

## TENDENCIAS EN EL CONSUMO DE FERTILIZANTES EN PUERTO RICO

David Sotomayor Ramírez<sup>1</sup>, Julio Barragán<sup>1</sup>, Jeffrey Caraballo<sup>1</sup>, Gilberto Lozada-Ramírez<sup>2</sup> y Raúl Jaramillo<sup>3</sup>

### Introducción

La producción global de granos ha crecido un poco más del doble desde 1960 y continúa incrementándose (Godfray et al., 2010). Este incremento puede atribuirse a una expansión del 12% en el área cultivada, al uso de variedades de alto rendimiento, fertilizantes químicos y plaguicidas, al uso de tecnologías de mecanización, y al riego expandido (Foley et al., 2005). Los reportes difieren en cuanto a la habilidad del sector agrícola para producir suficiente comida y como esta se afectará al incrementar la competencia por la tierra, la energía y el agua en los próximos 40 años. La tasa de crecimiento anual de la población mundial se estima en el 1% y se espera que lleguemos a los nueve millardos de personas a mediados del siglo XXI (US Census Bureau, 2011). Adicionalmente se espera que muchos en la población en incremento sean más pudientes y por tanto generen una demanda adicional de alimentos. En términos generales, las fluctuaciones en los precios de alimentos pueden ser más frecuentes, la demanda por tierra para la producción de biocombustibles podría incrementarse, mientras que el área total para la agricultura permanecería relativamente estable (Foley et al., 2005; Fedoroff et al., 2010; Godfray et al., 2010).

El igualar la oferta y la demanda de alimentos ha sido un importante desafío en el equilibrio mundial de alimentos. El hecho de que actualmente cerca de 985 millones de personas están mal nutridas, constituye una evidencia clara de esta afirmación (Godfray et al., 2010), por lo que se necesitan prácticas agrícolas que sean económica, social y ambientalmente justas (sostenibles). En este sentido, la producción agrícola moderna debe esforzarse en maximizar los rendimientos y la calidad de los cultivos, mientras se minimizan los costos de producción. Esto no necesariamente se ha logrado, aunque con los avances tecnológicos (incluyendo la fertilización) se han asegurado grandes incrementos en la producción de alimentos por unidad de área, también se ha impactado negativamente el medioambiente (Parry, 1998; Sharpley et al., 1999; Rabalais et al., 2001; Postel, 2005; Snyder, 2008). Entre 30 y 50% de los rendimientos de cultivos alrededor del mundo se puede atribuir al uso de fertilizantes comerciales; dicha contribución puede ser del 80 al 90% en los suelos altamente meteorizados de los trópicos (Stewart et al., 2005).

Puerto Rico constituye un interesante caso desde el punto de vista agronómico y de manejo de nutrientes. Después de la década del 1950 la isla experimentó un cambio dramático, moviéndose desde una economía basada en la agricultura hacia una industrial. Este proceso involucró la migración de la población hacia las ciudades y un abandono gradual de las tierras agrícolas (Rudel et al., 2000; López et al., 2001; Martinuzzi et al., 2006). Actualmente, Puerto Rico tiene una de las mayores tasas de capacidad de carga (personas por acre) en comparación con otras áreas del mundo (Eswaran et al., 1999), estimada en 1.7 (a base del área total y 8.5 a base de la tierra agrícola). Se estima que solamente cerca del 15% del consumo de alimento se produce localmente (Comas, 2009). Para el 2009, el ingreso bruto agrícola era el 1.19% del producto interno bruto (PIB) (estimado en US\$ 68.84 x 10<sup>9</sup>) (DAPR, 2011; INDEXMUNDI, 2011). Un incremento en los bienes agrícolas producidos localmente aportaría una mayor proporción al PIB, contribuiría a satisfacer parcialmente la dieta nacional y podría tener un rol en incrementar y fortalecer la base económica agrícola. El uso sostenible de fertilizantes es un aspecto importante de tal desarrollo. El objetivo de este trabajo es examinar las tendencias en el consumo de fertilizantes a escala global y local, y describir las causas de dichas tendencias en Puerto Rico.

### Materiales y métodos

Los datos de consumo de fertilizante se obtuvieron de la base de datos (FAOSTAT, 2011) de la organización para los alimentos y la agricultura de las Naciones Unidas (FAO). Dicha información se expresa *en base de nutrientes* (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y K<sub>2</sub>O) y no como fertilizantes comerciales. El consumo total de fertilizantes se calculó ya sea como la suma de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, o cuando fue posible se obtuvieron directamente de la base de datos. El consumo de fertilizantes de Puerto Rico se obtuvo del DAPR (2008) y se expresó en base a los fertilizantes y no en base a los nutrientes como se hizo por la FAO. Los datos de la FAO se consiguieron por región y por país. Se realizaron análisis de regresión sobre la base de datos completa y sobre datos para períodos específicos de tiempo utilizando INFOSTAT o SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., San José, CA). Las tendencias en el consumo de fertilizantes se establecieron basado en la pendiente de la regresión lineal entre el consumo de

<sup>1</sup> Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Colegio de Ciencias Agrícolas, Mayagüez, Puerto Rico. Correo electrónico: david.sotomayor@upr.edu.

<sup>2</sup> Pan American Fertilizer Corp. Guánica, Puerto Rico.

<sup>3</sup> International Plant Nutrition Institute (IPNI). Oficina para el Norte de Latinoamérica. Quito, Ecuador. Correo electrónico: rjaramillo@ipni.net

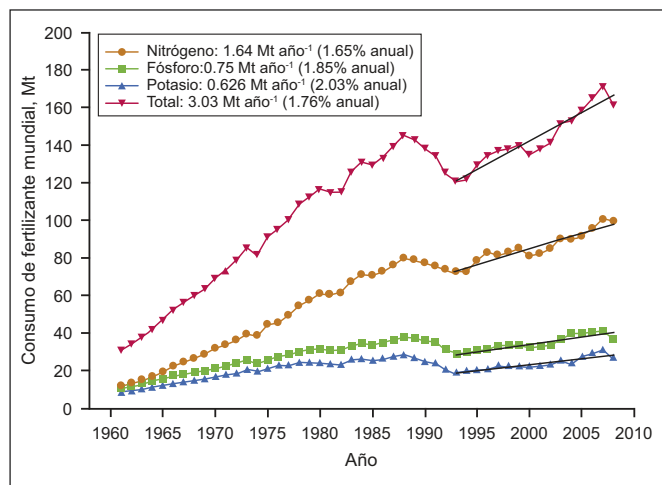
fertilizantes y el tiempo. La información del uso de la tierra en Puerto Rico se consiguió de la base de datos NASS (USDA-NASS, 2011a) o de la base de datos para el uso de la tierra de la FAO (FAOSTAT, 2011).

Utilizamos las áreas cosechadas y los niveles de producción de las cosechas: forraje, banano, piña, yuca, malanga, naranja, papaya y hortalizas según lo reportado por el censo de la USDA (USDA-NASS, 2011b). Los rendimientos relativos se calcularon de acuerdo a la relación entre los rendimientos sobre los rendimientos máximos potenciales. El rendimiento máximo potencial se obtuvo de la evaluación de expertos especialistas de la UPRM-AES y fueron expresados en una base porcentual.

**Resultados y discusión**

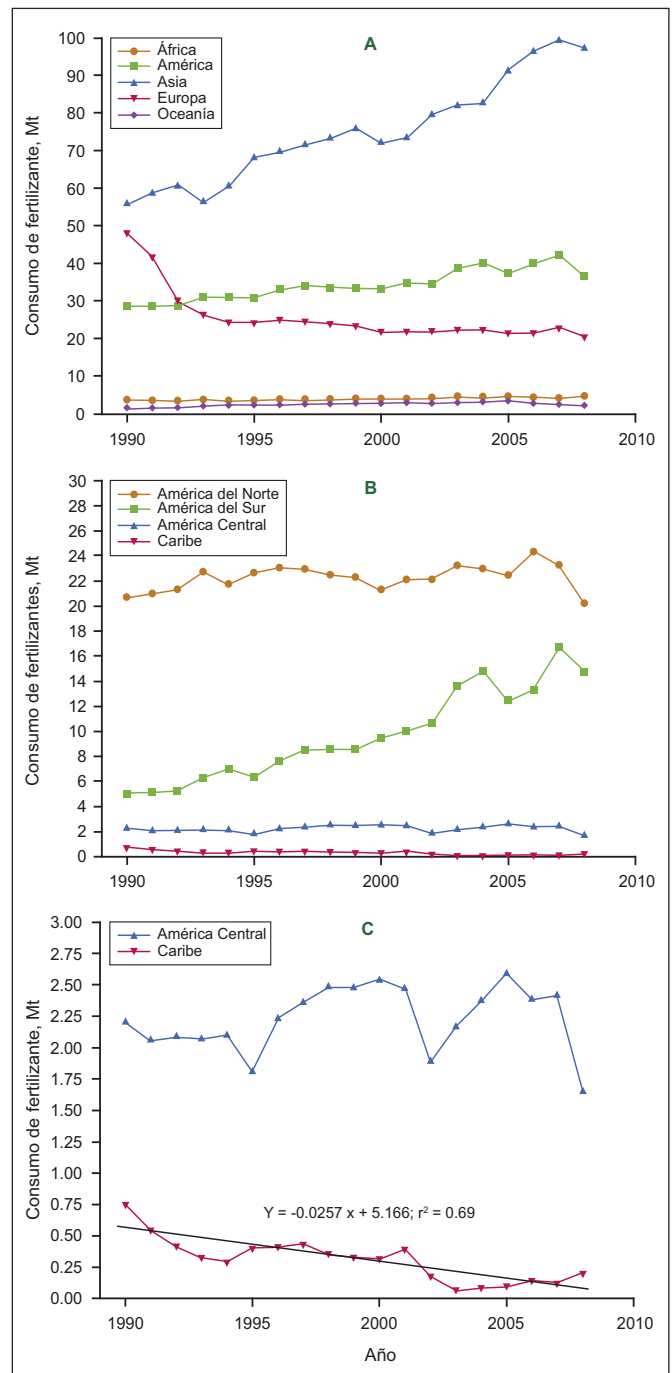
*Tendencias mundiales:* El consumo de fertilizantes de N, P y K mostró un continuo incremento desde 1960 hasta 1988 (FAOSTAT, 2011) (Figura 1). Desde 1988 hasta 1993, el consumo de fertilizantes declinó, y desde 1993 hasta 2008 el consumo de fertilizantes N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y el total de fertilizantes se incrementó en tasas anuales de 1.65, 1.85, 2.03 y 1.76%, respectivamente. En el 2008, los fertilizantes nitrogenados representaron la mayor parte (60%) de todos los fertilizantes consumidos, seguidos por los fosfatos y los potásicos. El énfasis en los nitrogenados ha contribuido a desbalances nutricionales, especialmente en los países en desarrollo (Vitousek et al., 2009; Barbazán et al., 2009; Fixen et al., 2010). El consumo global de fertilizantes en el 2008 fue de 161.8 Mt de fertilizante, dividido en 99.2, 39.6 y 26.0 Mt para N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente.

*Consumo de fertilizantes por región desde 1991 hasta el 2008:* El consumo de fertilizantes en América y en Asia se incrementó desde 1991 al 2008, mientras que el consumo de fertilizantes en Europa declinó marcadamente desde 1990 hasta 1994 y se mantuvo estable hasta



**Figura 1.** Tendencias históricas en el consumo de fertilizante mundial hasta el año 2008 (FAOSTAT, 2011). Las unidades son Mt de nutrientes (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O) y las rectas de regresión son las tasas de incremento para el periodo de 1993 al 2008.

el 2008 (Figura 2a). El consumo de fertilizante en Oceanía se incrementó desde 1990 hasta el 2005, y después declinó por tres años consecutivos. Las tasas de consumo de fertilizantes no han cambiado (no existe una pendiente significativa en la regresión) para América del Norte y América Central (Figura 2b). Desde 1990 hasta el 2008, el consumo de fertilizantes en América del Sur se ha incrementado en una tasa de 0.62 Mt año<sup>-1</sup> y en el Caribe esta ha declinado con una tasa de 25 686 t año<sup>-1</sup> (Figura 2c). En el 2008, los 10 países más consumidores de fertilizante en el mundo fueron: China, India, Estados Unidos, Brasil, Indonesia, Pakistán, Francia, Canadá, Polonia y Egipto (FAOSTAT, 2011).



**Figura 2.** Consumo histórico de fertilizantes (en base de nutrientes) entre 1990 al 2008 a nivel global (A), para las Américas (B) y para el Caribe y América Central (C) (FAO, 2011).

**Tabla 1. Consumo global de fertilizante (en base de nutrientes) dividido por regiones para el 2002 y el 2008 (FAO, 2011).**

Región	-----2002-----		-----2008-----	
	Total fertilizantes	Total	Total fertilizantes	Total
	Mt	%	Mt	%
<b>Mundo</b>	<b>144.2</b>	<b>100</b>	<b>161.8</b>	<b>100</b>
África	4.1	2.8	4.8	3.0
Asia	79.9	55.4	97.3	60.1
Europa	22.2	15.4	20.7	12.8
Oceanía	3.2	2.2	2.3	1.4
Total Américas	34.8	24.1	36.7	22.7
<i>Norte</i>	<i>22.10</i>	<i>15.30</i>	<i>20.10</i>	<i>12.50</i>
<i>Central</i>	<i>1.90</i>	<i>1.31</i>	<i>1.60</i>	<i>1.02</i>
<i>Caribe</i>	<i>0.18</i>	<i>0.13</i>	<i>0.21</i>	<i>0.13</i>
<i>Del Sur</i>	<i>10.60</i>	<i>7.37</i>	<i>14.70</i>	<i>9.10</i>

En el 2008, la mayor parte del consumo de fertilizantes se dio en Asia seguido por Norteamérica con un 60.1 y 12.5% del total global, respectivamente. El consumo de fertilizante en el 2008 en comparación con el del 2002 se incrementó en 4.7% y declinó en un 1.4% para Asia y Norteamérica, respectivamente (Tabla 1). India y China fueron los mayores consumidores de fertilizantes en Asia con 50.8 y 24.3 Mt, lo que representa 31.5 y 15% del total del consumo mundial respectivamente.

En América, los Estados Unidos tuvieron la mayor proporción en uso de fertilizante, seguido por Brasil, Canadá, Argentina, México y Colombia (Tabla 2). La cantidad total de fertilizante consumido en el Caribe tal como se ha listado para la región en total fue de 208 596 t o el 0.13% del total del fertilizante global. En contraste, cuando el total del fertilizante consumido para todos los países del Caribe se suma por individuos, se encuentra un total de 298 300 t. Esta discrepancia puede deberse al hecho de que las estadísticas específicas para el caso de la República Dominicana no fueron disponibles y para este país se utilizó datos de consumo del 2002. Los 298 300 t de fertilizante utilizados en las islas del Caribe (excepto Guyana y Surinam), representan el 0.82 y el 0.18% de lo consumido en América y por el mundo, respectivamente. Cuba y la República Dominicana consumieron aproximadamente el 78% del total del Caribe, con un restante de 66 900 t distribuidas entre otras islas caribeñas. El consumo de fertilizantes para Puerto Rico no aparece en la base de datos de la FAO, y por tanto no se incluye en el análisis anterior.

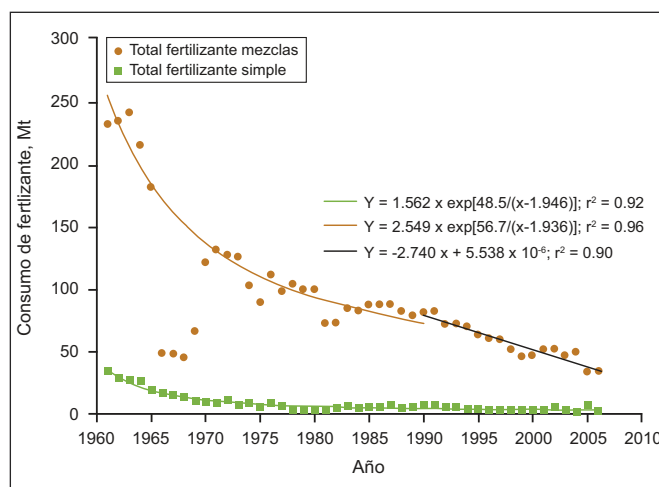
**Tendencias actuales en el consumo global de fertilizante 2008-2012:** La demanda global de fertilizante para N, P y K se espera que crezca en cerca del 2.5, 2.8 y 2.7%, respectivamente hasta el 2012 (FAO, 2008). El consumo

global de fertilizante se espera que crezca al 2.7% por año entre 2008 a 2012. El consumo de fertilizantes en el este de Europa, Asia, América Latina y el África tendrían crecimientos anuales por encima del 3%; Europa Central, América del Norte y Oceanía tendrían crecimientos anuales menores al 2%; América del Norte crecería al 1.2% anual. En el 2006, la fracción de fertilizantes utilizados en América del Norte fue del 15.48% del total y se espera que reduzca al 13% en el 2012 (FAO, 2008). La expectativa es que el consumo de fertilizantes en América del Norte dependerá en mayor medida de las importaciones de otras regiones (Huang, 2007).

Se espera que el consumo total anual de fertilizante en Latinoamérica se incremente un 5% entre el 2008 y el 2012 hasta alcanzar un 10.7% del consumo global. El total de fertilizante consumido en las dos regiones de mayor consumo de Asia, el sur y el este, se espera que esté en 4 y 2.7%, respectivamente. Las dos regiones combinadas se espera que representen el 17 y 38.8% del consumo total de fertilizante. Es de esperar que cualquier cambio en el consumo de fertilizante en el sur y este de Asia afectará la situación de la oferta y demanda en todos los otros países (FAO, 2008).

En el 2008, la mayor parte del consumo de fertilizantes se dio en Asia seguido por Norteamérica con un 60.1 y 12.5% del total global, respectivamente. El consumo de fertilizante en el 2008 en comparación con el del 2002 se incrementó en 4.7% y declinó en un 1.4% para Asia y Norteamérica, respectivamente (Tabla 1). India y China fueron los mayores consumidores de fertilizantes en Asia con 50.8 y 24.3 Mt, lo que representa 31.5 y 15% del total del consumo mundial respectivamente.

**Tendencias del consumo de fertilizante en Puerto Rico:** En 1962, 232 952 t (256 273 ton) de fertilizante (en su forma comercial y no como nutrientes) se consumieron en Puerto Rico (Figura 3). En el 2008, el consumo de fertilizantes había descendido un 16% de aquello de 1962 a sólo 34 494 t (37 947 ton). No está claro por qué ocurrió la dramática caída en los reportes de fertilizante entre 1966 hasta 1969. Considerando la tendencia en todos los datos se puede notar que mientras el consumo a escala global se ha incrementado y el consumo de fertilizantes en la mayoría de países aumentó, este ha



**Figura 3. Tendencias históricas para el consumo de fertilizante (Mt) en Puerto Rico, expresado como fertilizantes simples y como fertilizantes compuestos y en mezclas (DAPR, 2006).**

**Tabla 2. Consumo de fertilizante (en base de nutrientes) para los países de América en el 2008 (FAO, 2011).**

Región	País	Consumo de fertilizante t	Fracción del total mundial %
América del Norte	Estados Unidos	17 600 000	10.9
	Canadá	2 600 000	1.6
	México	1 100 000	0.7
América Central	Costa Rica	141 500	0.1
	Guatemala	121 900	0.1
	Honduras	109 700	0.1
	El Salvador	81 100	0.1
	Nicaragua	61 300	0.0
	Panamá	19 300	0.0
	Belice	3 500	0.0
	América del Sur	Brasil	10 100 000
Argentina		1 200 000	0.8
Colombia		901 100	0.6
Chile		744 900	0.5
Venezuela		628 800	0.4
Perú		297 700	0.2
Paraguay		280 700	0.2
Ecuador		264 700	0.2
Bolivia		19 600	0.0
Guyana*		23 900	0.0
Surinam*		25 800	0.0
Uruguay		194 096	0.0
Caribe		Antigua y Barbuda*	13
	Barbados*	1 800	0.0
	Belice*	3 500	0.0
	Dominica*	222	0.0
	Jamaica*	6 400	0.0
	Saint Kitts y Nevis	53	0.0
	Trinidad y Tobago	58 400	0.0
	Bahamas		
	Cuba	141 700	0.1
	República Dominicana**	89 700	0.1
	Granada		
	St. Lucia		
	St. Vincent y Granadinas		
Haití			

\* Países miembros del CARICOM  
 \*\* Las estadísticas para la República Dominicana son estimados del 2002

decrecido en los últimos 40 años en Puerto Rico. Excluyendo los cuatro años de datos anómalos (1966-1969), se eligió un modelo de crecimiento exponencial para describir la tendencia en el consumo de fertilizantes de 1966 hasta 1989. A partir del 1990 y hasta el 2006, el consumo de fertilizantes en Puerto Rico decreció de manera lineal ( $P < 0.05$ ) en una tasa de  $-2740 \text{ t año}^{-1}$  (o un decremento anual del 3.77%).

La proporción total de fertilizantes vendidos en fórmulas mixtas, era del 87% en 1962 y del 89% en el 2002. En general un valor estable se ha mantenido sobre el período con un valor promedio del 90% ( $\pm 2$ , intervalo de confianza del 95%), esto a pesar de que a nivel mundial las formulaciones han declinado en su uso y más nutrientes se manejan como fertilizantes simples. Por ejemplo en los Estados Unidos, la proporción de mezclas era del 63% en 1960 y en el 2007 fue del 34% (USDA-ERS, 2011).

Cerca del 33% del área terrestre en Puerto Rico está dominada por Oxisoles y Ultisoles (Beinroth et al., 2003), suelos que pueden mantener una alta productividad agrícola cuando se manejan adecuadamente pero que tienen reservas limitadas de nutrientes para el crecimiento de cultivos. Se ha observado respuestas al N y al P en múltiples de éstos suelos (Grove, 1979; Lathwell, 1979), sin embargo las aplicaciones de P a través de los años puede crear suelos que ya no responden a la fertilización fosfórica debido a la acumulación de este elemento y la consecuente disponibilidad al cultivo (Lathwell, 1979; CAST, 2000; Syers et al., 2008). Investigación realizada por la Estación Experimental de la Universidad de Puerto Rico ha demostrado los efectos positivos de utilizar formulaciones completas para la producción intensiva en estos suelos altamente meteorizados (por ejemplo Vicente-Chandler et al., 1983; Irizarry et al., 1981; Irizarry y Rivera, 1985). Sin embargo, el uso de

herramientas mejoradas para las recomendaciones de P y K (tales como el análisis de suelos y foliares y el presupuesto nutricional) ha sugerido cantidades reducidas de formulaciones completas en algunos sistemas de producción agrícola alrededor del mundo, especialmente en suelos y sistemas con historial de aplicación de fertilizantes o residuos orgánicos y en suelos donde las reservas de P y K han aumentado (Cox, 1992; Dodd y Mallarino, 2005; Syers et al., 2008; IPNI, 2011). Existe un gran potencial para utilizar fertilizantes simples solubles, especialmente en áreas de Puerto Rico que tienen sistemas de riego por goteo en los cuales los nutrientes pueden ser aplicados vía fertirrigación y en los que los nutrientes P y K se encuentran sobre los límites críticos (Sotomayor-Ramírez y Martínez, 2006; Sotomayor-Ramírez, 2010).

Algunas preguntas clave aparecen para elucidar la tendencia de la reducción en el consumo de fertilizantes en Puerto Rico: se debe esto a la reducción en el área o a menores tasas de aplicación en la tierra existente? Qué tan importante es el precio del fertilizante en la decisión de la aplicación de fertilizantes y sus dosis.

### Consumo de fertilizantes en Puerto Rico y su relación al área

Dos bases de datos para los estimados del área de tierra bajo producción agrícola para Puerto Rico están disponibles, el publicado por la USDA-NASS (2011a) y FAOSTAT (2011). Estos dos valores no necesariamente concuerdan, debido a una distinta clasificación del uso del suelo y otros criterios distintos de clasificación. Además, USDA-NASS tiene información para ciertos años, mientras que todos los años desde 1961 están cubiertos por la base de la FAO. Nosotros hemos optado por utilizar la base de datos de la FAO, debido a su continuidad a través del tiempo y porque se puede comparar a Puerto Rico con otros países.

El total de área de suelo agrícola (definido como la tierra arable, cultivos permanentes y pasturas permanentes) ha venido reduciéndose históricamente (Figura 4). Análisis de regresión lineal para el período entre 1991 y 2008, muestran que la tasa de reducción del área de suelo agrícola fue de 11 155 ha año<sup>-1</sup>. En el 2006 el área de suelo agrícola se estimó en 201 000 ha y en el 2008 fue de 187 000 ha. El área estimada bajo uso actual agrícola (tierra arable y cultivos permanentes) aparentemente se ha mantenido constante o se ha incrementado desde 1991 hasta el 2008, cuando un estimado de 97 000 ha se reportó. Históricamente la mayor proporción de suelo agrícola se ha dedicado a la caña de azúcar, la cual en 1950 ocupaba 140 000 ha. La producción agrícola ha estado históricamente a la merced de fenómenos naturales, el paso del huracán Hugo en 1989 contribuyó a la eliminación de una gran parte de la infraestructura asociada a una industria que

ya se encontraba en decadencia. Para 1990 sólo cuatro ingenios se mantenían con un área de producción de 18 400 ha y para 1997 los dos ingenios azucareros restantes ocupaban solamente 4949 ha. Muchos de los campos de producción de caña fueron abandonados y otros fueron sembrados con cultivos alternativos, la mayoría se convirtieron en pasturas permanentes.

Nosotros proponemos que el descenso observado en el consumo de fertilizantes se debe principalmente al descenso del área agrícola. Un análisis de regresión lineal entre el área agrícola y el consumo de fertilizante muestra que por cada hectárea de suelo perdida, el consumo de fertilizante disminuyó 0.809 t (Figura 5). Las estadísticas del consumo de fertilizante por unidad de área no se encuentran disponibles para Puerto Rico. Por esto, si nosotros asumimos que toda el área se clasifica como suelo arable y cultivos permanentes, y que un 20% de lo que se clasificó como pasturas permanentes se fertilizó (USDA-NASS, 2011a), un estimado de la tasa de aplicación de fertilizante para el área de producción de cultivos se puede realizar (Figura 6). Desde 1961 hasta 2006, existe un decremento lineal

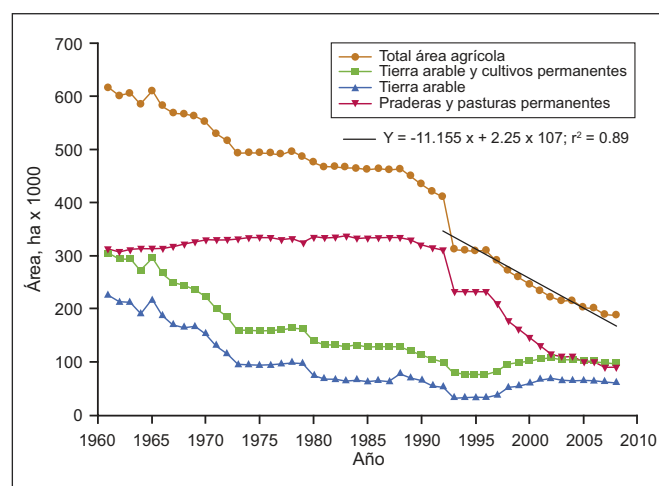


Figura 4. Tendencias en el área agrícola dividida de acuerdo al uso de la tierra en Puerto Rico entre 1960 y el 2008 (FAO, 2011).

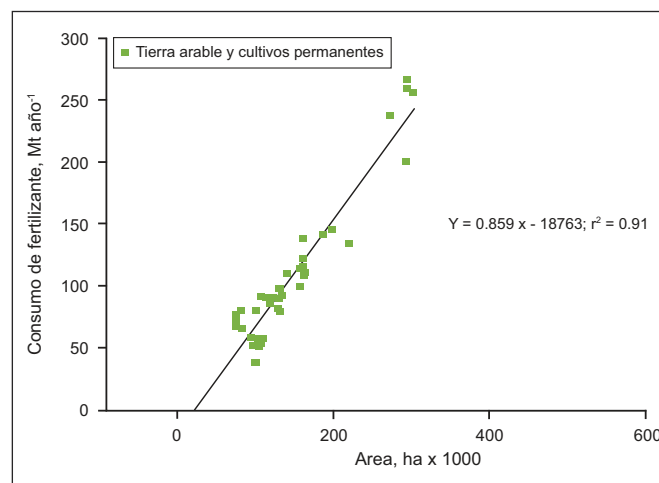
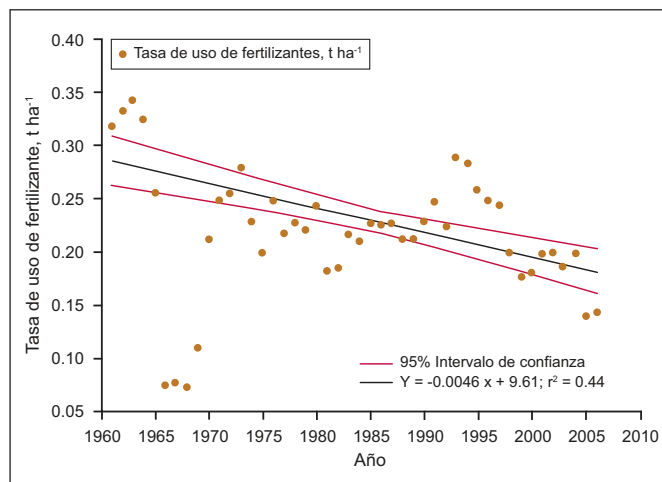


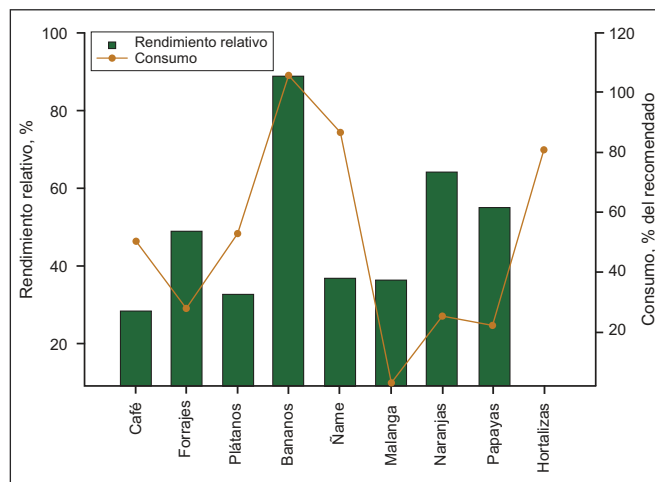
Figura 5. Relación entre el área agrícola y el consumo de fertilizante entre 1960 y el 2006 en Puerto Rico.



**Figura 6. Tendencias en las tasas de aplicación de fertilizante para el área agrícola y los cultivos permanentes y para el 20% del área en pasturas permanentes de Puerto Rico. Los datos entre 1966 y 1969 no se incluyeron en el análisis.**

en la tasa de aplicación de fertilizantes de  $4.6 \text{ kg de fertilizante ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . En el 2006, nosotros estimamos que se aplicó un total de  $0.29 \text{ t ha}^{-1}$  en el área agrícola. A pesar de que ambos factores (pérdida de suelo agrícola y descenso en la tasa de aplicación) se encuentran fuertemente correlacionados al consumo de fertilizante, siendo por tanto razones importantes para la tendencia decreciente en el consumo de fertilizantes, el adicionar la variable dosis de fertilizante al modelo de regresión múltiple entre consumo de fertilizantes y área agrícola, no mejoró significativamente el coeficiente de regresión. Suponiendo que el material fertilizante contienen promedio 15% N, 5%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 10%  $\text{K}_2\text{O}$ , (G. Lozada, com. pers.) una tasa de aplicación de nutrientes de aproximadamente 44.15, y 29  $\text{kg ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente, se aplicó en el 2006 a la tierra en cultivos comercial y pasturas bajo manejo intensivo. Se esperaba que ciertas cosechas, especialmente aquellos que tienen un alto retorno en la inversión de fertilizantes, tales como los vegetales y plátanos pudieran tener una mayor dosis de aplicación mientras que lo contrario ocurre para los cultivos de bajo valor como los dedicados a ensilaje o el café. Existe evidencia que sugiere que los agricultores no están utilizando herramientas diagnósticos tales como el análisis de suelo y tejido vegetal, para guiarse en la decisión de si se puede reducir o eliminar la aplicación de fertilizante P o K.

En el 2008, el valor del cultivo de café, plátano, banano y forraje representó el 88% del total de los cultivos agrícolas en Puerto Rico (USDA-NASS, 2011b). Los rendimientos de la mayoría de los cultivos evaluados tenían rendimientos por debajo de su rendimiento potencial (estimado a base de información publicada y criterio de expertos) (Figura 7). Excluyendo el banano quien tiene rendimientos relativos de cerca del 88%, el resto de los productos evaluados produjeron muy por



**Figura 7. Rendimientos de cultivos seleccionados en relación a su consumo estimado de fertilizantes. Los rendimientos relativos de las hortalizas no pueden ser estimados debido a la gran diversidad de rendimientos reportados.**

debajo de su potencial, con rendimientos relativos entre el 24% para el café y 64% para la naranja. Existe considerable incertidumbre en cuanto a estos estimados, debido a que no existe información histórica para cada sitio. Sin embargo, la información analizada sugiere que la producción agrícola (respecto del rendimiento) se encuentra por debajo de lo que debería ser, dada la tecnología, información y recursos disponibles. En términos de los estimados de consumo de fertilizante para productos específicos, tales como hortalizas, yuca y banana, todos fueron superiores al 80%, los cultivos de hortalizas y las bananas se sabe que son cultivos de alto valor debido a su alto precio de mercado y tienden a tener una relación muy alta entre el precio de cultivo y el del fertilizante. Con altos precios de venta del producto, el precio del fertilizante no es un factor importante en la decisión de las dosis de fertilización a utilizarse. Al contrario, cultivos tales como los forrajes utilizados para ensilaje y el café tiene una relación muy estrecha de precios entre cultivo y fertilizante local lo que influencia las tasas de aplicación del agricultor. Nuestro análisis preliminar sugiere que la mayoría de productos no se fertilizan adecuadamente.

Los estimados del rendimiento de cultivos en Puerto Rico puede estar relacionado a las tasas de uso de fertilización ( $\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O}$ ). La FAO reporta un uso de nutrientes para Puerto Rico de  $92 \text{ kg ha}^{-1}$  (FAOSTAT, 2011) nuestros estimados de consumo de fertilizante está en los  $88 \text{ kg ha}^{-1}$ , es decir sólo 4% de diferencia. Entre 1994-1995 el consumo de fertilizante en el mundo fue de  $88 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  para Norteamérica,  $216 \text{ kg ha}^{-1}$  en el este de Asia,  $77 \text{ kg ha}^{-1}$  en el sureste de Asia,  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  en el África subsahariana y  $65 \text{ kg ha}^{-1}$  en Latinoamérica (Bumb y Baanante, 1996). El consumo de fertilizante se ha intensificado a través del mundo ya que en el 2008 los promedios fueron de  $129 \text{ kg ha}^{-1}$  para

el mundo, 146 kg ha<sup>-1</sup> en Latinoamérica y el Caribe, 157 kg ha<sup>-1</sup> y Norteamérica y 188 kg ha<sup>-1</sup> en los países de la Unión Europea. Las tasas de uso de fertilizante para Puerto Rico en la actualidad están muy por debajo de todas estas regiones. El consumo de fertilizante en Puerto Rico se encuentra ubicado como 72 entre 149 países que han reportado estadísticas de consumo de fertilizante (FAOSTAT, 2011).

### Conclusiones

El consumo de fertilizante en Puerto Rico ha disminuido y se encuentra en un valor históricamente más bajo. Los factores que ocasionaron este descenso en consumo son una disminución del área de suelo agrícola y en un menor grado una reducción en la tasa de aplicación de fertilizante. El conocimiento de estas tendencias y en un menor grado una reducción en la tasa de aplicación de fertilizantes. La producción agrícola sostenible debe estar acompañada de un manejo adecuado de los nutrientes y fertilizante, especialmente en áreas como Puerto Rico que posee una alta cantidad de habitantes por unidad de tierra. El suministro de fertilizantes P y K se puede modificar con relación a las recomendaciones, solamente si se utilizan herramientas de diagnóstico tales como análisis de suelo y planta y presupuestos. Sin embargo lo más importante tal vez es que los resultados de este artículo sugieren que el descenso del consumo de fertilizante para Puerto Rico es el síntoma de un mal mucho mayor: la pérdida gradual e incesante de la competitividad del sector agrícola de la Isla.

### Bibliografía

- Barbazán, M., A. del Pino, J. Bordoli, A. Califra, S. Mazzilli, y O. Ernst. 2009. La problemática del K en Uruguay: situación actual y perspectivas de corto y mediano plazo. II Simposio Nacional de Agricultura. pp.21-33.
- Beinroth, F.H., R.J. Engel, J.L. Lugo, C.L. Santiago, S. Ríos, y G.R. Brannon. 2003. Updated taxonomic classification of the soils of Puerto Rico, 2002. University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station Bulletin 303. 73p.
- Bumb, B.L., y C.A. Baanante. 1996. World trends in fertilizer use and projections to 2020. 2020 Vision Brief 38. International Food Policy Research Institute.
- CAST (Council for Agricultural Science and Technology). 2000. Relevance of soil testing to agriculture and the environment. Issue Paper no. 15. June 2000. 12p.
- Comas, M. 2009. Vulnerabilidad de las cadenas de suministros, el cambio climático y el desarrollo de estrategias de adaptación: El caso de las cadenas de suministros de alimento de Puerto Rico. Tesis Doctoral. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, Escuela Graduada de Administración de Empresas. 235p.
- Cox, F.R. 1992. Range in soil phosphorus critical levels with time. *Soil Sci Soc. Am. J.* 56:1504-1509.
- DAPR (Departamento de Agricultura de Puerto Rico). 2008. Anuario estadístico. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- DAPR (Departamento de Agricultura de Puerto Rico). 2011. Anuario estadístico. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Dodd, J.R. y A.P. Mallarino. 2005. Soil-test phosphorus and crop grain yield responses to long-term phosphorus fertilization for corn-soybean rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1118-1128.
- Eswaran, H., F. Beinroth, and P. Reich. 1999. Global land resources and population supporting capacity. *Am. J. Alternative Agric.* 14:129-136.
- FAO. 2008. Current world fertilizer trends and outlook to 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome 2008. 34p.
- FAOSTAT. 2011. FAO Statistics: <http://faostat.fao.org/>. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Verified 10 September 2011.
- Fedoroff, N.V., D.S. Battisti, R.N. Beachy, P.J.M. Cooper, D.A. Fischhoff, C.N. Hodges, V.C. Knauf, D. Lobell, B.J. Mazur, D. Molden, M.P. Reynolds, P.C. Ronald, M.W. Rosegrant, P.A. Sanchez, A. Vonshak, y J.K. Zhu. 2010. Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science.* 327:833-834.
- Fixen, P.E., T. Bruulsema, T.L. Jensen, R. Mikkelsen, T.S. Murrell, S.B. Phillips, Q. Rund, y W.M. Stewart. 2010. The fertility of North American Soils, 2010. *Better Crops.* 94:6-8.
- Foley, J.A., R. Defries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty, y P.K. Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science.* 309:570-574.
- Godfray, H.C.J., J.R. Beddington, I.R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J.F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S.M. Thomas, y C. Toulmin. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science.* 327:812-818.
- Grove, T.L., 1979. Nitrogen fertility in Oxisols and Ultisols of the humid tropics. *Cornell International Agriculture Bulletin* 36. Cornell University, Ithaca, New York.

- Huang, W.Y. 2007. Impact of rising natural gas prices on U.S. ammonia supply. A report from the Economic Research Service. USDA-ERS. WRS-0702. 18p.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). 2011. Soil test levels in North America. IPNI, Norcross, GA. Disponible en: <http://info.ipni.net/soiltestsummary>.
- INDEXMUNDI. 2011. Puerto Rico Producto Interno Bruto. Disponible en: [http://www.indexmundi.com/es/puerto\\_rico/producto\\_interno\\_bruto\\_\(pib\).html](http://www.indexmundi.com/es/puerto_rico/producto_interno_bruto_(pib).html). Verificado enero 2012.
- Irizarry, H., y E. Rivera. 1985. Nutrient uptake and dry matter production by intensively managed yams grown in an Ultisol. *J. Agric. Univ. P.R.* 64:1-9.
- Irizarry, H., F. Abruña, J. Rodríguez, y M. Díaz. 1981. Nutrient uptake by intensively managed plantains as related to stage of growth at two locations. *J. Agric. Univ. P.R.* 65:331-345.
- Lathwell, D.J. 1979. Phosphorus response on Oxisols and Ultisols. *New York State College of Agriculture and Life Sciences. Cornell International Agriculture Bulletin* 33. 40p.
- López, T. del M., T.M. Aide, y J.R. Thomlinson, 2001. Urban expansion and the loss of prime agricultural lands in Puerto Rico. *Ambio.* 30:49-54.
- Martinuzzi, S., W.A. Gould, y O.M. Ramos-González. 2006. Land development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico integrating remote sensing and population census data. *Landscape and Urban Planning*. Doi:10.1016/j.landurbplan.2006.02.014.
- Parry, R. 1998. Agricultural phosphorus and water quality. Environmental Protection Agency perspective. *J. Environ. Qual.* 27:258-261.
- Postel, S. 2005. Liquid Assets: The critical need to safeguard freshwater ecosystems. *WorldWatch Paper* 170. State of the World Library, 2005. 78p.
- Rabalais, N.N., R.E. Turner, y W.J. Wiseman. 2001. Hypoxia in the Gulf of Mexico. *J Environ. Qual.* 30(2):320-329.
- Rudel, T.K., M. Pérez-Lugo, H. Zichal. 2000. When fields revert to forest: Development and spontaneous reforestation in post-war Puerto Rico. *Professional Geographer.* 52:386-397.
- Sharpley, A.N., T. Daniel, T. Sims, J. Lemunyon, R. Stevens and R. Parry. 1999. Agricultural phosphorus and eutrophication. USDA-ARS, Publication no. 149, USDA-ARS, Washington, D.C.
- Snyder, C.S. 2008. Nutrients and hypoxia in the Gulf of Mexico – An update on progress, 2008. *Better Crops.* 92:16-22.
- Sotomayor-Ramírez, D. 2010. Conceptos para mejorar recomendaciones de fertilización: Experiencias en Puerto Rico. Simposio Internacional: Importancia del manejo de suelo y fertilización con potasa para el desarrollo agrícola sustentable de América Latina y el Caribe. 10 al 13 de marzo de 2010, San Salvador, El Salvador. International Potash Institute, Asociación Salvadoreña de la Ciencia del Suelo.
- Sotomayor-Ramírez, D., y G. Martínez. 2006. The status of phosphorus and other soil fertility parameters in soils of Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 90:145-157.
- Stewart, W.M., D.W. Dobb, A.E. Johnston, and T.J. Smyth. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agron. J.* 97:1-6.
- Syers, J.K., A.E. Johnston, y D. Curtin. 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 18. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- US Census Bureau. 2011. International database; World population summary. U.S. Census Bureau, Population Division. Available at: <http://www.census.gov/ipc/www/idb/worldpopinfo.php>. Verified 6/7/2011.
- USDA-ERS. 2011. Fertilizer use and price. USDA-Economic Research Service. <http://www.ers.usda.gov/data/fertilizeruse/>. Verified April 2011.
- USDA-NASS (National Statistics Service). 2011a. Puerto Rico's Office for US DAs NASS. Available at: [http://www.nass.usda.gov/Statistics\\_by\\_State/Puerto\\_Rico/index.asp](http://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/Puerto_Rico/index.asp). Verified 13 Sept. 2011.
- USDA-NASS (National Statistics Service) 2011b. The Census of Agriculture. 2007 Census of Agriculture. Available at: [http://www.agcensus.usda.gov/publications/2007/Full\\_Report/Census\\_by\\_State/Puerto\\_Rico/index.asp](http://www.agcensus.usda.gov/publications/2007/Full_Report/Census_by_State/Puerto_Rico/index.asp). Verified 13 Sept. 2011.
- Vitousek, P.M., R. Naylor, T. Crews, M.B David, L.E. Drinkwater, E. Holland, P.J. Johnes, J. Katzenberger, L.A. Martinelli, P.A. Matson, G. Nziguheba, D. Ojima, C.A. Palm, G.P. Robertson, P.A. Sanchez, A.R. Townsend, y F.S. Zhang. 2009. Nutrient imbalances in agricultural development. *Science.* 324:1519-1520.
- Vicente-Chandler, J., F. Abruña, R. Caro-Costas, y F. Silva. 1983. Producción intensiva de las forrajeras en Puerto Rico. UPRM-EEA, Río Piedras, Puerto Rico. ○