. CV-119, PI 639742) es un cultivar de alto rendimiento, madurez temprana y un grano medio de altura corta, que fue oficialmente liberado en Estados Unidos por el Centro Agrícola de la Universidad del Estado

de Louisiana (LSU AgCenter) en el 2004 y que fue desarrollado mediante el cruce de 'Bengal'/'Rico 1'/'3/'Bengal'/'Mercury'/'Rico 1' (96CR025), realizado en 1996 (Sha *et al.*, 2006). En la actualidad, el LSU AgCenter a través de su publicación anual "Rice Varieties and Management Tips 2012" recomienda la utilización de la cultivariedad Jupiter, señalándola como resistente al Añublo bacteriano, comparada con otras 22 variedades cultivadas localmente en Estados Unidos (Saichuk *et al.*, 2011).

Similarmente, la cultivariedad "Neptune", derivada del cruce de 'Bengal'/'Mercury'/'Rico 1', demostró ser moderadamente resistente al Añublo bacteriano de la panícula, al ser comparado con la variedad Bengal, pero menos resistente que la variedad Jupiter (Sha *et al.*, 2010). Sin embargo, el LSU AgCenter no recomienda la siembra de Neptune, quien la considera como una variedad susceptible (Saichuk *et al.*, 2011).

En Colombia, Fory *et al.* (2011), al evaluar el comportamiento en invernadero de los cultivares Oryzica 1, Col XXI, Fedearroz 2000, Fedearroz 733, FLO2768-2P-6, SC112, LV1063 (Mocari), LM-1 y, encontraron que los genotipos seleccionados fueron susceptibles en diferentes grados a *B. glumae*, a excepción de LM-1 y Nipponbare, que mostraron un nivel significativo de tolerancia a la enfermedad. No obstante, Saylor *et al.* (2006), encontraron que Nipponbare se comportó como un cultivar altamente susceptible. De igual forma, Velez-Uribe & Flórez-Zapata (2011), demostraron la susceptibilidad a *B. glumae*, de semillas de las variedades Panorama, Fedearroz 174, Fedearroz 733, Fedearroz 60, Fedearroz 369, Fedearroz 50 y Fedearroz 473. Lo anterior demuestra la susceptibilidad de las variedades Fedearroz 733 y Fedearroz Mocari, las cuales habían sido indicadas como tolerantes en reportes anteriores (Pérez & Saavedra, 2011; Gómez *et al.*, 2010).

La información relacionada con la relativa resistencia de varios cultivares comerciales y líneas de mejoramiento de arroz a *B. glumae*, es esencial para que los fitomejoradores desarrollen cultivares de

arroz con mayor resistencia a este patógeno. Como se observa, materiales de arroz como Jupiter y LM-1, presentan resistencia parcial u horizontal a *B. glumae*, lo cual indica que, en términos epidemiológicos, con la utilización de dichos materiales, se afecta la tasa de desarrollo de la enfermedad en campo.

Iwai *et al.* (2002), desarrollaron plantas transgénicas de arroz (cv Chiyohonami), transformadas con el gen *Asbthi 1* (de tionina en avena), las cuales resultaron altamente resistentes a *B. glumae* en estado de plántula. Las tioninas, son proteínas antimicrobiales, ricas en cisteína, las cuales desempeñan un papel importante en los mecanismos de defensa de la planta (Zhang, 2004). Tal tipo de mejoramiento, afecta el proceso infectivo del patógeno, por lo tanto su efecto es directo sobre el inóculo inicial.

4. Manejo Químico. Gómez-Caicedo *et al.* (2010) al evaluar en laboratorio el efecto de diferentes ingredientes activos, como kasugamicina, oxitetraciclina, óxido cúprico, ácido oxolínico, validacin A, entre otros, sobre el crecimiento de *B. glumae*, concluyen que el control químico contra la bacteria es poco efectivo. No obstante, se ha demostrado en diversas investigaciones la efectividad del tratamiento químico con el uso de ácido oxolínico (AO), el cual inhibe el crecimiento bacteriano en las plúmulas y las espiguillas, controla la pudrición bacteriana en plántulas y la del grano de arroz con alta eficacia (Hikichi, 1993a; Hikichi, 1993b; Hikichi *et al.*, 1994). Su uso puede ser mediante aspersión o inmersión de semilla (Hikichi & Egami, 1995) o para el tratamiento de plantas en el estado de emergencia de la panícula (Hikichi, *et al.* 2001). Sin embargo, se ha reportado la resistencia de cepas de *B. glumae* al AO, aisladas de plántulas procedentes de semillas tratadas con AO (Hikichi *et al.*, 1998; Maeda *et al.*, 2004). Hikichi *et al.* (2001), indicaron que estas cepas resistentes pueden causar pudrición de las plántulas, sólo cuando las semillas son infestadas con una alta cantidad de células bacterianas resistentes. Los mismos autores reportan que dichas células bacterianas resistentes al AO no tienen la habilidad de

sobrevivir en el campo. No obstante, el tratamiento químico con tal producto debe ser utilizado con prudencia y responsabilidad.

Con relación al tratamiento del suelo, se ha reportado el uso del producto químico methasulfocarb [S-(4-methylsulfonyloxyphenyl) N-methyl]thiocarbamato, mediante espolvoreo al 10%, es efectivo para el manejo de concentraciones bajas de inóculo de *B. glumae* (Ohmori & Watanabe, 1986). Debido a que la aplicación de un producto al suelo en campo es laboriosa y costosa, dicha práctica se limita al uso en almácigo, donde se puede reducir población inicial del patógeno presente en el sustrato de siembra.

5. Manejo Biológico. La presencia de *B. glumae* en semilla fue suprimida con el tratamiento de semillas con benomil en una concentración de 0,1% (v/v), aunque, el efecto no fue directo, al parecer, se debió al efecto antagónico de *Pseudomonas fluorescens* que proliferó en las semillas tratadas con este fungicida (Goto *et al.*, 1994). El tratamiento de semilla con la cepa avirulenta de *B. glumae* N7503, demostró un alto efecto supresivo contra las cepas virulentas, evitando la pudrición de las plántulas de arroz (Furuya *et al.*, 1991), similarmente, una cepa avirulenta de *B. gladioli* evitó la ocurrencia de la enfermedad, al ser coinoculada con cepas virulentas de *B. glumae* en panículas de arroz (Miyagawa & Takaya, 2000). Sin embargo, la eficacia de estos potenciales agentes de control en el campo aun no han sido evaluados (Ham *et al.*, 2011).

6. Manejo cultural. Aunque se ha centrado en la reducción de la fertilización nitrogenada para minimizar la severidad, esta actividad no ha sido muy exitosa en el manejo de la enfermedad (Groth, 2010).

En Estados Unidos, debido a que las condiciones de clima templado lo permiten, se recomienda la siembra de las plantaciones de arroz en épocas tempranas de la estación de primavera, evitando temperaturas altas al momento de la emergencia de la panícula, impidiendo mayores pérdidas por la enfermedad (Groth & Hollier, 2011).

Si la enfermedad se ha presentado en campo con alta severidad y pérdidas en producción, una medida alternativa, es el tratamiento o eliminación de los residuos de cosecha, que son fuente de inóculo primario para el nuevo cultivo, puesto que se ha reportado que la bacteria no puede sobrevivir más de 5 meses en campo abierto (Tshushima *et al.*, 1989).

7. Otros tipos de manejo. *B. glumae* puede ser erradicado de la semilla, mediante tratamiento térmico a 65°C durante 6 días, sin efectos considerables en la germinación (Zeigler & Alvarez, 1989; Agbagala, 1997).

6. Modelos predictivos. Un modelo de pronóstico podría ser una herramienta importante para el manejo del Añublo bacteriano de la panícula del arroz, debido a la disponibilidad de prácticas de manejo. Tsushima *et al.* (1996) consideran la frecuencia de vainas de la hoja bandera con presencia de *B. glumae*, como un factor útil para el pronóstico de la posterior incidencia de la enfermedad. Tsushima *et al.* (1995b), encontraron una relación directa entre el índice de severidad en las panículas y la disminución del rendimiento del cultivo, sugiriendo que la aparición de panículas severamente afectadas una semana después del tiempo de espigamiento es un factor importante en el desarrollo de la enfermedad; su frecuencia también puede ser utilizada como un criterio para pronosticar la severidad de la enfermedad. Al combinar pronóstico de la enfermedad con datos económicos, se pueden estimar pérdidas en producción y beneficios esperados.

INTEGRACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANEJO DESDE EL PUNTO DE VISTA EPIDEMIOLÓGICO

Una epidemia de Añublo bacteriano en el cultivo de arroz es policíclica, esto quiere decir, que se repiten ciclos infectivos, donde la infección es seguida por el desarrollo del patógeno, la producción de nuevo

inóculo y la dispersión a nuevos tejidos susceptibles (en la misma planta o en otras plantas) y nuevas infecciones, todo ello en un mismo ciclo del cultivo (Arneson, 2001). Como tal, dicha epidemia es expresada en términos matemáticos mediante el siguiente modelo exponencial de progreso de la enfermedad (Van der Plank, 1963):

$$X = X_0 e^{rt}$$

Donde:

X: Severidad final de la enfermedad

X_0 : Severidad de la enfermedad al inicio de la epidemia

e: base del logaritmo natural

r: tasa de desarrollo de la enfermedad

t: tiempo

El principal objetivo del manejo integrado de enfermedades es mantener la intensidad de la enfermedad por debajo de niveles de daño económico (Zadocks, 1985) y por lo tanto prevenir las reducciones en producción y calidad que impactan de manera negativa al agricultor. Desde el punto de vista epidemiológico, de acuerdo con el modelo del progreso de la enfermedad, se observa que hay tres formas de reducir X en cualquier momento de la epidemia (Arneson, 2001) y son como tal, los objetivos que se buscan con el manejo integrado de enfermedades: 1. Eliminar o reducir el inóculo inicial (X_0) a partir del cual se va a producir la enfermedad (Sanidad), 2. Reducir la tasa de desarrollo de la enfermedad (r) y, 3. Reducir el tiempo (t) en que interactúan las poblaciones del patógeno y del hospedante. En la Tabla 1, se resumen las prácticas de manejo del Añublo bacteriano de la panícula del arroz y su efecto epidemiológico dentro del manejo integrado de la enfermedad.

Tabla 1. Prácticas recomendadas para el manejo del Añublo bacteriano de la panícula del arroz causado por *B. glumae* y su efecto epidemiológico, de acuerdo con los principios del manejo de enfermedades (Arneson, 2001)

Principios y Prácticas de Manejo	Epidemiológicamente afecta	
	X_0	r
EXCLUSIÓN		
Diagnóstico de semilla libre del patógeno	X	
EVASIÓN		
Selección de fecha de siembra		X
ERRADICACIÓN		
Tratamiento de semilla (termoterapia, manejo químico, manejo biológico)	X	
Tratamiento del suelo	X	
Eliminación de residuos de cosecha	X	
Rotación de cultivos	X	
PROTECCIÓN		
Protección de la planta en etapa crítica		X
Manejo adecuado de fertilización nitrogenada		X
RESISTENCIA		
Cultivares con resistencia parcial		X
Plantas transgénicas con resistencia vertical	X	

CONCLUSIÓN

El Añublo bacteriano de la panícula del arroz, es una enfermedad que ha adquirido gran importancia en las últimas décadas, la cual amenaza la producción del grano, producto básico para casi la mitad de la población mundial, hecho que ha motivado a investigadores para determinar la etiología, epidemiología y estrategias de manejo de la enfermedad. El presente trabajo demuestra que en la actualidad son pocas las medidas de control disponibles para el tratamiento del Añublo bacteriano de la panícula del arroz y como tal, el uso de semilla libre del patógeno y el uso de materiales

tolerantes son las dos principales estrategias para reducir la incidencia de la enfermedad en campo, con lo cual se disminuiría la utilización de cualquier otra práctica, dentro del manejo integrado, en almacigo o en plantaciones establecidas en campo.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Jairo Castaño Zapata por sus valiosas contribuciones al presente trabajo, al Doctor Donald Groth por permitir la publicación de las imágenes, y a los evaluadores del artículo por sus valiosos aportes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agbagala, M. 1997. Occurrence and survival of *Burkholderia glumae* (Kurita & Tabei, Comb. Nov.-) Yabuuchi *et al.* in rice (*Oryza sativa* L.) seeds. Thesis (M.Sc.) University of The Philippines at Los Baños. p. 67
- Arneson, P.A. 2001. Epidemiología de las enfermedades de las plantas. Los Aspectos Temporales. *The Plant Health Instructor*. DOI: 10.1094/PHI-A-2001-0524-01. Consulta: mayo de 2012. <http://www.apsnet.org/edcenter/advanced/topics/Epidemiologia/Pages/Estrategias.aspx>
- Chen, R. 2011. A molecular study on the *tofI/tofR* quorum-sensing system of *Burkholderia glumae*: the major pathogen that causes bacterial panicle blight of rice. Thesis (M.Sc.) Louisiana State University. p. 57
- Chien, C. C., Chang, Y. C., Liao, Y. M. & Ou, S. H. 1984. Bacterial grain rot of rice—a new disease in Taiwan. *Review of Plant Pathology* 63(8): 317.
- Chien, C. C. & Chang, Y. C. 1987. The susceptibility of rice plants at different growth stages and of 21 commercial rice varieties to *Pseudomonas glumae*. *J. Agric. Res. China* 36:302-310.
- Chun, H., Choi, O.; Goo, E., Kim, N., Kim, H., Kang, Y., Kim, J., Moon, J.S. & Hwang, I. 2009. The quorum sensing-dependent gene *katG* of *Burkholderia glumae* is important for protection from visible light. *J. Bacteriol.* 191:4152-4157.
- Cother, E. J., Noble D. H., van de Ven R. J., Lanoiselet V., Ash G., Vuthy N., Visarto P. & Stodart B. 2010. Bacterial pathogens of rice in the Kingdom of Cambodia and description of a new pathogen causing a serious sheath rot disease. *Plant Pathology* 59: 944–953.
- Cottyn, B., Debode, J., Regalado, E., Mew, T. W. & Swings, J. 2009. Phenotypic and genetic diversity of rice seed-associated bacteria and their role in pathogenicity and biological control. *J. Appl. Microbiol.* 107:885–897
- Cottyn, B., Cerez, M. T., Van Outryve, M. F., Barroga, J., Swings, J., Mew, T. W. 1996. Bacterial diseases of rice. I. Pathogenic bacteria associated with sheath rot complex and grain discoloration of rice in The Philippines. *Plant Dis.* 80:429-437.
- Fory, P., Perez, C., Saavedra, E., Prado, G. & Mosquera, G. 2011. Evaluación del comportamiento de cultivares de arroz ante el Añublo bacteriano de la panícula causada por *Burkholderia glumae* en Colombia. *Fitopatología Colombiana* 35(1): 109.
- Furuya, N., Okamoto, T., Kori, Y., Matsuyama, N. & Wakimoto S. 1991. Control of bacterial seedling rot of rice by avirulent strains of *Pseudomonas glumae*. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 57: 371-376.

- Gómez, L. F.; Cardozo, O. & Echeverri, J. 2010. Nuevos análisis lo confirman: Control químico poco efectivo contra la bacteria. Noticias Fedearroz. Diciembre de 2011. http://www.fedearroz.com.co/noticias-docs/control_quimico.pdf.
- González, A., Graterol, E., Arnao, E., Torres, E., Acevedo, M. & Mosquera, G. 2011. Primer reporte de *Burkholderia glumae* causante de la pudrición bacteriana de la panícula del arroz en Venezuela. Fitopatología Colombiana 35(1): 81.
- Goto, K. & Ohata, K. 1956. New bacterial diseases of rice (brown stripe and grain rot). Ann. Phytopath. Soc. Japan 21:46-47.
- Goto, T., Nishiyama, K. & Ohata, K. 1987. Bacteria causing grain rot of rice. Ann. Phytopath. Soc. Japan 53: 141-149.
- Goto, M., Takagali, M., Koderá, A., Takikawa, Y. & Tsurumu, S. (1994). Effect of benomyl on seedling rot of rice (*Pseudomonas glumae*) and microbial interactions on germinating rice seeds. Ann. Phytopath. Soc. Japan 60: 74-81.
- Groth, D. 2010. Rice panicle bacterial blight update. Rice Research Station News Vol 7 (4): p.2.
- Groth, D. & Hollier, C. 2011. Bacterial panicle blight of rice. Louisiana Plant Pathology. Pub. 3106. Noviembre de 2011. www.lsuagcenter.com
- Ham, J.H., Melanson, R.A. & Rush, M.C. 2011. *Burkholderia glumae*: next major pathogen of rice? Mol. Plant Pathol. 12:329–339.
- Hikichi, Y. 1993a. Mode of action of oxolinic acid against bacterial seedling rot of rice caused by *Pseudomonas glumae* 1. Relationship between population dynamics of *P. glumae* on seedling rice and disease severity of bacterial seedling rot of rice. Ann. Phytopathol. Soc. Japan 59: 441-446.
- Hikichi, Y. 1993b. Mode of action of oxolinic acid against bacterial seedling rot of rice caused by *Pseudomonas glumae* 2. Efficacy of oxolinic acid against secondary infection. Ann. Phytopathol. Soc. Japan 59: 446-450.
- Hikichi, Y., Okuno, T. & Furusawa, I. 1994. Susceptibility of rice spikelets to infection with *Pseudomonas glumae* and its population dynamics. J. Pesticide Sci. 19:11-17
- Hikichi, Y. & Egami, H. 1995. Control system for bacterial grain rot of rice with oxolinic acid and seed selection with salt solution. Ann. Phytopathol. Soc. Japan 61:405-409.
- Hikichi, Y., Egami, H., Oguri, Y. & Okuno, T. 1998. Fitness for survival of *Burkholderia glumae* resistant to oxolinic acid in rice plants. Ann. Phytopath. Soc. Jpn. 64:147-152.
- Hikichi, Y., Tsujiguchi, K., Maeda, Y. & Okuno, T. 2001. Development of increased oxolinic acid-resistance in *Burkholderia glumae*. J. Gen. Plant Pathology 67: 58-62.
- Iwai, T., Kaku, H., Honkura, R., Nakamura, S., Ochiai, H., Sasaki, T. & Ohashi, Y. 2002. Enhanced resistance to seed-transmitted bacterial diseases in transgenic rice plants overproducing an oat cell-wall-bound thionin. Mol. Plant–Microbe Interact. 15:515-521.
- Jeong, Y., Kim, J., Kim, S., Kang, Y., Nagamatsu, T. & Hwang, I. 2003. Toxoflavin produced by *Burkholderia glumae* causing rice grain rot is responsible for inducing bacterial wilt in many field crops. Plant Dis. 87: 890-895.
- Kawaradani, M., Okada, K. & Kusakari, S. 2000. New selective medium for isolation of *Burkholderia glumae* from rice seeds. Journal of Gen. Plant Pathology 66(3):234-237.
- Kim, J., Kang, Y., Choi, O., Jeong, Y., Jeong, J., Lim, J.Y., Kim, M., Moon, J.S., Suga, H. & Hwang, I. 2007. Regulation of polar flagellum genes is mediated by quorum sensing and FlhDC in *Burkholderia glumae*. Molecular Microbiology 64(1):165–179.
- Kurita, T., Tabei, H. & Sato, T. 1964. A few studies on factors associated with infection of bacterial grain rot of rice. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 29, 60.
- Kurita T. & Tabei H. 1967. On the casual agent of bacterial grain rot of rice. Ann Phytopath Soc. Jpn. 33:111.

- Maeda, Y., Kiba, A., Ohnishi, K. & Hikichi, Y. 2004. New method to detect oxolinic acid-resistant *Burkholderia glumae* infesting rice seeds using a mismatch amplification mutation assay polymerase chain reaction. *J. Gen. Plant Pathology* 70:215–217
- Matsuda, I., & Sato, Z. 1988. Relations between pathogenicity and pigment productivity in the casual agent of bacterial grain rot of rice. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 54:378.
- Miyagawa, H. & Takaya, S. 2000. Biological control of bacterial grain rot of rice by avirulent strain of *Burkholderia gladioli*. *Bull. Chugoku Nat. Agr. Expt. Sta.* 21:1–21.
- Mogi, S. (1988). Detection and diagnosis of pathogen for bacterial grain rot (*Pseudomonas glumae*) on rice. 5th Int. Congress of Plant Pathology. Section XIII, 3-3. p.403
- Nagamatsu, T. 2001. Syntheses, transformation, and biological activities of 7-azapteridine antibiotics: toxoflavin, fervenulin, reumycin and their analogs. *Recent Res. Devel. Org. Bioorg. Chem.* 4: 97-121
- Nandakumar, R., Rush, M., Shahjahan, A.; O'Reilly, K. & Groth, D. 2005. Bacterial panicle blight of rice in the southern United States caused by *Burkholderia glumae* and *B. gladioli*. *Phytopathology* 95 (suppl.): S73.
- Nandakumar, R., Rush, M. C. & Correa, F. 2007. Association of *Burkholderia glumae* and *B. gladioli* with panicle blight symptoms on rice in Panama. *Plant Dis.* 91:767.
- Nandakumar, R.; Shahjahan, A.K. M.; Yuan, X.L.; Dickstein, E.R.; Groth, D.E.; Clark, C.A.; Cartwright, R.D. & Rush, M.C. 2009. *Burkholderia glumae* and *B. gladioli* cause bacterial panicle blight in rice in the southern United States. *Plant Dis.* 93:896-905.
- Nandakumar, R., Bollich, P. A., Shahjahan, A.K., Groth D. E. & M.C. 2008. Evidence for the soilborne nature of the rice sheath rot and panicle blight pathogen, *Burkholderia gladioli*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 30(1):148-154.
- Nieves, C. 1999. Bacterial grain rot. In: Seed-Borne Bacterial Diseases. 8th Revised Edition. Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries. pp.108-113.
- Ohmori, K. & Watanabe, Y. 1986. Efficacy of S-(4-methylsulfonyloxyphenyl) N-methylthiocarbamate (methasulfocarb) for control of bacterial seedlings rot of rice caused by *Pseudomonas glumae* Kurita et Tabei. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 52: 78-81
- Ou, S.H. 1985. Rice diseases. CAB Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey, England. p. 380
- Pérez, C.R. & Saavedra, E. 2011. Avances en el manejo integrado de la bacteria *Burkholderia glumae* en el cultivo de arroz en el Caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 3(1):111-124.
- Saddler, G.S. (1994). IMI Descriptions of fungi and bacteria. No. 1219. *Mycopathologia* 128: 59-60.
- Saichuk, J., Harrel, D., Fontenot, K., Groth, D., Hollier, C., Hummel, N., Linscombe, S., Sha, X.; Stout, M.; Webster, E. & White, L. (2011). Rice varieties and management tips. LSU AgCenter Research & Extension. Desde: www.lsuagcenter.com/en/crops_livestock/crops/rice/Publications/
- Sato, Z., Koiso, K., Iwasaki, S., Matsuda, I. & Shirata, A. 1989. Toxins produced by *Pseudomonas glumae*. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 55: 353-356.
- Sayler, R. J., Cartwright, R. D. & Yang, Y. 2006. Genetic characterization and real-time PCR detection of *Burkholderia glumae*, a newly emerging bacterial pathogen of rice in the United States. *Plant Dis.* 90: 603-610.
- Sha, X.; Linscombe, S. D., Groth, D. E., Bond, J. A., White, L. M., Chu, Q. R.; Utomo, H. S. & Dunand, R. T. 2006. Registration of 'Jupiter' rice. *Crop Sci.* 46:1811–1812.
- Sha, X., Linscombe, S.D., Blanche, S.B., Groth, D.E., Harrell, D.L., White, L.M. & Theunissen, S.J. 2010. Registration of "Neptune" southern medium-grain rice. *Journal of Plant Registrations* 4: 179-182.

- Shahjahan, A. K., Rush, M. C., Groth, D. & Clark, C. 2000. Panicle blight research points to a bacterial cause. *Rice J.* 103:26-28.
- Suzuki, F., Sawada, H., Azegami, K. & Tsuchiya, K. 2004. Molecular characterization of the *tox* operon involved in toxoflavin biosynthesis of *Burkholderia glumae*. *J. Gen. Plant Pathology* 70:97-107.
- Trung, H. M., Van, N. V., Vien, N. V., Lam, D. T. & Lien, M. 1993. Occurrence of rice grain rots disease in Vietnam. *Int. Rice Res. Notes* 18:30.
- Tsushima, S. 2011. Study on control and epidemiology of bacterial grain rot of rice. *J. Gen. Plant Pathology* 77:358-360.
- Tsushima, S., Mogi, S. & Saito, H. 1985. Effects of inoculum density, incubation temperature and incubation period on the development of rice bacterial grain rot. *Proc. Assoc. Plant Prot. Kyushu* 31:11-12.
- Tsushima, S., Mogi, S., Naito, H. & Saito, H. 1989. Existence of *Pseudomonas glumae* on the rice sedes and development of the simple method for detecting *P. glumae* from the rice seeds. *Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.* 25: 261-270.
- Tsushima, S., Wakimoto, S. & Mogi, S. 1986. Selective medium for detecting *Pseudomonas glumae* Kurita et Tabei, the causal bacterium of grain rot of rice. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan.* 52:253-259.
- Tsushima, S. & Naito, H. 1991. Spatial distribution and dissemination of bacterial grain rot of rice caused by *Pseudomonas glumae*. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 57:180-187.
- Tsushima, S., Naito, H. & Koittabashi, M. 1995a. Change in panicle susceptibility associated with flowering rate of spikelets in bacterial grain rot of rice caused by *Pseudomonas glumae*. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 61:109-113.
- Tsushima, S., Naito, H. & Koittabashi, M. 1995b. Forecast of yield loss suffered from bacterial grain rot of rice in paddy fields by severely diseased panicles. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 61:419-424.
- Tsushima, S., Naito, H. & Koittabashi, M. 1996. Population dynamics of *Pseudomonas glumae*, the causal agent of bacterial grain rot of rice, on leaf sheath of rice plants in relation to disease development in the field. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 62:108-113.
- Uetmasu, T., Yoshimura, D.; Nishiyama, K.; Ibaraki, T. & Fujii, H. 1976. Occurrence of bacterial seedling rot in nursery flat, caused by grain rot bacterium *Pseudomonas glumae*. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 42:310-312.
- Ura, H., Furuya, N., Iiyama, K., Hidaka, M., Tsuchiya, K. & Matsuyama, N. 2006. *Burkholderia gladioli* associated with symptoms of bacterial grain rot and leaf-sheath browning of rice plants. *J. Gen. Plant Pathology* 72:98-103.
- Urakami, T, Ito Yoshida, C. & Araki H. 1994. Transfer of *Pseudomonas plantarii* and *Pseudomonas glumae* to *Burkholderia* as *Burkholderia* spp. and description of *Burkholderia vandii* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacter.* 44:235-245.
- Van der Plank, J.E. 1963. *Plant Diseases: Epidemics and Control*. Academic Press, NY. p. 346
- Vélez-Urbe, D. & Flórez-Zapata, N. 2011. Determinación de la Infección de *Burkholderia glumae* en Semillas de Variedades Comerciales Colombianas de Arroz. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*.64(2): 6093-6104.
- Waikamoto, S., Akaki, M. & Tsuschiya, K. 1987. Serological specificity of *Pseudomonas glumae* the pathogenic bacterium of grain rot disease of rice. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 53:150-158.
- Zadocks, J.C. 1985. On the conceptual basis of crop loss assessment: the threshold theory. *Annual Review of Phytopathology* 23:455- 473.
- Zeigler, R. S. & Álvarez, E. 1989. Grain discoloration of rice caused by *Pseudomonas glumae* in Latin America. *Plant Dis.* 73:368.
- Zhang, S. 2004. Tissue culture and transformation for introducing genes useful for pest management in rice. Ph.D. Thesis. Plant Pathology & Crop Physiology. Louisiana State University. p. 135
- Zhu B., Lou M., Huai Y., Xie G., Luo J. & Xu L. 2008. Isolation and identification of *Burkholderia glumae* from symptomless rice seeds. *Rice Science* 15(2):145-149.