



LOS ARROZALES DEL ECUADOR: ARMADURA HISTÓRICA DE LA REVOLUCIÓN AGRÍCOLA Y TRANSFORMACIÓN DE LA MATRIZ PRODUCTIVA



REDU
RED ECUATORIANA DE
UNIVERSIDADES Y ESCUELAS
POLITÉCNICAS PARA
INVESTIGACIÓN Y
POSGRADOS

Dr. Mariano Montaña

2013-10-23

Congreso 2013

**La Universidad y su Rol
en la Transformación Social y
Productiva**

Exposición:

1. Presentación



Instituto de Acuicultura de Torre La Sal (España), Health Center of Providence (USA) y Fisheries Research Station (Bélgica).

Más tarde, el Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA) del Ecuador, en el año 2000, aprobó la ejecución del proyecto “Aplicación de la simbiosis diazotrófica entre *Azolla* y *Anabaena* como abono verde para el cultivo del arroz en el litoral ecuatoriano” (Figura 2). De esta forma logramos domesticar el *Azolla* y devolverla al arrozal, comprobando su ventajosa posición respecto a los fertilizantes químicos artificiales. Con esta base, en el 2008, la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT) auspició el proyecto “Desarrollo del recurso *Azolla Anabaena* y aplicaciones en los sectores agrícola, pecuario, y acuícola”, permitiendo expandir la aplicación del *Azolla* tanto en el horizonte geográfico como agropecuario. Finalmente, en el 2009, el Banco Mundial patrocinó el proyecto “Converting rice fields into green fertilizer factories”, encontrando

En el Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales (DCQA) de la ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral) ha existido constante motivación dirigida a generar conocimientos que reproduzcan bienes y servicios útiles a la sociedad. Por el año 1986, con un excepcional líder, Edgar Arellano, comenzamos a buscar con insistencia suplementos proteicos vernáculos de bajo costo para la acuicultura del camarón. En este intento, la Primera Expedición Antártica del Ecuador (1987-88) activó la aspiración de investigar cianobacterias. Con este propósito y debido a mi desempeño en el Proyecto de Manejo de Recursos Costeros, pude efectuar un recorrido exploratorio (Figura 1) por las universidades de Rhode Island (USA), Gante (Bélgica), Southwestern Louisiana (USA), Campeche (México), Jaime I (España), el



que el *Azolla-Anabaena* representa el nuevo paradigma del futuro del arroz. En esta fase de avance contamos adicionalmente con el excepcional soporte de las Universidades españolas, Autónoma de Madrid, Jaume I de Castellón, Miguel Hernández de Elche y la Universidad de Lisboa de Portugal.

La agricultura (Figura 3) enfrenta en la actualidad enormes desafíos, como asegurar alimento para la creciente población mundial, reducir los impactos al medio ambiente y contribuir al desarrollo económico y social (Searchinger et al., 2013). La primera función de estas se ha logrado sin duda con la aparición de los fertilizantes nitrogenados

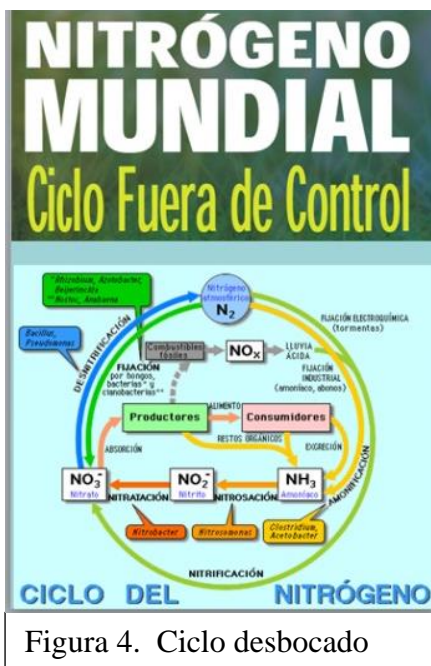
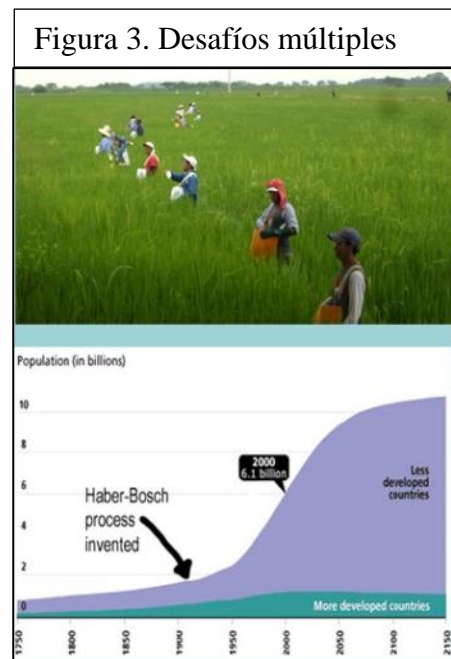


Figura 4. Ciclo desbocado

artificiales, en base del proceso Haber-Bosch, que está cumpliendo 100 años de invención.



Por otro lado el aumento de la dependencia en la agricultura de los fertilizantes nitrogenados, que representa la mayor interferencia humana en el ciclo biosférico del nitrógeno (Figura 4), está provocando una costosa adicción a este elemento (Pearce, 2009), disparidades en la distribución mundial de alimentos (Smil, 2002), así como un riesgo poco apreciado pero cada vez mayor de la salud pública, ya sea de manera directa o a través de efectos ecológicos indirectos (Townsend et al., 2003).

Aun cuando se han manifestado específicos señalamientos del impacto a la salud causado por el nitrógeno proveniente de los fertilizantes artificiales (Ogburn, 2010; Camargo y Alonso, 2007; Sapiña, 2006; Townsend et al., 2003; Galloway et al., 2003; Nierenberg, 2001), cabe considerar además que por información del 2008, ya un 80 % del nitrógeno en promedio de la proteína humana mundial se deriva del proceso original de Haber-Bosch (Howarth, 2008).

Se sostiene actualmente con certeza que el cáncer proviene de una mala expresión de al menos cuatro grupos de genes, cuyo desequilibrio inicia, promueve y propaga esta enfermedad (Paz y Miño, 2010). Por otro lado, desde hace poco se publica cada vez más sobre el tema de las proteínas mal plegadas (Moreau and King, 2012, Chiti and Dobson, 2006; Lee, 2005; Dobson, 2003; Selkoe, 2003; Smith, 2003; Huang et al., 2002; Kaufman, 2002), llegándose a afirmar de manera expresa que distintas enfermedades incluyendo Alzheimer, Fibrosis cística, Mal de las vacas locas, una

forma hereditaria de enfisema y aun muchos cánceres, enfermedades todas ellas aparentemente no relacionadas resultan de las proteínas incorrectamente plegadas (Thomasson, 2009). Asimismo estudios recientes indican que las enfermedades neurodegenerativas se caracterizan por la agregación de proteínas mal plegadas (Watanabe, *et al.*, 2013. Figura 5).

Los genes cimentan su estructura en el nitrógeno; las proteínas están hechas esencialmente de nitrógeno. La mala expresión de aquellas y el mal plegamiento de estas, en hipótesis reconocida de nuestro trabajo (Bujak, 2013), parte de una perturbación cuántica del nitrógeno provocada por el estresante impacto del proceso Haber-Bosch. Por los descubrimientos del CERN (Ynduráin, 2001) se establece que el arreglo inseparable del electrón y fotón le comunica memoria a la materia, sugiriendo que el nitrógeno en nuestro cuerpo reproduce el estrés que pasó durante ese proceso.


Un error en la conformación de la proteína puede conducir a la enfermedad. ¿Cuáles son las causas genéticas y moleculares de las proteínas formadas incorrectamente?
Protein Misfolding and Degenerative Diseases
 By: Enrique Reynaud, Ph.D. (Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México) © 2010 Nature Education

Characterization of the Protein Unfolding Processes Induced by Urea and Temperature
 Alessandro Guerini Rocco,* Luca Mollica,† Piero Ricchiuto,* António M. Baptista,‡ Elisabetta Gianazza,* and Ivano Eberini*


Intersection of the unfolded protein response and hepatic lipid metabolism
 Ann-Hwee Lee · Laurie H. Glimcher

SUMMARY OF THE HORIZON SYMPOSIUM ON 'PROTEIN FOLDING AND DISEASE'

Figura 5. Proteínas mal plegadas



Transformación de la Matriz Productiva
 Revolución productiva a través del conocimiento y el talento humano



Secretaría Nacional de **Planificación y Desarrollo**

Figura 6. La matriz productiva

La matriz productiva en concepto de SENPLADES (2012) es el conjunto de productos, procesos productivos y relaciones sociales resultantes de esos procesos. El patrón de especialización de la economía ecuatoriana ha sido primario-exportador-extractivista y estamos obligados a transformarlo a uno que privilegie la producción diversificada, ecoeficiente y con mayor valor agregado, así como los servicios basados en la economía del conocimiento y la biodiversidad. Se trata de aprovechar el conocimiento y el talento humano (Figura 6) con inclusión de nuevos actores sobre la base de una adecuada redistribución y equidad, asegurando de esta manera el Buen Vivir.

Para la transformación de la matriz productiva del Ecuador el Gobierno ha identificado 14 sectores productivos y 5 industrias estratégicas (Tablas 1 y 2). En ellos, aunque adelantándose a la parte central de esta exposición, la tribiosis *Azolla-Anabaea*-arroz va a surtir principalmente de los productos: 1) Alimentos frescos y procesados, 2) Biotecnología (bioquímica y biomedicina), 5) Industria farmacéutica y 9) Servicios ambientales.

Tabla 1. Sectores productivos

Sector	Productos
BIENES	1) Alimentos frescos y procesados 2) Biotecnología (bioquímica y biomedicina) 3) Confecciones y calzado 4) Energías renovables 5) Industria farmacéutica 6) Metalmecánica 7) Petroquímica 8) Productos forestales de madera
SERVICIOS	9) Servicios ambientales 10) Tecnología (software, hardware y servicios informáticos) 11) Vehículos, automotores, carrocerías y partes 12) Construcción 13) Transporte y logística 14) Turismo

Tabla 2. Industrias estratégicas

Industria	Posibles bienes o servicios	Proyectos
1) Refinería	Metano, butano, propano, gasolina, queroseno, gasoil	Proyecto Refinería del Pacífico
2) Astillero	Construcción y reparación de barcos, servicios asociados	Proyecto de implementación de astillero en Posorja
3) Petroquímica	Urea, pesticidas, herbicidas, fertilizantes, foliares, plásticos, fibras sintéticas, resinas	Estudios para la producción de urea y fertilizantes nitrogenados Planta Petroquímica Básica
5) Siderúrgica	Planos, largos	Mapeo geológico a nivel nacional a escala 1:100.000 y 1:50.000 para las zonas de mayor potencial geológico minero.

Por otro lado, en el Ecuador y el mundo no tenemos que utilizar urea y fertilizantes nitrogenados artificiales en la agricultura, si así lo decidimos. Los arrozales, tienen capacidad de suministrar suficiente cantidad de nitrógeno para cubrir las necesidades agrícolas y ganaderas. En este sentido, el Ecuador que orgullosamente marca nuevos paradigmas a nivel mundial está históricamente llamado a implantar en los arrozales una industria estratégica postpetrolera, imprimiendo así una profunda transformación de nuestra matriz productiva.

No estamos solos en esta transformación. Desde inicios de este año Bután (The Guardian, 2013, Figura 7) ara un solitario surco como primer país del mundo totalmente sin ecológico. Rehuendo de

Bhutan set to plough lone furrow as world's first wholly organic country. By shunning all but organic farming techniques, the Himalayan state will cement its status as a paradigm of sustainability.

<http://www.guardian.co.uk/global-development/poverty-matters/2013/feb/11/bhutan-first-wholly-organic-country>



Figura 7. Bután

todo, el estado del Himalaya consolidará su estatus como un paradigma de la sostenibilidad.

El nitrógeno puede convertirse en un nuevo boom económico y sostenible del Ecuador. El nitrógeno forma parte del 3 % de la agricultura, la ganadería, la flora, la fauna y la población del país, articulando estos sectores a los recursos naturales, al medioambiente y a la salud. El Ecuador puede constituirse en referente mundial del nitrógeno, como Chile es del cobre y Sudáfrica del oro. El nitrógeno es elemento enlazante de las actividades humanas y de la naturaleza. El nitrógeno de la atmósfera que se fija biológicamente a través del superorganismo *Azolla* (Carrapiço, 2010) a los arrozales ecuatorianos va a suscitar nuevos paradigmas en la cultura y buen vivir del país.



Figura 8. Nitrógeno

Azolla es un diminuto helecho acuático flotante de pequeñas hojas alternadas y raíces simples que cuelgan dentro del agua. *Anabaena* es una bacteria microscópica que se aloja en forma de rosario en las hojas del *Azolla* y fija nitrógeno del aire. *Azolla* y *Anabaena* desarrollan una simbiosis por la cual el primero brinda soporte y la segunda fertilización. El arrozal constituye el ecosistema más apropiado para el desarrollo del *Azolla*. Por esta razón hemos acuñado el término TRIBIOSIS (Figura 8) para determinar al conjunto *Azolla*, *Anabaena* y arrozal, en donde se asentaría la industria del nitrógeno, que por otro lado representa un negocio de conocimiento.

Azolla es un diminuto helecho acuático flotante de pequeñas hojas alternadas y raíces simples que cuelgan dentro del agua. *Anabaena* es una bacteria microscópica que se aloja en forma de rosario en las hojas del *Azolla* y fija nitrógeno del aire. *Azolla* y *Anabaena* desarrollan una simbiosis por la cual el primero brinda soporte y la segunda fertilización. El arrozal constituye el ecosistema más apropiado para el desarrollo del *Azolla*. Por esta razón hemos acuñado el término TRIBIOSIS (Figura 8) para determinar al conjunto *Azolla*, *Anabaena* y arrozal, en donde se asentaría la industria del nitrógeno, que por otro lado representa un negocio de conocimiento.

El nitrógeno incorporado al *Anabaena* evoluciona a través de reacciones bioquímicas a amonio (NH_4^+), a nitrito (NO_2^-) y finalmente a nitrato (NO_3^-), especies químicas que constituyen el exclusivo sustrato de la fertilización agrícola. La elevada concentración natural de nitrógeno del *Azolla* a más del emplazamiento geográfico de los arrozales del Ecosistema Guayas, le convierte a este bioabono en la alternativa tecnológica, económica y sostenible de la agricultura. De otro lado el sistema tribiótico a más de producir fertilizante criollo y sostenible, va a proveer piensos alimenticios para la ganadería y limpiar el agua asociada, lo que significará mejoramiento ambiental y soberanía alimentaria (Figura 9).

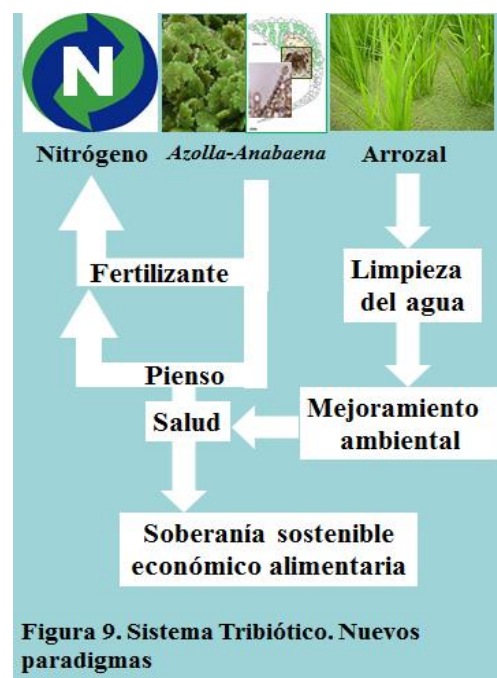
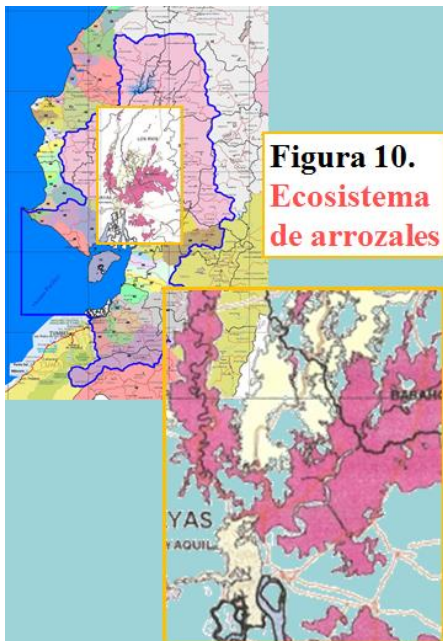


Figura 9. Sistema Tribiótico. Nuevos paradigmas

2. Trabajo y resultados



La superficie arrocera del Ecuador es de 400 000 ha. Estos arrozales, en su mayor parte, el 94 %, se encuentran agrupados con ventaja en los tramos finales de los ríos Daule y Babahoyo (Figura 10).

Los arrozales del Ecuador están destinados a constituir (a) Fábricas de bioabono para la agricultura, (b) Fuente de proteína nutricional, (c) Sistema de depuración hídrica, (d) Elemento de mejora de la acuicultura y de la pesca, (e) Factor de mejoramiento del suelo, (f) Palanca de regeneración de la microbiota natural, (g) Agente de mitigación del cambio climático, (h) Fuente de la salud nacional, (i) Cimiento de prosperidad económica, alcanzando un valor agregado económico significativo (Montaño, 2013).

En números globales el consumo y producción de nitrógeno del Ecuador y mundial es respectivamente de 0.39 y 100 millones de toneladas. Por otro lado el potencial de nitrógeno de los arrozales o la oferta tribiótica alcanza asimismo 0.49 y 219 millones de toneladas. En otras palabras los arrozales pueden abastecer con holgura las necesidades de nitrógeno en la agricultura y la ganadería.

Tradicionalmente se ha pensado que los arrozales son sencillamente campos para producir arroz, un componente clave de la soberanía alimentaria. Pero de hoy en adelante, los arrozales aparte de generar arroz con ventajas de cantidad y calidad, van a generar un material biotecnológico que puede abastecer holgadamente de fertilizante, principalmente nitrogenado, tanto al arroz como a todo el sistema agrícola nacional.

Cualquier cultivo fuera del arroz, dígame banano, maíz, café, cacao, soya, papa, hortalizas o pastos puede ser fertilizado con *Azolla* con ventajas evidentes. El *Azolla* es también fuente proteica para alimentación ganadera vacuna, avícola, porcina y demás (Figura 11). En ese campo se está observando buena palatabilidad, mejora del sistema inmunológico, disminución del período de engorde, entre otras ventajas.

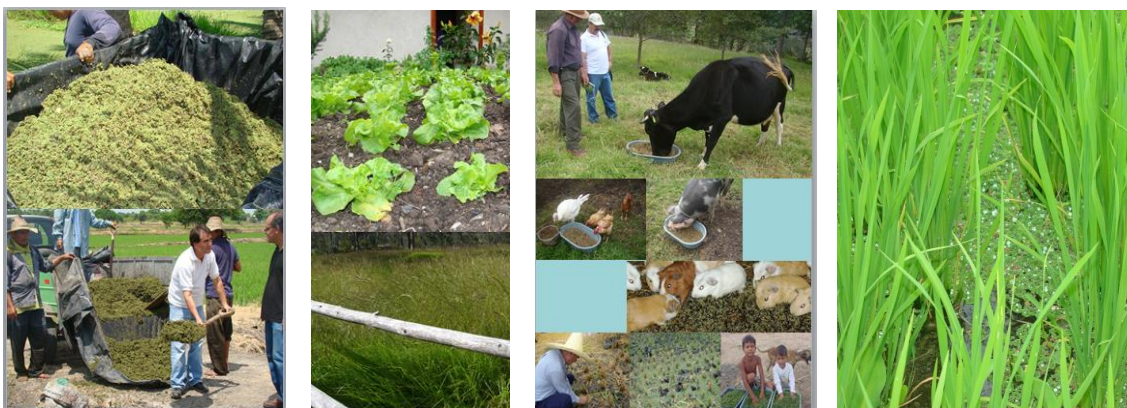


Figura 11. Azolla en múltiples aplicaciones



2010
VII Edición Piensa Verde

Gustavo Molina (izquierda)
"Aplicación del recurso *Azolla-Anabaena* como fuente de nitrógeno verde en los arrozales del Ecuador"
Andrés Román (derecha)
"Disminución de las emisiones de CO₂ por medio de la carbonización de la panca de arroz"



2011
VIII Edición Innova Verde

Maria Rosa Reyes
"Remoción de mercurio de agua mediante *Azolla-Anabaena*"

Figura 12. Premios Bayer

La literatura técnica señala que el sistema simbiótico *Azolla-Anabaena* es capaz de depurar las aguas de contaminantes tóxicos. A nivel piloto hemos experimentado con éxito la limpieza de mercurio. Por esto y otros trabajos hemos merecido reconocimientos de Bayer en 2010 y 2011 (Figura 12). Con estas razones apostamos a que el Río Guayas, el principal sistema hídrico del país, pueda ser depurado de manera económica mediante el sistema tribiótico. Otros beneficios que se añadirán a este resultado es la mejora de la acuicultura del estuario del río Guayas y estimulación de las pesquerías del Golfo de Guayaquil.

Para considerar la salud deberíamos centrarnos en el cuerpo humano y reconocer que se compone principalmente de oxígeno (65 %), carbono (18 %) hidrógeno (10 %), nitrógeno (3 %), y otros elementos (4 %). Todos estos elementos son naturales porque se generan de procesos naturales, con excepción de nitrógeno que es artificial por la vía de los fertilizantes industriales. Es posible que el nitrógeno, debido al proceso de fabricación de la urea, esté erosionando la salud de esta civilización, como ya se ha señalado. El camino de recuperación de la salud tiene por lo tanto una fuente manifiesta.

Queda en las manos y en la voluntad de nosotros, de ustedes, los representantes más elevados del saber del Ecuador, activar esta vía, soberana, sostenible, científica y nueva de transformación.

Gracias.

3. Bibliografía

Bujak Jonathan, 2013. Comunicación personal. *Azolla* BioSystems Ltd-The *Azolla* Foundation

Camargo y Alonso, 2007. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio Climático, *Ecosistemas* 16 (2). Mayo 2007. Asociación Española de Ecología Terrestre.

Carrapiço Francisco, 2010. AZOLLA AS A SUPERORGANISM. ITS IMPLICATION IN SYMBIOTIC STUDIES, en J. Seckbach and M. Grube (eds.), Symbioses and Stress: Joint Ventures in Biology, Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology 17, 225–241, DOI 10.1007/978-90-481-9449-0_11, © Springer Science+Business Media B.V. 2010

Chiti Fabrizio and Christopher M. Dobson, 2006. Protein Misfolding, Functional Amyloid, and Human Disease, *The Annual Review of Biochemistry*, doi: 10.1146/annurev.biochem.75.101304.123901. Available online at biochem.annualreviews.org

Dobson Christopher M., 2003. Protein folding and misfolding, *Nature* 426, 884-890 (18 December 2003) doi:10.1038/nature02261

Galloway James N., John D . Aber, Jan Willem Erisman, Sybil P. Seitzinger, Robert W. Howarth, Ellis B. Cowling, and B. Jackc Osby, 2003. The Nitrogen Cascade, *BioScience*, Vol. 53, No. 4 (Apr., 2003), pp. 341-356, Available online at <http://www.jstor.org/stable/1314367>

Howarth Robert W., 2008. Coastal nitrogen pollution: A review of sources and trends globally and regionally, Elsevier, Available online at [http://www.cs.cornell.edu/Courses/cs6702/2010sp/PAPERS%5CHowarth.2008.Harmful%20Algae\(2\).pdf](http://www.cs.cornell.edu/Courses/cs6702/2010sp/PAPERS%5CHowarth.2008.Harmful%20Algae(2).pdf)

Huang Shihai, Kevin S. Ratliff, and Andreas Matouschek, 2002. Protein unfolding by mitochondrial membrane potential, Nature Publishing Group http://mcb.berkeley.edu/labs/krantz/pdf/Huang&Matouschek-unfolding_deltaPsi-NSB-2002.pdf

Kaufman Randal J., 2002. Orchestrating the unfolded protein response in health and disease, *J. Clin. Invest.* 110:1389–1398 (2002). doi:10.1172/JCI200216886

Lee Cheolju and Myeong-Hee Yu, 2005. Protein Folding and Diseases, *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, Vol. 38, No. 3, May 2005, pp. 275-280

Montaño Mariano, 2013. Azolla: A New Paradigm of the Future of Rice, Banco Mundial, Washington. Available online at <http://blogs.worldbank.org/dmblog/azolla-a-new-paradigm-of-the-futureof-rice>

Moreau, K.L. and King, J.A., 2012. [Protein misfolding and aggregation in cataract disease and prospects for prevention.](#) *Trends in Mol. Med.*, May 18(5), 273-282. Epub 2012 Apr 19.

Nierenberg Danielle, 2001. Fertilidad tóxica, *World Watch*, Available online at <http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/nitro.pdf>

Ogburn Stephanie, 2010. The dark side of nitrogen, Available online at www.grist.org/article/2009-11-11-the-dark-side-of-nitrogen .

Paz y Miño César, 2010. Luchando contra el cáncer, El Telégrafo, Guayaquil.

Pearce Fred, 2009. The Nitrogen Fix: Breaking a Costly Addiction, YALE ENVIRONMENT 360, Available online at http://e360.yale.edu/author/Fred_Pearce/19/

Sapiña Fernando, 2006. ¿Un futuro sostenible? El cambio global visto por un científico preocupado. PUV Publicaciones, Valencia-España.

Searchinger Tim, Craig Hanson, Richard Waite, Sarah Harper, George Leeson, and Brian Lipinski, 2013. “Achieving Replacement Level Fertility.” Working Paper, Installment 3 of Creating a Sustainable Food Future. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at <http://www.worldresourcesreport.org>.

Senplades, 2012. Transformación de la matriz productiva. Revolución productiva a través del conocimiento y el talento humano, Ediecuatorial, Quito.

Smil Vaclav, 2002. Nitrogen and Food Production: Proteins for Human Diets, Ambio Vol. 31 No. 2, March 2002.

Smith Adam, 2003. Introduction Protein misfolding, Nature 426, 883 (18 December 2003) | doi:10.1038/426883a

Thomasson W.A., 2006. Unraveling the Mystery of Protein Folding, Available online at <http://www.faseb.org/portals/0/pdfs/opa/protfold.pdf>

Townsend Alan R, Robert W Howarth, Fakhri A Bazzaz, Mary S Booth, Cory C Cleveland, Sharon K Collinge, Andrew P Dobson, Paul R Epstein, Elisabeth A Holland, Dennis R Keeney, Michael A Mallin, Christine A Rogers, Peter Wayne, and Amir H Wolfe, 2003. Human health effects of a changing global nitrogen cycle, The Ecological Society of America, Available online at www.frontiersinecology.org.

Watanabe, S., Kaneko, K. & Yamanaka, K., 2013. Accelerated disease onset with stabilized familial Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS)-linked mutant TDP-43 proteins. The Journal of Biological Chemistry 288, 3641–3654

Ynduráin Francisco José, 2001. Electrones, neutrinos y quarks. La física de partículas ante el nuevo milenio, Editorial Crítica, Colección Drakontos. Barcelona.