

## Características agronómicas del maíz inoculado con diferentes dosis de *Azospirillum brasilense*

### Agronomic characteristics of corn inoculated with different doses of *Azospirillum brasilense*

Ever Maidana<sup>1</sup>, Milciades Melgarejo A.<sup>1</sup>, Diosnel Amarilla<sup>1</sup>, Virgilio Ocampos L<sup>1</sup>, Patricia Colman<sup>1</sup>, Marco Mendoza<sup>2</sup>, Miguel Bogado<sup>1</sup>, Rafael Franco<sup>1</sup>, Oscar Silvero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Canindeyú, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Katueté, Paraguay.

<sup>2</sup> Corteva Agriscience. Asunción, Paraguay.

Autor de correspondencia: milciadesmelgarejo1@gmail.com

**Resumen:** En los últimos años, el uso de inoculantes en el cultivo del maíz ha sido cada vez más frecuente y esto obedece a los beneficios que puede producir, tales como la fijación biológica de N y el aumento de la cantidad de raíces. El objetivo del presente estudio fue evaluar las características agronómicas del maíz en condiciones de campo inoculados con diferentes dosis de *Azospirillum brasilense*. El diseño utilizado fue el de bloques totalmente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en dosis de 0; 0,5; 1; 1,5; 2 y 2,5 L 100 kg semilla de *A. brasilense*. Las variables evaluadas fueron diámetro de la mazorca, peso radicular, materia seca de la parte aérea, peso de mil granos y rendimiento de granos. Las variables estudiadas respondieron de forma lineal al aumento de la dosis de *A. brasilense*. La dosis 2 L 100 kg semilla produjo un aumento de 80% en el rendimiento con relación al testigo.

**Palabras clave:** *Zea mays*; fijación biológica de nitrógeno, bacteria diazotrófica.

**Abstract:** In recent years, the use of inoculants in corn cultivation has been increasingly frequent and this is due to the benefits it can produce, such as the biological fixation of N and the increase in the number of roots. The objective of the present study was to evaluate the agronomic characteristics of corn under field conditions inoculated with different doses of *Azospirillum brasilense*. The design used was that of totally random blocks with six treatments and four repetitions. The treatments consisted of doses of 0; 0.5; one; 1.5; 2 and 2.5 L 100 kg seed of *A. brasilense*. The evaluated variables were ear diameter, root weight, dry matter of the aerial part, weight of a thousand grains and yield. The variables studied responded linearly to the increase in the dose of *A. brasilense*. The 2 L 100 kg seed dose produced an 80% increase in yield compared to the control.



**Keywords:** *Zea mays*; biological nitrogen fixation, diazotrophic bacteria.

## 1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cereal cultivado en el Paraguay. En la campaña 2020, alrededor de 900.000 hectáreas fueron sembrados con este cultivo con un rendimiento promedio de 5.555 kg ha<sup>-1</sup>(<sup>1</sup>). En el cierre del 2019 se exportaron 3.099.331 toneladas de maíz, que corresponde a un considerable crecimiento del 123% en comparación a las 1.392.658 toneladas registradas en el 2018(<sup>1</sup>).

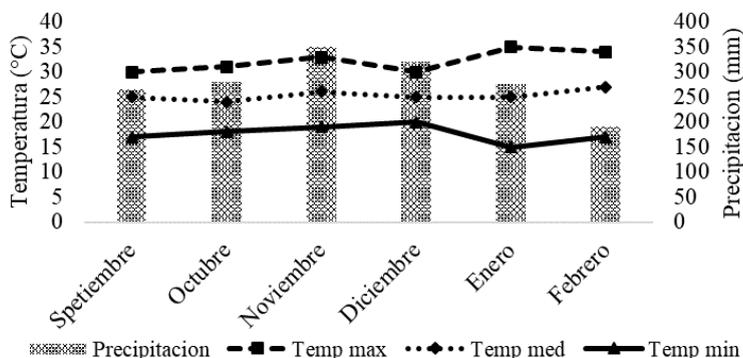
La disponibilidad adecuada de nutrientes en el suelo es imprescindible en la busca por altos rendimientos. El N es el elemento exigido en mayor cantidad por el maíz, y es el que más frecuentemente limita la productividad de granos(<sup>2</sup>). Aunque presenta una alta tasa fotosintética, el maíz es un cultivo muy influenciado por problemas de estrés ambiental entre los que destacan los relacionados con la baja fertilidad del suelo. El N es constituyente de varios componentes de la célula vegetal como aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, siendo así un elemento esencial para el desarrollo de las plantas(<sup>3</sup>).

En la agricultura moderna, la principal fuente de N son los fertilizantes inorgánicos y su utilización es esencial para la producción de alimentos requeridos por la población humana en los días actuales. Una alternativa al uso de fertilizantes orgánicos es el aprovechamiento del N atmosférico (N<sub>2</sub>) por la fijación biológica de nitrógeno (FBN) utilizando organismos fijadores de N o diazotrofos(<sup>4</sup>), principalmente del género *Azospirillum spp.*(<sup>5</sup>). La FBN es un proceso de transformación del N<sub>2</sub> en la forma inorgánica NH<sub>3</sub> por microorganismos que contienen la enzima nitrogenasa y a partir de ello, en formas reactivas orgánicas e inorgánicas(<sup>3</sup>).

Las bacterias del género *Azospirillum* pueden inocular a plantas de interés agronómico estimulando su crecimiento por múltiples mecanismos, incluyendo la síntesis de fitohormonas, mejora de la nutrición nitrogenada, mitigación del stress y control biológico del microbiota patogénico(<sup>6</sup>). La principal barrera a la utilización de *Azospirillum* en el cultivo de maíz ha sido la inconsistencia de los resultados de investigación que varían de acuerdo al cultivar, las condiciones edafoclimáticas y las metodologías en la ejecución de los estudios(<sup>7</sup>). El objetivo del presente estudio fue evaluar las características agronómicas del maíz inoculados con bacterias *Azospirillum brasiliense* en la campaña 2017/18.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la campaña 2017/2018 en sistema de siembra directa en el municipio de Curuguaty, Departamento de Canindeyú, Paraguay. La localización geográfica del área experimental está definida por las siguientes coordenadas: latitud 24°28'48" S, longitud 55°42'36" E. Las condiciones meteorológicas de la zona donde se realizó el experimento son: temperatura media anual entre 22 a 25 °C y precipitación media de 1300 mm anual<sup>(8)</sup>. Los datos de precipitaciones y temperaturas mínimas, máximos y promedio mensuales durante la ejecución del experimento se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Datos de precipitaciones y temperaturas mínimas, máximas y promedio mensuales. Curuguaty. Paraguay.

El suelo del lugar está clasificado como *Rhodic Paleudult* del orden Ultisol [9]. Fueron extraídos muestras de suelo de la camada 0-20 cm para la caracterización química donde los resultados arrojados fueron MO: 1,0 %; K: 0,87 Cmolc kg<sup>-1</sup>; P: 8,4 mg kg<sup>-1</sup>; PH en CaCl<sub>2</sub>: 6,0; Al: 0 Cmolc kg<sup>-1</sup>; H+Al: 0,0 Cmolc kg<sup>-1</sup>; Ca: 1,11 Cmolc kg<sup>-1</sup>; Mg: 0,38 Cmolc kg<sup>-1</sup>; Saturación de bases: 100; Suma de bases: 1,62 Cmolc dm<sup>-3</sup>; CIC: 1,62. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, teniendo de esta forma 24 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en T1; testigo, T2; 0,5 L de *A. brasilense* por cada 100 kg de semillas, T3; 1 L de *A. brasilense* por cada 100 kg de semillas; T4; 1,5 L de *Azospirillum b.* por cada 100 kg de semillas; T5; 2 L de *A. brasilense* por cada 100 kg de semillas y T6; 2,5 L de *A. brasilense* por cada 100 kg de semillas.

Las semillas fueron inoculadas con una solución de bacterias puras en una concentración de 1 x 10<sup>9</sup> UFC mL<sup>-1</sup>. La siembra se realizó en forma manual el

día 06/10/2017 utilizando el híbrido DKB 290 VT TRIPLE PRO de ciclo entre 130 a 140 días<sup>(10)</sup> tratadas con insecticidas y funguicidas a base de Imidacloprid + Tebuconazoles a razón de 600cc por cada 100kg<sup>-1</sup> de semilla para el control de carbón de la panoja (*Sphacelotheca reiliana*) pulgones (*Rhopalosiphum maidis*), trips (*Frankliniella williamsi*), cigarrita (*Empoasca sp.*). Se utilizó un polímero a razón de 800 mL 100kg<sup>-1</sup> de semillas, para mejorar la adherencia de los productos. Para homogeneizar la distribución de la solución, los envases fueron agitados por 5 min después de la aplicación del producto. Cada unidad experimental consistió en 6 líneas de 5m de longitud con un espaciamiento de 0.70 m y 5 plantas por metro lineal. La fertilización fue realizada en el momento de la siembra aplicando al suelo 10 Kg de óxido fosfórico (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 10 kg de calcio (Ca); 6 kg de azufre (S) y 15 kg de óxido de potasio (K<sub>2</sub>O). Durante la ejecución del experimento se realizó el control de malezas de forma manual.

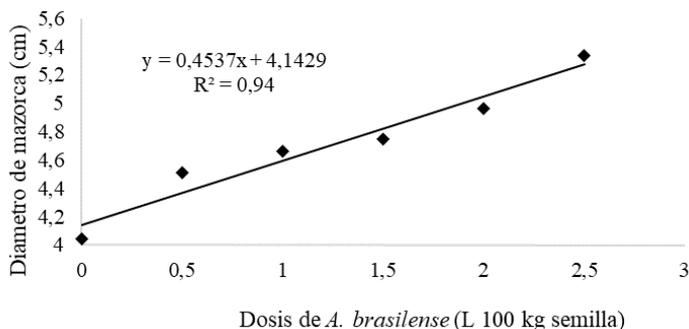
Las variables medidas fueron: diámetro de la mazorca, peso radicular, peso de 1000 granos, materia seca de parte aérea y rendimiento. El diámetro medio en centímetros de las mazorcas fue obtenido midiendo la parte central de 10 mazorcas extraídas de la parcela útil con la utilización de un calibrador vernier. El peso radicular fue obtenido extrayendo y lavando con agua corriente, raíces de 10 plantas del área útil de cada unidad experimental. Enseguida fueron secados en estufa con aireación constante a 65 °C por 48 horas. El peso de 1000 granos fue determinado con la mensura de ocho repeticiones de 100 granos por unidad experimental con la utilización de balanza de precisión (0,001 g) para luego ser extrapolado a mil granos. Para determinar la masa seca de la parte aérea, fueron cortadas 10 plantas al ras del suelo. La biomasa colectada fue picada y secados en estufa con aireación constante a 65 °C por 48 horas. Para determinar el rendimiento fueron extraídas y desgranadas todas las mazorcas del área útil. Luego se procedió al pesaje de los granos y el resultado expresado en kg ha<sup>-1</sup>. Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza y las medias comparadas por el test de Tukey al 5% de probabilidad con la utilización del software estadístico AgroStat. Además, se realizó el análisis de regresión polinomial en función de las dosis de *A. brasiliense*.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las variables estudiadas respondieron de forma lineal al aumento de la dosis de *A. brasiliense*.

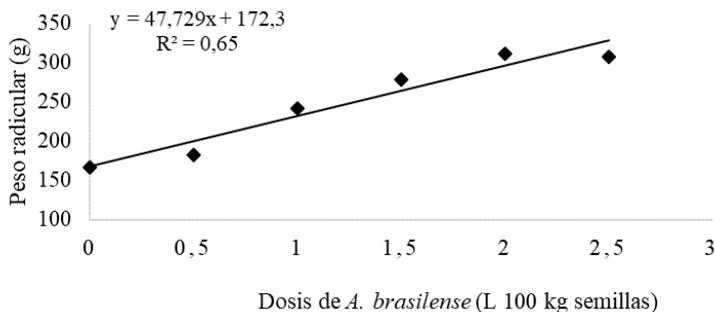
La inoculación con *A. brasiliense* aumentó significativamente el diámetro de la mazorca (Figura 2). La dosis 2.5 L kg semilla de *A. brasiliense* produjo un incremento de 32% en el diámetro de la mazorca, de 4,04 cm en el testigo a 5,34 cm con la mayor dosis. Este resultado coincide con Rockenbach<sup>(11)</sup> donde

obtuvieron un incremento de 3% del diámetro de mazorcas al elevar dosis de *A. brasilense*. No obstante, Cunha<sup>(12)</sup> no observaron diferencias significativas entre diferentes dosis para esta variable.



**Figura 2:** Diámetro de mazorca del maíz con la inoculación de diferentes dosis de *A. brasilense*.

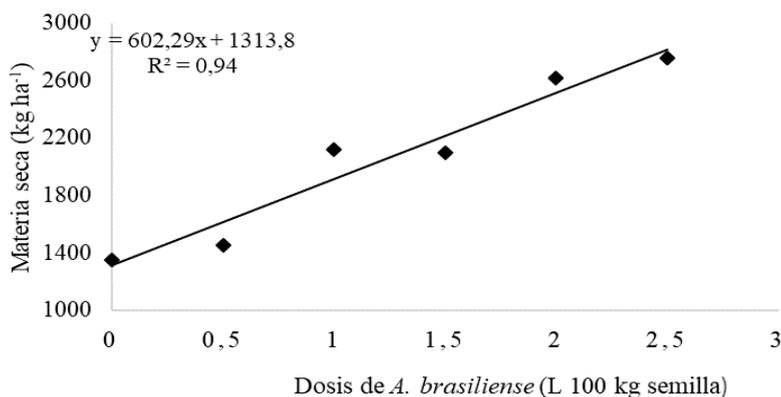
Las dosis de *A. brasilense* produjeron diferencias significativas en la variable peso radicular (Figura 3). El testigo obtuvo 166.75 g de raíz mientras que la dosis 2 L 100 kg semilla produjo un incremento de 27% elevando el peso a 212 g.



**Figura 3:** Peso radicular del maíz con la inoculación de diferentes dosis de *A. brasilense*.

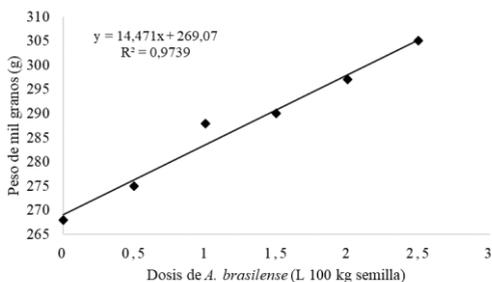
Fue observado un incremento de la materia seca de la parte aérea del maíz con el aumento de dosis del inoculante. La diferencia entre el testigo y la mayor dosis 2.5 L 100 kg semilla fue de 104% y obtuvieron 1350 y 2760 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 4). Reis Junior et al.<sup>(13)</sup> también observaron incremento de la materia seca de plantas de maíz inoculadas con *Azospirillum*. La producción de materia seca es influenciada por el genotipo y por las condiciones ambientales, siendo que es importante ya que los fotoasimilados

almacenados en el tallo de la planta podrán ser translocados a los granos durante la fase de llenado de estos. Fancelli<sup>(14)</sup> y Bashan et al.<sup>(15)</sup> observaron que la fitohormona ácido indolacético (AIA), excretados por *Azospirillum*, cumple un papel esencial en la promoción del crecimiento de plantas.



**Figura 4:** Materia seca del maíz con la inoculación de diferentes dosis de *A. brasiliense*.

La inoculación creciente de *A. brasiliense* afectó de forma significativa el peso de mil granos (Figura 5). Con relación al testigo fue observado un incremento del 14% con la aplicación de 2,5 L 100 kg semillas. Al evaluar el efecto de la inoculación *A. brasiliense* Basi<sup>(16)</sup> observó que a pesar que no presentar diferencias significativas, la inoculación produjo incremento de 1.4 y 1.7% en la masa de mil granos. De igual modo<sup>(11,17,18)</sup> no constataron diferencia significativa para esta variable al incrementar la dosis de *A. brasiliense*. Para Ohland *et al.*<sup>(19)</sup> el genotipo, disponibilidad de nutrientes y condiciones climáticas durante la etapa de llenado de granos posee influencia directa sobre la masa de los granos.

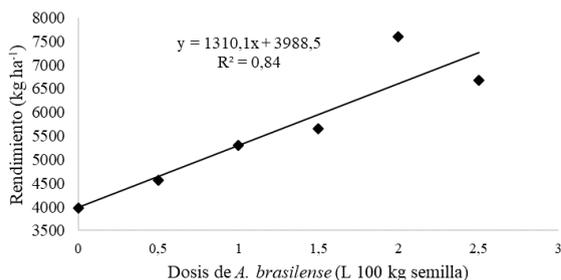


**Figura 5:** Peso de mil granos con la inoculación de diferentes dosis de *A. brasiliense*.

Maidana E, Melgarejo M, Amarilla D, Ocampos LV, Colman P, Mendoza M, Bogado M, Franco R, Silvero O. Características agronómicas del maíz inoculado a diferentes dosis de *Azospirillum brasiliense*.

El mayor rendimiento fue de 7592,5 kg ha<sup>-1</sup> con la dosis 2 L 100 kg de semilla de maíz donde el testigo obtuvo 3976,25 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 6). La diferencia, en porcentaje entre ambos fue de 80%. Barros Neto<sup>(20)</sup> observó un incremento promedio de 9% en el rendimiento de maíz con la inoculación de *A. brasilense*. Do Carmo *et al.*<sup>(21)</sup> verificaron que la inoculación con *Azospirillum* proporciono incrementos de 7 a 14% en el rendimiento de granos de maíz, aun sin la adición de N.

Salomone, Döbereiner<sup>(22)</sup> y Okon<sup>(23)</sup> también encontraron aumentos en la productividad con la inoculación de *Azospirillum* spp. en las condiciones de cultivo más diversas. Hungría<sup>(24)</sup> considera que los efectos de la inoculación de las semillas de maíz sobre el rendimiento de granos dependen de las características genéticas de las plantas y de las estirpes, además de las condiciones del ambiente, en razón de que los resultados más promisoros aparecen en situaciones de baja y media inversión en el cultivo, donde el rendimiento promedio no es muy alto.



**Figura 6:** Rendimiento del maíz con la inoculación de diferentes dosis de *A. brasilense*.

#### 4. CONCLUSIONES

Las características evaluadas son influenciadas por las dosis de *A. brasilense*. La inoculación del maíz con *A. brasilense* produjo un aumento del rendimiento de 3976 kg ha<sup>-1</sup> en el testigo a 7592 kg ha<sup>-1</sup> con dosis de 2 L 100 kg semilla lo que en porcentaje implica un incremento del 80%.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de cereales y oleaginosas (CAPECO). Área de Siembra, Producción y Rendimiento. Disponible en: <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>

2. Lemaire G, Gastal FN. Nuptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire, G. (Ed.). Diagnosis of the nitrogen status in crops. Berlin: Springer; 1997. p.3-43.
3. Taiz L, Zeiger E. Fisiología vegetal 4 ed. Porto Alegre: Artmed; 2009.
4. Lopez SJ, et al. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. Cienc. Rural, Santa Maria. 2007;37(6):1536-1542.
5. Milleo MVR, Cristófoli I. Avaliação da eficiência agrônômica da inoculação de *Azospirillum* sp. na cultura do milho. Revista Scientia Agraria. 2016;17:14-23.
6. Bashan Y, Bashan LE. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth - a critical assessment. Advances in agronomy. 2010;108:77-136.
7. Bartchechen A, Fiori CCL, Watanabe SH, Guarido RC. Efeito da inoculação de *Azospirillum* brasilense na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.). Campo Digital, Campo Mourão. 2010;5(1):56-59.
8. DGECC. Canindeyú Orografía. En Atlas Censal del Paraguay. Fernando de la Mora, Paraguay; 2002.
9. López Gorostiaga O, González Erico E, Llamas P, Molinas A, Franco E, García S, Rios E. Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental; 1995.
10. Monsanto. Variedades de maíz campaña 2014 - 2015. *La Tijereta*; 2010.
11. Rockenbach, M. D. A.; Rasche, J. W.; Fatecha, D. A.; Tiecher T.; Karajallo, J. C.; Aguayo, S. Eficiência da aplicação de *Azospirillum* brasilense associado ao nitrogênio na cultura do milho. Acta Iguazu. 2017. v. 6, n. 1, p. 33-44.
12. Cunha FN, Furtado Da Silva N, De Campos Bastos FJ, De Carvalho JJ, De Freitas Moura LM, Batista Teixeira M, Correa Da Rocha A, Souche EL. Efeito da *Azospirillum* brasilense na produtividade de milho no sudoeste goiano. Revista Brasileira de Milho e Sorgo. 2014;13(3): 261-272.
13. Reis Junior FB, Machado, CTT, Machado AT, Sodek L. Inoculação de *Azospirillum* amazonense em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2008;32:1139-1146.
14. Fancelli AL. Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.). [Tese Doutorado]. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba; 1988.
15. Bashan Y, Holguin G, De-Bashan LE. *Azospirillum* plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). Canadian Journal of Microbiology. 2004;50:521-577.
16. Basi S. Associação de *Azospirillum* brasilense e de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. 2013. 63 f. [Dissertação Mestrado em Área de Concentração de Produção Vegetal]. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava; 2013.

17. Godoy JCS, Watanabe SH, Fiori CCL, Guarido RC. Produtividade de milho em resposta a doses de nitrogênio com e sem inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. Campo Digital. 2011;6(1):26-30.
18. Repke RA, Cruz SJS, Silva CJ, Figueiredo, P. G.; Bicudo, S. J. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo. 2013. v. 12, p. 214-226.
19. Ohland, R. A. A., Souza, L. C. F. D., Hernani, L. C., Marchetti, M. E., & Gonçalves, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. Ciência e Agrotecnologia. 2005. v. 29, n. 3, p. 538-544.
20. Barros Neto, C. R. Efeito do nitrogênio e da inoculação de sementes com *Azospirillum brasiliense* no rendimento de grãos de milho. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 28 p. 2008.
21. Do Carmo Lana M, Dartora J, Marini D, Hann JE. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. Rev. Ceres. 2012;59(3):399-405.
22. Salomone G, Döbereiner J. Maize genotypes effects on the response to *Azospirillum* inoculation. Biology Fertilizer Soils. 1996;21:193-196.
23. Okon Y, Vanderleyden J. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants. Applied and Environmental Microbiology. 1997;63(7):366-370.
24. Hungria M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja; 2011.