Calidad de agua en sistemas acuapónicos

Proyecto: “Using Distance Education to Enhance Aquaponic Production in Puerto Rico’s Model Forest”

Por: Patrick Reyes-Pesaresi, Ph.D.

NIFA Award#:2021-70004-35095

Objetivos de la lección:

- Presentar los parámetros fisicoquímicos más importantes y concentraciones óptimas para los acuapónicos.
- Presentar la importancia del oxígeno disuelto para los acuapónicos.
- Cómo identificar un problema con el oxígeno disuelto y proceder ante la emergencia.
- Explicar la relación del pH con el equilibrio entre amoníaco y amonio.

Calidad de agua en los acuapónicos

EDPAC

Parámetros fisicoquímicos:

Son de vital importancia debido a que en el medio acuático se dan cambios (físicos, químicos y biológicos) que afectan la reproducción, alimentación y crecimiento de peces, así como el crecimiento y fructificación de plantas en sistemas hidropónicos.

EDPAC

Temperatura

La temperatura afecta los siguientes parámetros:

- procesos fisiológicos de los peces (sangre fría*)
- el metabolismo bacteriano y el funcionamiento del biofiltro (nitrificación)
  - (NH_3) amoníaco-amonio (NH_4^+)
  - nitrito (NO_2^-)
  - nitrato (NO_3^-)
- solubilidad de gases en el agua (O_2, NH_3, CO_2, H_2S y CH_4)
- pH
- influyen en el equilibrio químico de sustancias disueltas
- alcalinidad total
- dureza total

EDPAC

Temperaturas óptimas

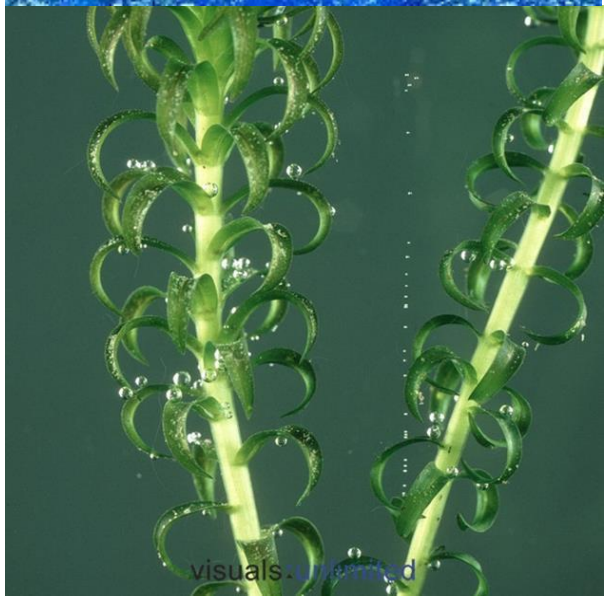
- Las temperaturas óptimas para peces de aguas cálidas como las tilapia y bacterias nitrificantes se encuentra entre 25°C-30°C.

Estamos bien en eso.

- Mientras que la mayoría de las plantas prefiere temperaturas un poco más bajas entre 20-25°C (Resh, 2004).
  - En el verano es un poco altas para algunos cultivos ej. lechugas

Oxígeno disuelto

- Parámetro crítico para nosotros:
- Muchas formas de suplirlo:
  difusión directa (atmósfera)
  difusión facilitada: burbujas o crear turbulencia en el agua
  plantas acuáticas (fotosíntesis)*
- Necesario para:
  - peces, plantas y bacterias nitrificantes
- Concentración recomendada acuapónicos > 5 mg/l.



EDPAC

Oxígeno disuelto

La disponibilidad de oxígeno disuelto es controlada por:

- temperatura
- presión atmosférica
- altura sobre el nivel del mar
- sólidos disueltos (salinidad)
- densidad de siembra (peces)
- tasa de alimentación
- sistema de aireación que se tiene
- filtración biológica
- materia orgánica particulada y disuelta

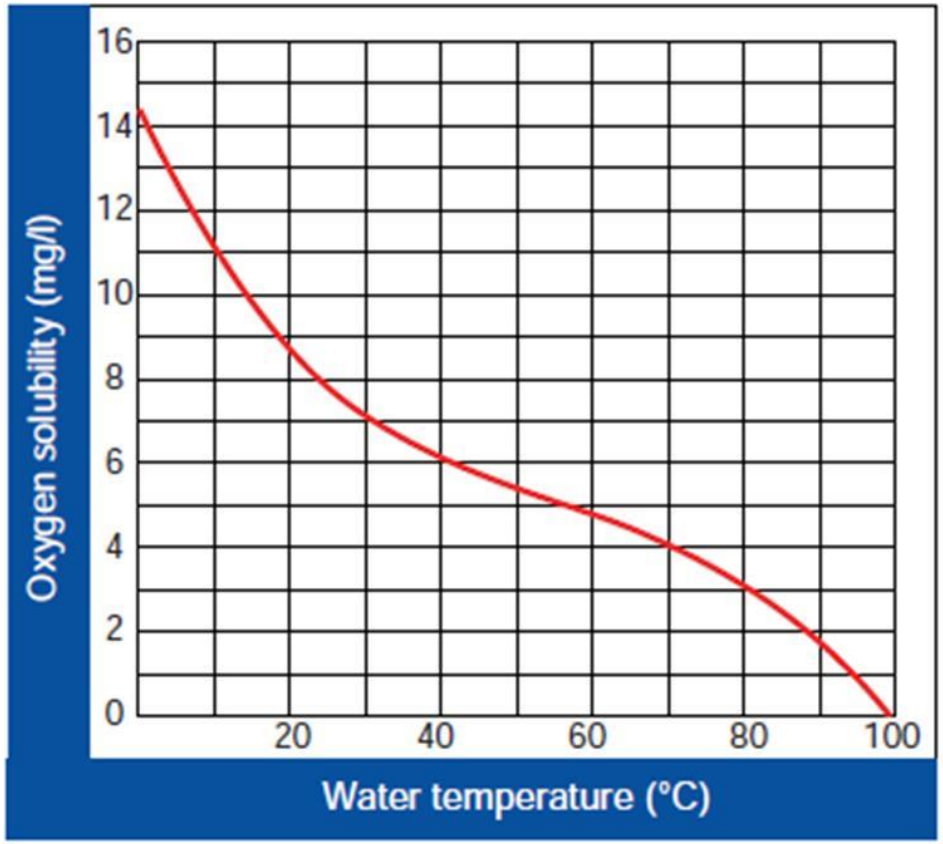
EDPAC

Saturación de O_2 en sistemas dulce acuícola a nivel del mar

Table 1. Oxygen saturation levels in fresh water at sea level atmospheric pressure.

Temperature °C	Temperature °F	DO mg/L (ppm)	Temperature °C	Temperature °F	DO mg/L (ppm)
10	50.0	10.92	24	75.2	8.25
12	53.6	10.43	26	78.8	7.99
14	57.2	9.98	28	82.4	7.75
16	60.8	9.56	30	86.0	7.53
18	64.4	9.18	32	89.6	7.32
20	68.0	8.84	34	93.2	7.13
22	71.6	8.53	36	96.8	6.95

Masser et al., 1999



Oxígeno disuelto (OD)

En aguas cálidas (PR) los organismos se alimentan y crecen mejor y más rápidamente, se recomienda concentraciones de OD sobre los 5.0 mg/l ó 5 ppm.

Ej. La atmósfera contiene un 21% v/v de oxígeno mientras en el ambiente acuático la concentración recomendada es de 5 mg/l equivale a **0.0005 %.**

Esto es una ventaja para el uso del sifón de campana.

EDPAC

Requisitos de oxígeno

Metabolismo/respiración	0. 114kg O_2/0.454 kg alimento
Bacterias nitrificantes	0. 272kg O_2/0.454 kg alimento
	0.386 kg O_2 /0.454 kg alimento

Regla general: 1.0 kg de alimento ≈ cerca de 1.0 kg de oxígeno

Timmons y Ebeling, 2007

EDPAC

Situación crítica

- La causa más común de mortandades de peces es debido a altas concentraciones de amoníaco (> 1 ppm) y bajas concentraciones de oxígeno disuelto (< 3 ppm) y altas concentraciones de CO_2 y/o una combinación de todas.

Evidencia de problemas

¿Qué se debe hacer?

Eliminar peces muertos.

No debemos alimentar los peces bajo ninguna circunstancia.

Aumentar la circulación.

Remover la materia sólida acumulada en el fondo del tanque (excrementos y alimento no consumido).

Proveer oxigenación suplementaria inmediata.

Hacer un cambio parcial de agua con agua a la misma temperatura y con una química de agua similar con agua saturada de oxígeno*.

Dióxido de carbono (CO_2)

- Gas muy soluble en agua aún su concentración es baja en la atmósfera (>410 ppm).
- Concentración recomendada en cultivos de tilapias 15-20 mg/l.
- En un sistema acuícola es producido por la respiración de los peces, la descomposición microbiana de la materia orgánica, por las bacterias nitrificantes y raíces de plantas.
- En altas concentraciones interfiere con el intercambio de gases (respiración) en las branquias de los peces.

Sólidos Totales Disueltos (“TDS”)

- Encontramos diferentes formas de expresar la concentración de sólidos disueltos en agua.
  - TDS
  - EC

TDS (mg/l) = 0.5 x EC (dS/m or mmho/cm) o = 0.5 * 1000 x EC (mS/cm)

USEFUL CONVERSIONS AMONG ELECTRICAL CONDUCTIVTY UNITS

	per cm			per m		
Common Salt Solutions	mS* cm^{-1}	mmho** cm^{-1}	µS cm^{-1}	S m^{-1}	dS m^{-1}	mS m^{-1}
Tap Water	0.35	0.35	350	0.035	0.35	35
Optimal Nutrient Solution	1.0	1.0	1000	0.1	1.0	100

*S = Siemen, the SI unit for electrical conductance.

**mho = ohm spelled backward, an older unit of electrical conductance.

**mmho = millimho = 1 x 10^{-3} mhos

EDPAC

Metros de conductividad y TDS

- Existen en el mercado una gran cantidad de metros de conductividad.
- Muchos de estos instrumentos pueden medir la conductividad eléctrica EC o SDT y temperatura.

- Debemos recordar que estos instrumentos nos dicen la cantidad de sólidos disueltos (sales) que tiene el sistema, pero no nos dice cuáles son esos sólidos que están disueltos.

Nutrientes en el agua

- Comparativa entre acuapónicos e hidropónicos en la concentración de nutrientes.

Nutrient	Rakocy (mg/l)	Resh (mg/l)
TDS	62-779	1200
Ca	10-82	150
Mg	0.7-12.9	50
K	0.3-192	150
NO_3-N	0.4-82	115
PO_4-P	0.4-15	50
SO_4-S	0-23	113
Fe	0.03-4.3	5.0
Mn	0.01-0.19	0.5
Cu	0.01-0.11	0.3
Zn	0.11-0.8	0.05
B	0.01-0.23	0.5
MO	0-0.17	0.05

pH recomendado

- Para la producción hidropónica el pH debe ser ligeramente ácido pH entre 5.5 – 6.5 (Hochmuth, 2001) o entre pH 5.8 – 6.4 (Resh, 2004), esto es para evitar la precipitación de algunos nutrientes como Fe, Mn, P, Ca y Mg en sales insoluble cuando el pH es mayor de 7.

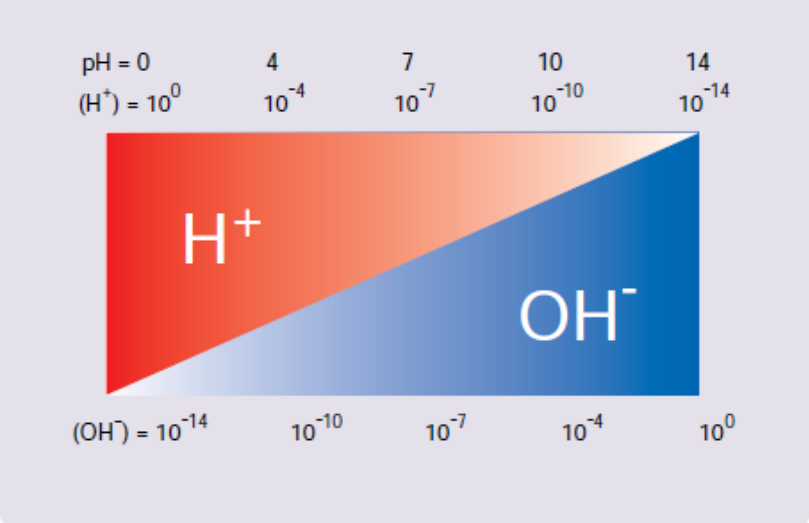
- Si los nutrientes no son solubles no están disponibles para las plantas.

- Es por eso que tenemos el compromiso de un pH de 7.

EDPAC

pH

- Actividad de iones de hidrógeno (0-14)
- Influye a otros parámetros químicos.
  - añadir base
  - suplir ciertos nutrientes (Ca^{+2}, K^{+} Fe^{+2})
- Compromiso en acuapónicos (6.8 - 7.0)
    - **tilapias 6.5-8.5**
    - **bacterias nitrificantes 7.5-9.0**
    - **plantas 5.5-6.5**

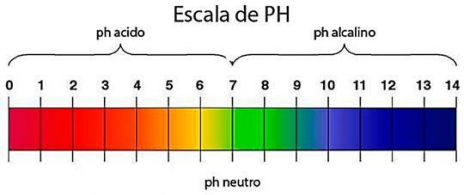


EDPAC

pH adecuado para la nitrificación

- En un sistema de recirculación acuícola si mantenemos un pH óptimo para las bacterias nitrificantes (pH entre 7.5-9.0) (Hochheimer and Wheaton, 1998), la absorción de nutrientes por las plantas no va a ser óptima y tendremos un rendimiento bajo en el cultivo de plantas.

pH



En un sistema de recirculación (acuapónicos) el pH del sistema disminuye debido a:

- CO_2 se produce por la respiración de los peces.
- Se libera por la descomposición de la materia orgánica por bacterias heterotróficas (CO_2).
- Principalmente por la filtración biológica (nitrificación) contribuye a reducir el pH por la producción de ácido nítrico.

EDPAC

Mantener el pH entre 6.8-7.0

Ácido fosfórico H_3PO_4 para reducir el pH; el ion fosfato sirve de nutriente para las plantas.

Para aumentar el pH añadir OH^- usar bases $Ca(OH)_2$, CaO y KOH o sus carbonatos $CaCO_3$ y K_2CO_3.

Esto permite aumentar el pH adecuado cuando neutralizamos el ácido nítrico producidos durante la nitrificación.

Recuerden el Ca^{+2} y el K^+ sirven de nutrientes para las plantas.

EDPAC

Para cultivo orgánico

- Hidróxido de calcio **$Ca(OH)_2$** ú óxido de calcio **CaO**
- Hidróxido de potasio **KOH***
  - **Alternativa material vegetativo quemado**
- Quelatos de hierro **FeEDDHA y FEDPTA***
- Preservativo en el alimento peces*

Estas sustancias si son utilizadas en la producción el cosecho no puede ser certificado como cultivo orgánico.

Sales de sodio

- Nunca utilice sales básicas de sodio para ajustar el pH (aumentar en pH) como:
  - hidróxido de sodio
  - bicarbonato de sodio

- El sodio en altas concentraciones es fitotóxico.

Hierro (Fe^{+2})

- Afecta la dureza y en altas concentraciones puede afectar a los peces.

- Nutriente esencial para plantas y animales.

- Pueden ocurrir deficiencias severas y debe estar disponible,

- El hierro se suministra en forma de quelatos de hierro: 2 mg/l.

  FeEDDHA y **FeDPTA**

EDPAC

Amoníaco (NH_3)

¿De dónde viene el amoníaco?

Repasemos:

Viene del rompimiento de aminoácidos, ácidos nucleicos (bases nitrogenadas) y trifosfato de adenosina (ATP) y azúcares aminadas.

- Viene directamente del alimento.

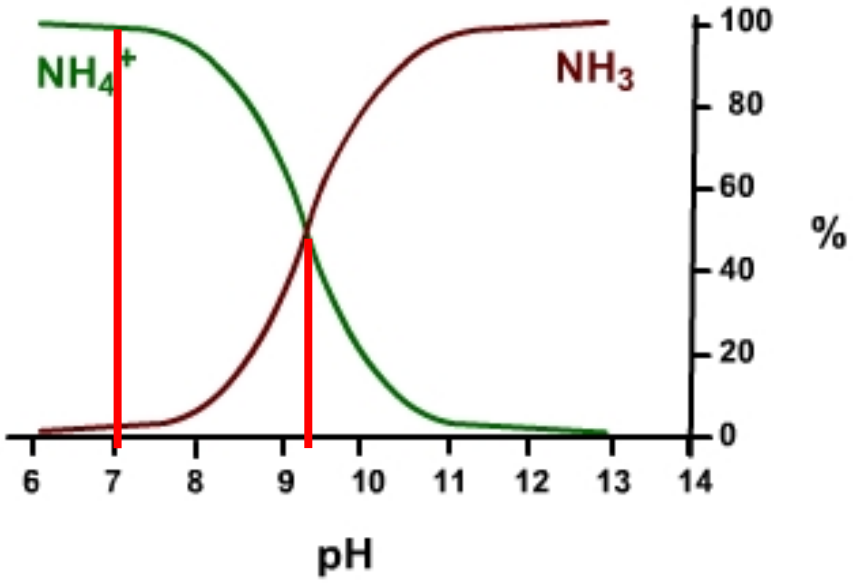
pH y equilibrio químico

Equilibrio químico:

$$NH_4^+ \overset{pH}{\rightleftharpoons} NH_3 + H^+$$

amonio (ac) amoníaco (gas)

menos tóxico muy tóxico



EDPAC

Ejemplo de equilibrio químico de amoníaco

A 28°C, el porcentaje de amoníaco (NH_3) aumenta por un factor de 10 por cada unidad de aumento en pH (Francis-Floyd et al., 2009).

Ejemplo: $NH_3 + H^+ \overset{pH}{\rightleftharpoons} NH_4^+{}_{(ac)} + OH^-{}_{(ac)} \rightleftharpoons NH_4OH$

pH 6.5 → 0.2 %,

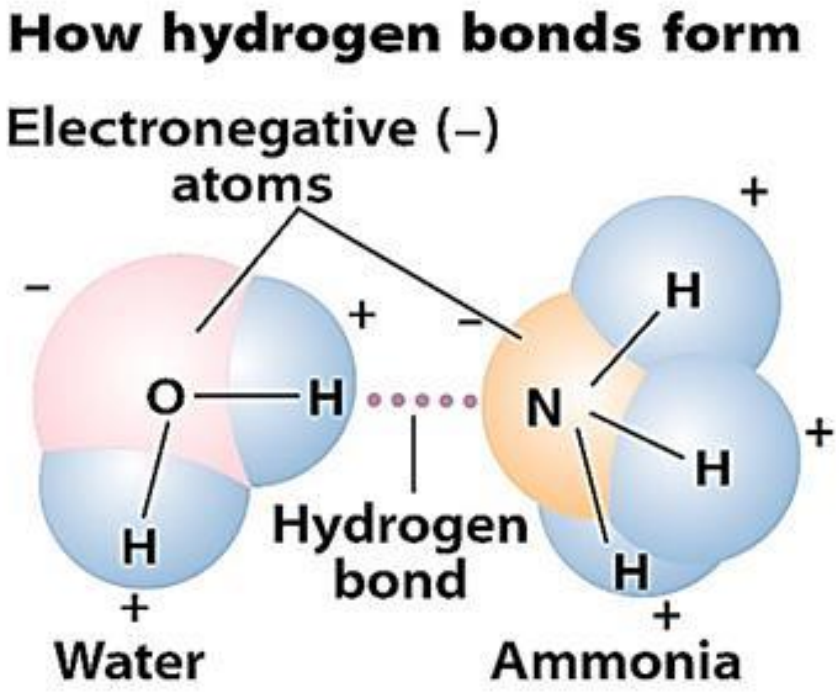
pH 7.5 → 2.0 %

pH 8.5 → 18.0 %

EDPAC

Tolerancia de las tilapias al amoníaco

- El amoníaco (NH_3) en su forma tóxica aumenta en concentración con un aumento en temperatura y el pH.
  - óptimo < 0.08 mg/l
  - crítico 1.0 mg/l



Toxicidad de amoníaco para los peces

Las altas concentraciones de amoníaco en el agua causan:

- Daño branquias (daño membranas) y riñones (concentración de iones)
- Reducción en el apetito y crecimiento
- Daño al funcionamiento del cerebro
- Disminución en la resistencia a enfermedades
- Capacidad de transporte de oxígeno en la sangre (cambia el pH de la sangre*)
- Exposición prolongada causa la muerte

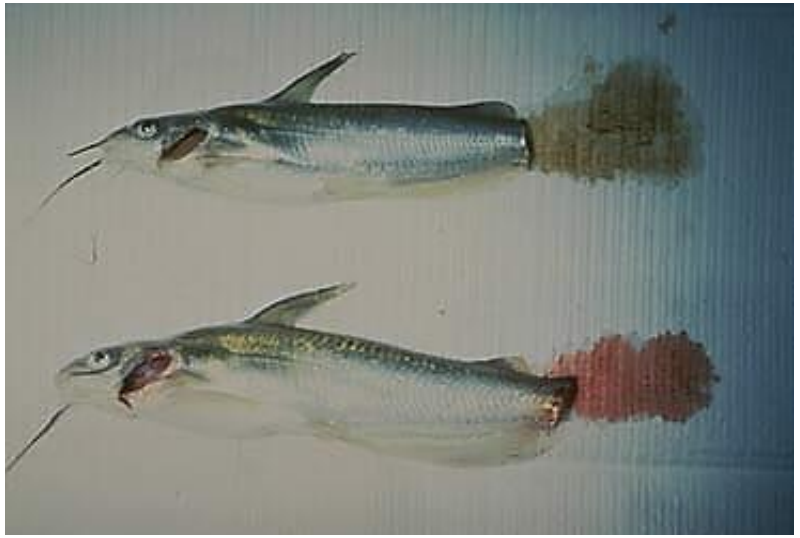
Nitrito (NO_2^-)

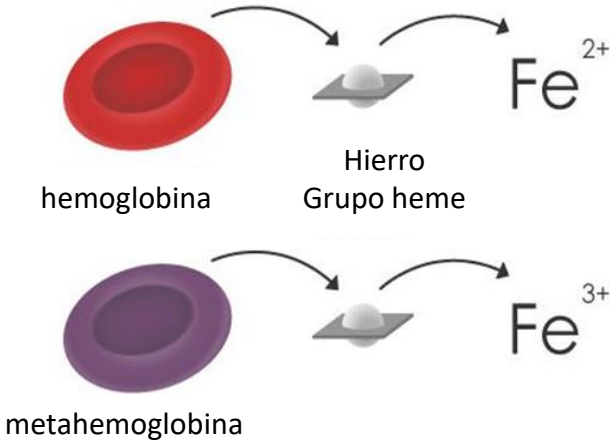
- Producido por la oxidación de amoníaco.
- Tóxico para los peces, pero no tan tóxico como el amoníaco.
- Puede causar el síndrome de sangre marrón-metahemoglobina.

EDPAC

Nitrito

El nitrito, (NO_2^-) interfiere con el transporte de oxígeno en la hemoglobina produciendo “sangre marrón”.





Las concentraciones de nitrito no deben exceder 0.5 mg/L por periodos extensos de tiempo.

Nitrato (NO_3)

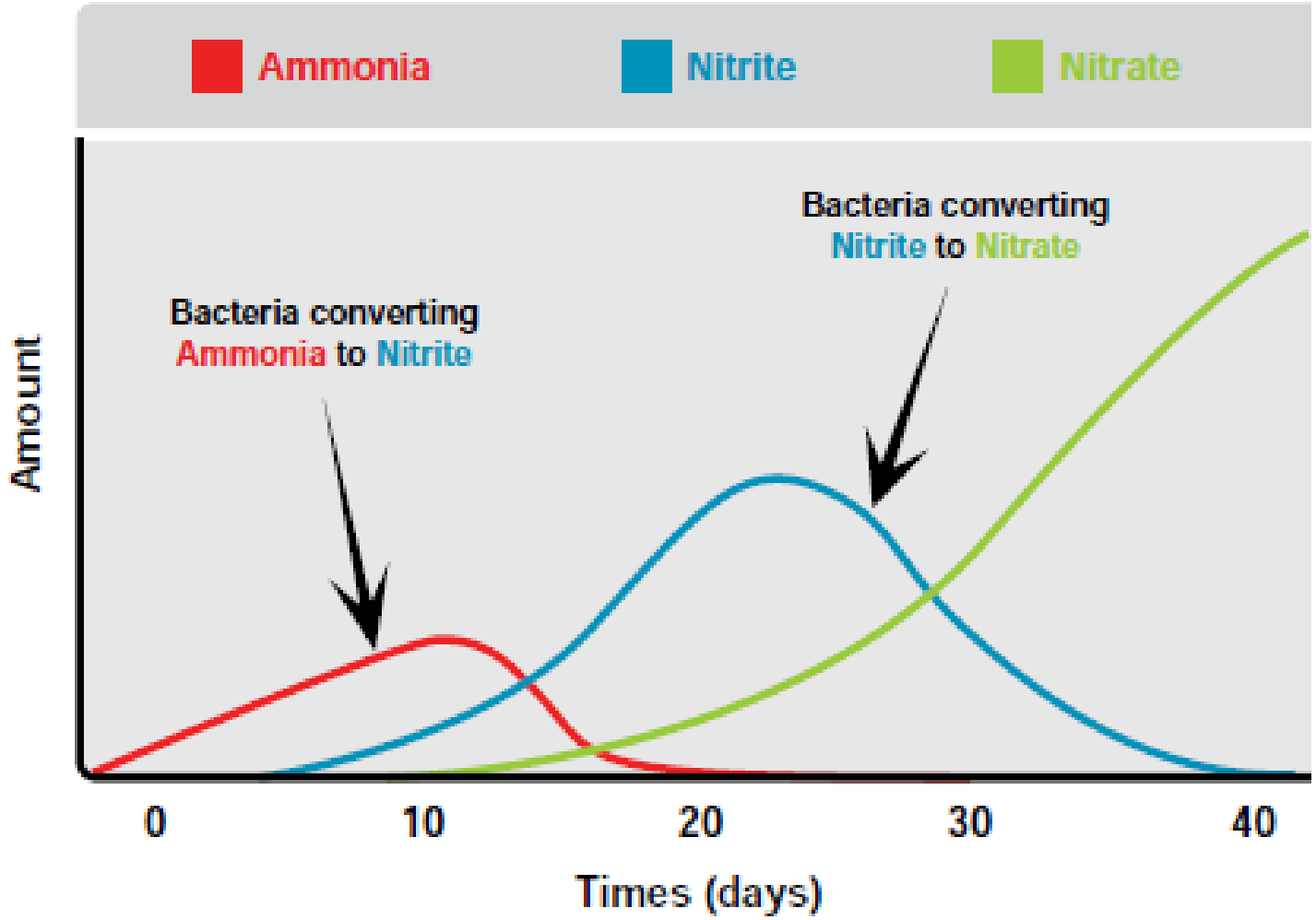
- **Recuerde:**
- El nitrato se produce por la oxidación de los nitritos.

- Producto final del proceso de nitrificación.

- Los nitratos son uno de los nutrientes que requieren las plantas que vamos a cultivar.

Proceso para establecer la nitrificación

- Gráfica del proceso de ciclado



Ortofosfatos

- **Ortofosfatos**:($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}).

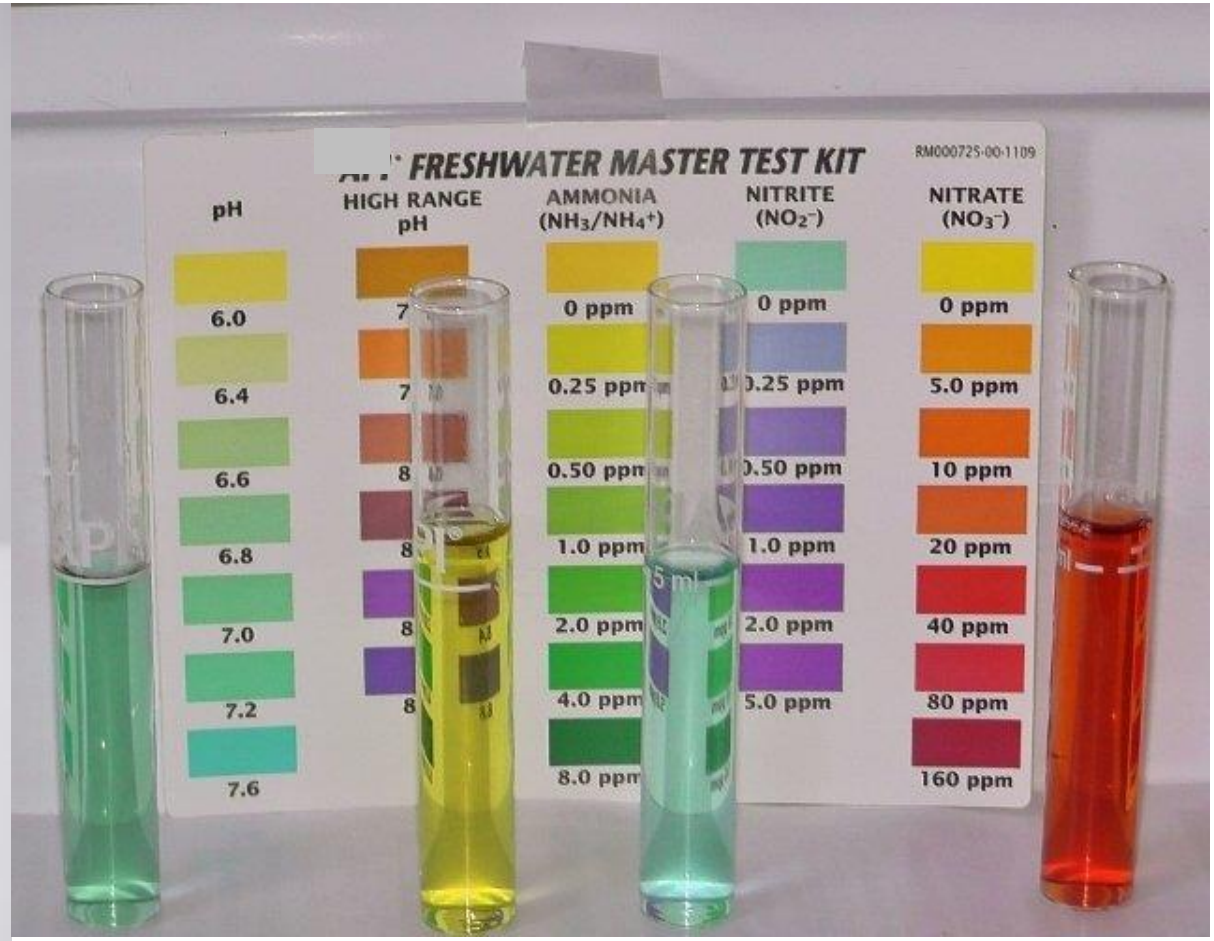
- En sistemas acuapónicos se han encontrado concentraciones entre 1–17 mg/l P-PO_4 (Rakocy, 2004).

- Las concentraciones recomendadas de ortofosfatos en sistemas hidropónicos se encuentran entre 40-60 mg/l P-PO_4 (Resh, 2004).

Frecuencia de análisis calidad de agua para acuapónicos

- pH, oxígeno disuelto los más frecuentes
- hierro y conductividad para las plantas SDT
- alcalinidad y temperatura regularmente
- dureza, salinidad muy rara medirla

Conjuntos para nutrientes



EDPAC

Costo por análisis

a-Test strips
Entre 0.52-0.64 centavos/prueba

b- Conjunto para acuario
Entre 0.16-0.80 centavos/prueba

Klinger-Bowen et al., 2011

Parámetros recomendados para sistemas acuapónicos (Somerville et al., 2014)

pH	6–7
Water temperature	18–30 °C
DO	5–8 mg/litre
Ammonia	0 mg/litre
Nitrite	0 mg/litre
Nitrate	5–150 mg/litre
KH	60–140 mg/litre

Referencias

- Francis-Floyd, R., C. Watson, D. Petty, and D.B. Pouder. 2009. Ammonia in aquatic systems.Univ. Florida,Dept. Fisheries Aquatic Sci., Florida Coop. Ext. Serv. FA-16, 27 Oct. 2010. <http://edis.ifas.ufl. edu/FA03.

- Hochmuth, G. J. 2001Fertilizer Management for Greenhouse Vegetables— Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook, Vol 31HS787 Pp.20 https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/CV/CV265/CV265-D40abc4n0g.pdf

- Klinger-Bowen, R E., C. S. Tamaru, B. K. Fox, K. McGovern-Hopkins, and R. Howerton. 2011. Testing your Aquaponic System Water: A Comparison of Commercial Water Chemistry Methods. Center for tropical and subtropical agriculture. University of Hawaii. Pp. 20.

- Masser, M. P. , J. Rakocy and T. M. Losordo3, 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems Management of Recirculating Systems. SRAC Publication No. 452. PP. 12

- Rakocy, J.E., D.S. Bailey, R.C. Shultz, and E.S. Thomana 2004. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system New dimensions on farmed Tilapia: Proceedings of the sixth international symposium on Tilapia in aquaculture, held September , pp. 12-16

- Resh, H.M. (2004) Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. CRC Press, New Jersey.

- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2014. *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome, FAO. 262 pp.

- Timmons, M.B. and Ebeling, J.M. (2007) Recirculating aquaculture. Northeastern Regional Aquaculture Center (NRAC) Publication #01-007, Michigan State University, Lansing. Pp. 489

EDPAC