

Amonio en sistemas acuáticos¹

Ruth Francis-Floyd, Craig Watson, Denise Petty y Deborah B. Pouder.

Traducido por: Leonardo Ibarra-Castro.²

Introducción

Todos los animales excretan desechos en el proceso de metabolización de alimentos para producir energía, nutrientes y proteínas que utilizan para sobrevivir y crecer. En los peces, este principal producto de desecho metabólico es el amonio.

En los peces, la mayor parte del amonio se elimina del cuerpo principalmente por difusión a través de las branquias hacia el agua. Cantidades más pequeñas se excretan en la orina o a través de otros tejidos.

Fertilizantes y la descomposición de alimento no consumido, así como la materia orgánica contribuyen a la producción de amonio, pero en la mayoría de los sistemas de acuicultura (comercial o de aficionados) la digestión del alimento consumido por los peces es la fuente principal del amonio. Cuanto más alimento se suministra a un pez, más amonio producirá el animal. Sin embargo, incluso un pez sin comer producirá algo de amonio.

De todos los parámetros de calidad de agua que afectan a los peces, el amonio es el más importante después del oxígeno, especialmente en sistemas de cultivo intensivo. Aún en bajas concentraciones, el amonio provoca estrés y daña las branquias y otros tejidos de los peces. Los peces

expuestos a niveles bajos de amonio a lo largo de un tiempo son más susceptibles a las infecciones bacterianas, presentan un crecimiento deficiente y no toleran el manejo de rutina tan bien como los peces cultivados en agua libre de amonio. En concentraciones altas, el amonio matará a los peces, y es probable que muchas pérdidas de producción inexplicables hayan sido causadas por amonio disuelto en el agua.

El amonio se acumula fácilmente en los sistemas acuáticos porque es un subproducto natural del metabolismo de los peces. Debido a que el amonio se excreta continuamente, los productores y otros propietarios de peces deben medir regularmente el amonio y eliminarlo de los sistemas antes de que pueda acumularse y dañar o matar a los peces. Además, el amonio puede estar presente en las fuentes de agua, como algunas aguas municipales (ciudades) o de pozo.

El amonio es incoloro e inodoro, incluso en niveles tóxicos para los peces. Por lo tanto, la única manera de que un productor comercial o aficionado sepa si hay amonio presente en su sistema es analizando el agua de su cultivo.

En el agua, el amonio existe en dos formas químicas: amonio no ionizado (NH_3) y amonio ionizado (NH_4^+). La concentración combinada de estas dos formas se denomina

1. Este documento es FA16S, uno de una serie de Facultad de Ciencias Forestales, Pesqueras y Geomáticas, Extensión UF/IFAS. Fecha de publicación original, mayo de 1990. Revisado en febrero de 2009 y junio de 2022. Visite el sitio web de EDIS en <https://edis.ifas.ufl.edu> para obtener la versión compatible actualmente de esta publicación
2. Ruth Francis-Floyd, profesora del Departamento de Ciencias Clínicas de Grandes Animales (Facultad de Medicina Veterinaria) y de la Facultad de Ciencias Forestales, Pesqueras y Geomáticas; Craig Watson, director, Laboratorio Tropical UF/IFAS; Denise Petty, ex profesora asistente clínica y veterinaria de extensión acuática, Departamento de Ciencias Clínicas de Grandes Animales (Facultad de Medicina Veterinaria) y Facultad de Ciencias Forestales, Pesqueras y Geomáticas; y Deborah B. Pouder, coordinadora de programas y servicios de investigación, Laboratorio de Acuicultura Tropical, Facultad de Ciencias Forestales, Pesqueras y Geomáticas; Extensión UF/IFAS, Gainesville, FL 32611.

amoníaco total o nitrógeno amoniacal total (TAN). La porción del amoníaco total en las formas no ionizada o ionizada se ve afectada principalmente por el pH y la temperatura, y en menor medida, por la salinidad. La porción de amonio no ionizado aumenta al incrementar el pH y/o la temperatura, pero disminuye ligeramente al aumentar la salinidad. Es importante conocer la porción de amonio en forma no ionizada (NH_3) porque es aproximadamente 100 veces más tóxico para los peces que la forma ionizada (NH_4^+).

Ciclo del Nitrógeno

Un proceso biológico llamado ciclo del nitrógeno (o nitrificación) elimina el amonio del agua convirtiéndolo en un compuesto menos tóxico mediante una serie de reacciones químicas. El amonio excretado por los peces es convertido en un compuesto llamado nitrito (NO_2^-) por varios géneros de bacterias, incluidas *Nitrosospira* y *Nitrosomonas*. Como grupo, estas bacterias se denominan bacterias oxidantes de amonio (BOA). Otros grupos de bacterias, incluidas *Nitrospira* y *Nitrobacter* (y denominadas colectivamente bacterias oxidantes de nitrito [BON]) convierten el nitrito en nitrato (NO_3^-), un compuesto mucho menos tóxico. La nitrificación es un proceso aeróbico (requiere oxígeno) que da como resultado la producción de dióxido de carbono (CO_2) e iones de hidrógeno libres (H^+), lo que reduce el pH del agua a menos que haya suficientes amortiguadores (alcalinidad).

En los estanques, el proceso de nitrificación tiene lugar en las capas superficiales del lodo/sustrato y en las plantas u otras estructuras que son colonizadas por las bacterias nitrificantes. En tanques o acuarios, se debe proporcionar un filtro biológico (“biofiltro”), como un lugar donde las bacterias puedan colonizar y prosperar. Un biofiltro nuevo requiere de seis a ocho semanas para acumular suficientes bacterias (madurar) que puedan reducir efectivamente los niveles de amonio y nitrito.

Ambos grupos de bacterias nitrificantes (AOB y NOB) necesitan oxígeno y alcalinidad para funcionar. Si los niveles de oxígeno no son suficientes, las bacterias pueden dejar de funcionar o morir y los niveles de amonio y nitrito aumentarán. La alcalinidad (principalmente bicarbonato y carbonato) también es utilizada por las bacterias nitrificantes. Con el tiempo, los niveles de alcalinidad en el agua, particularmente en los sistemas de tanques con recirculación, disminuirán. Con una alcalinidad total inferior a 20 miligramos por litro (mg/L), las especies comunes de bacterias nitrificantes no funcionan de manera efectiva. Además, una vez que se agota la alcalinidad, el pH

del agua puede caer significativa y rápidamente, matando tanto peces como bacterias nitrificantes. Este fenómeno se conoce comúnmente como “síndrome del tanque viejo”, aunque también puede ocurrir en sistemas relativamente nuevos con agua de baja alcalinidad natural.

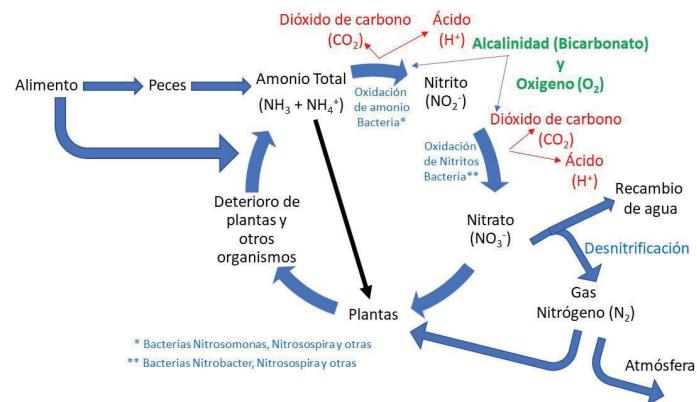


Figura 1. El ciclo del nitrógeno. Las bacterias oxidantes de amonio convierten el amonio en nitrito y las bacterias oxidantes de nitrito convierten el nitrito en nitrato. El nitrato es un subproducto menos tóxico de la nitrificación y tiene varios destinos según el tipo de sistema de producción acuícola.

Créditos: UF/IFAS

El nitrato es tóxico para los peces a niveles tan bajos como 0,10 mg/L. Tradicionalmente, el nitrato se ha considerado no tóxico para los peces incluso en niveles de hasta 200 mg/L. Sin embargo, investigaciones más recientes muestran que el nitrato puede ser más perjudicial de lo que se creía. En los sistemas naturales y estanques, el nitrato es absorbido como fertilizante por las plantas, incluido el fitoplancton, por lo que los niveles de nitrato suelen permanecer bajos. Sin embargo, en sistemas cerrados con poco o ningún intercambio de agua, el nitrato puede acumularse a más de 250 mg/L. Se necesitan recambios de agua o sistemas de desnitrificación separados para eliminar el nitrato del agua de un sistema de recirculación.

Pruebas de Amonio

Todos los acuicultores comerciales y aficionados deben invertir en un kit de prueba para medir confiablemente la calidad del agua. Un buen programa de manejo de la calidad de agua reducirá los problemas de enfermedades de los peces, promoverá el crecimiento y disminuirá la necesidad de tratamientos químicos. Un kit de prueba de calidad de agua se pagará por sí mismo muchas veces, tanto por la cantidad de peces salvados como por el aumento de la producción.

La mayoría de los kits de prueba de amonio comerciales miden el nitrógeno amoniacal total (TAN) en miligramos por litro (mg/L), que es lo mismo que partes por millón (ppm). Nuevamente, la porción de amonio no ionizado

(ANI) del TAN es la que es más tóxica. Para determinar la fracción ANI a partir de la medición de TAN, también se debe conocer la temperatura y el pH del agua. A altas temperaturas y alto pH, hay más ANI. Por lo tanto, un buen kit de prueba de amonio incluirá una prueba de TAN, una prueba de pH y un termómetro.

Hay dos tipos comunes de kits de prueba de amonio y cada uno utiliza un método de prueba diferente para determinar el TAN. Uno es el método de Nessler y el otro es el método del salicilato de amonio. Si 24 a 72 horas previas al análisis del agua se ha utilizado formalina o productos que la contienen, el método de Nessler dará como resultado una lectura de amonio falsamente elevada. El uso de productos aglutinantes de amonio y muchos “acondicionadores de agua”, como los que se usan en el pretratamiento de las fuentes de agua municipales, también generarán lecturas altas y falsas de amonio usando el método de Nessler. Este método también produce reacciones falsas cuando se usa para analizar el agua de mar. El reactivo utilizado en el método de Nessler contiene una pequeña cantidad de mercurio que en muchos estados debe desecharse como residuo peligroso.

El otro método de prueba es el método del salicilato de amonio. Este método no se ve afectado por productos aglutinantes de amonio o tratamientos con formalina. El método del salicilato de amonio también es más preciso que el método de Nessler cuando se analiza el amonio en agua de mar.

¿Cuándo se debe analizar el amonio?

En general, el amonio debe analizarse una vez por semana en cualquier sistema de producción. El amonio (y otros parámetros de calidad de agua) también deben analizarse inmediatamente cada vez que cambie la apariencia o el comportamiento de los peces (incluyendo si reducen su alimentación).

Si varios tanques dependen de un biofiltro común (es decir, un sistema de recirculación), no es necesario revisar cada tanque individualmente. Una buena práctica es probar constantemente el nivel de amonio en el tanque con la tasa de alimentación más alta y probar otros tanques de vez en cuando. Aunque un sistema de tanques comparta un sistema de filtración común, puede haber algunas diferencias en la calidad de agua entre los tanques de cultivo. Si aparecen peces con cualquier signo de anormalidad, la calidad de agua debe ser analizada inmediatamente en ese tanque individual.

Mantenga los registros de todas las pruebas y controle las tendencias. Cada vez que se encuentre amonio, aumente la frecuencia de las pruebas hasta que se corrija el problema. Como se mencionó anteriormente, siempre que los peces estén enfermos, analice la calidad del agua de inmediato.

Es probable que el amonio sea responsable de más pérdidas inexplicables en la acuicultura que cualquier otro parámetro de calidad de agua. Debido a que es incoloro e inodoro a niveles tóxicos para los peces, la única forma de saber si el amonio está presente es mediante una prueba química. Los peces enviados a un laboratorio de diagnóstico a menudo se analizan solo para enfermedades infecciosas (bacterias, parásitos, hongos o virus). Incluso si se envía una muestra de agua al laboratorio para su análisis, proporciona solo una evaluación única que no proporciona información sobre las tendencias pasadas. Es responsabilidad de los productores comerciales y acuaristas comprobar periódicamente la calidad de agua, que suele ser el problema de fondo. Los peces pueden enfermarse incluso semanas después de que se haya corregido un problema de calidad de agua, por lo que no se puede usar una sola muestra analizada en laboratorio para evaluar completamente el efecto de la calidad de agua en un problema de enfermedad de los peces.

Interpretación de la prueba de amonio

En estanques y tanques saludables, los niveles de amonio siempre deben ser cero. La presencia de amonio es una indicación de que el sistema está desequilibrado. Por lo tanto, cualquier amonio en un estanque o tanque debe alertar al productor o acuarista para que examine el manejo del sistema y comience a tomar medidas correctivas.

Para determinar el ANI, se deben realizar tres pruebas: TAN, pH y temperatura. Una vez que se miden estos tres parámetros, la fracción de ANI se puede calcular usando un factor de multiplicación que se encuentra en la Tabla 1. Encuentre la temperatura medida en la fila superior de la tabla y el pH medido en la columna izquierda. El número en el que se cruzan la columna y la fila correspondientes en la tabla se multiplica por el TAN medido para obtener el ANI en mg/L. Si la temperatura o el pH cae entre los valores de la tabla, redondee al siguiente valor más alto para determinar el “peor de los casos” porque un pH y una temperatura más altos dan como resultado más ANI. Este cálculo se resume en la Figura 2 y se da un ejemplo en la Figura 3.

- Paso 1. Usar un kit de calidad de agua para medir el Nitrógeno Amoniacal Total (TAN).
- Paso 2. Medir la temperatura del agua.
- Paso 3. Medir el pH del agua.
- Paso 4. Usar la Tabla 1, encontrar la temperatura del agua en el renglón superior. Seguir la columna hacia abajo hasta donde se cruce con el pH medido. El numero de la celda es la fracción de amonio en la forma no ionizada.
- Paso 5. Multiplicar el TAN (paso 1) y la fracción (paso 4) para determinar la cantidad de amonio no ionizado en mg/L (ppm).

Figura 2. Guía paso a paso para calcular el amoníaco no ionizado. A medida que ANI se acerque a 2.0 mg/l, los peces comenzarán a morir. Créditos: no conocidos.

- Paso 1. Si el TAN medido con el kit de calidad de agua es 1 mg/L.
- Paso 2. Y la temperatura del agua es 73 °F.
- Paso 3. Y el pH del agua es 8.0.
- Paso 4. Y el factor de multiplicación de la Tabla 1 es 0.0502 (Este valor es donde el pH en la columna de la izquierda se cruza con la temperatura que aparece en la parte superior de la tabla. Recuerde redondear hacia arriba si el pH o la temperatura caen entre los valores de la tabla).
- Paso 5. TAN x Numero de la tabla 1
 - $1.0 \times 0.0502 = 0.0502 \text{ mg/L de ANI}$
- Interpretación: El amonio no ionizado presente es de 0.0502 mg/L. Este nivel es lo suficientemente alto para causar daño en las branquias. Si el ANI incrementa, los peces estarán bajo un considerable estrés.

Figuras 3. Un ejemplo de cómo calcular la ANI utilizando los factores de la Tabla 1.

Créditos: no conocidos.

Cada vez que la ANI es superior a 0.05 mg/L, se pueden producir daños en los tejidos de los peces. A medida que la concentración sube por encima de 0.05 mg/L, causa más y más daño. A 2.0 mg/L, los peces sensibles normalmente morirán. Incluso si los peces no mueren directamente por los altos niveles de amonio, se vuelven más susceptibles a las enfermedades infecciosas. Una vez más, cualquier cantidad de amonio en su sistema indica un problema. Si detecta amonio en su sistema de cultivo, tome medidas correctivas inmediatamente.

Manejo de un problema de amonio

Lo primero que se debe hacer cuando hay amonio presente en un estanque o tanque es reducir o suspender la alimentación. Es posible que los peces no coman durante los períodos de estrés por amoníaco, y el alimento no consumido sólo empeorará la situación. Reducir o suspender la alimentación durante un período corto de tiempo (p. ej., 1 a 3 días) normalmente no tendrá un efecto negativo en los peces (excepto los alevines). La sobrealimentación es una de las principales causas de las altas concentraciones de amonio, y suspender la alimentación permitirá que el ciclo del nitrógeno “alcance” la carga de nutrientes. Un recambio de agua del 25% al 50% ayudará a eliminar algo de amonio, suponiendo que la fuente de agua entrante no contenga amonio. Este proceso sólo es factible en tanques o estanques muy pequeños, así que no intente resolver un problema de amonio en un estanque grande usando este método.

Los niveles bajos de oxígeno disuelto limitan la capacidad de las bacterias nitrificantes para convertir amoníaco y nitrito, por lo que es importante controlar el oxígeno disuelto y tomar medidas para aumentar el oxígeno si cae por debajo de 5 mg/L.

En los estanques, la adición de un fertilizante de fosfato puede ayudar a aliviar los niveles altos de TAN durante un período de días al estimular el crecimiento del fitoplancton, lo que ayuda a eliminar el amonio del sistema; sin embargo, es posible que no ayude con la suficiente rapidez en una crisis aguda de amonio. Utilice un fertilizante 0-20-0 a razón de 40 libras por acre. Es importante no utilizar un fertilizante que contenga nitrógeno porque el nitrógeno agravará el problema. Si el fósforo no es un factor limitante para el crecimiento de algas en el estanque, el método de fertilización con fosfato no funcionará en absoluto. De manera similar, si el estanque ya tiene una abundante floración de fitoplancton, no se debe agregar fertilizante.

En los sistemas de tanques, los cambios de agua y el uso de productos que fijan el amonio pueden aliviar la toxicidad del amonio a corto plazo. Sin embargo, para un manejo a largo plazo, es mejor establecer un biofiltro diseñado y dimensionado adecuadamente.

En tanques sin biofiltro, el productor comercial o acuarista debería considerar seriamente incorporar uno. Dadas las seis a ocho semanas necesarias para establecer un biofiltro, esto no ayudará en una crisis, pero es una solución a largo

plazo al problema. Los biofiltros deben tener el tamaño apropiado de acuerdo con la entrada de alimento.

En los sistemas de tanques, los cambios de agua y el uso de productos que fijan el amonio pueden aliviar la toxicidad del amonio a corto plazo. Sin embargo, para un manejo a largo plazo, es mejor establecer un biofiltro diseñado y dimensionado adecuadamente.

En tanques sin biofiltro, el productor o acuarista debería considerar seriamente incorporar uno. Sin embargo, son necesarias de seis a ocho semanas para establecer un biofiltro; esto no ayudará en una crisis, pero es una solución a largo plazo al problema. Los biofiltros deben tener el tamaño adecuado según el aporte de alimento.

Con la excepción de los canales de alto flujo, tales como los utilizados en la industria de la acuicultura de salmones, muchos sistemas de tanques de flujo continuo no tienen suficiente flujo para eliminar el amonio adecuadamente, por lo que las pruebas y el manejo del amonio en estos sistemas siguen siendo críticos.

Algunos productos químicos utilizados para tratar enfermedades en los peces, especialmente los antibióticos, pueden ser perjudiciales para las bacterias nitrificantes en el biofiltro. Tanto los niveles de amonio como los de nitrato deben analizarse con más frecuencia después de aplicar un tratamiento de enfermedades para garantizar que el biofiltro siga funcionando correctamente.

Resumen

El amonio es uno de los principales productos de desecho de los peces y también se produce como descomposición del alimento y otros compuestos orgánicos. Puede acumularse en sistemas de acuicultura comerciales o acuarios, donde, como mínimo, disminuirá la producción. Con frecuencia es un factor estresante que conduce a que se generen enfermedades en los peces y en otros casos, mata directamente a los peces. La única forma de detectar su presencia es haciendo una prueba química. Un piscicultor comercial o acuarista debe invertir en un kit de prueba de calidad del agua confiable, aprender cómo funciona y usarlo con regularidad.

Los kits de prueba de amonio solo miden el nitrógeno amoniaco total (TAN). Cuando esta prueba indica una lectura superior a cero, los productores comerciales o acuaristas pueden determinar la cantidad del compuesto más tóxico, amonio no ionizado (ANI), solo después de medir el pH y la temperatura del agua. Los factores de

multiplicación se encuentran en la Tabla 1, y un ejemplo de cálculo se encuentra en la Figura 3. Cuando hay amonio presente, no se debe alimentar a los peces en el sistema (o se debe reducir el alimento) hasta que se corrija el problema. En sistemas pequeños, un recambio de agua puede ayudar, y en estanques grandes, un fertilizante 0-20-0 puede contribuir, más no solucionar el problema.

Realice pruebas de amonio regularmente y tome medidas correctivas tan pronto como detecte amonio en su sistema de cultivo. Pueden ocurrir problemas graves cuando las pruebas no se realizan con la frecuencia suficiente. Incluso después de que se haya corregido un problema de amonio, los peces pueden enfermarse semanas después. Una vez que los peces comienzan a morir, es difícil corregir un problema de amonio sin perder más peces.

Lecturas recomendadas (en inglés)

Fish Health Management Considerations in Recirculating Aquaculture Systems—Part 1: Introduction and General Principles (UF/IFAS Circular 120) <https://edis.ifas.ufl.edu/FA099>

Southern Regional Aquaculture Center publications, available at <https://srac.tamu.edu/>

Ammonia in Fish Ponds (SRAC Publication No. 463)

Nitrite in Fish Ponds (SRAC Publication No. 462)

Managing Ammonia in Fish Ponds (SRAC Publication No. 4603)

How to Start a Biofilter (SRAC Publication No. 4502)

Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: An Overview of Critical Considerations (SRAC Publication No. 451)

Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Management of Recirculating Systems (SRAC Publication No. 452)

Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: A Review of Current Design Practice (SRAC Publication No. 453)

Referencias

Emerson, K., R. C. Russo, R. E. Lund, and R. V. Thurston. 1975. "Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effects of pH and Temperature." *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32:2379-2383.

Tabla 1. Fracción de amonio no ionizado en solución acuosa a diferentes valores de pH y temperaturas. Calculado a partir de los datos de Emerson et al., (1975). Para calcular la cantidad de amoníaco no ionizado presente, multiplique el nitrógeno amoniacal total (TAN) por el factor apropiado seleccionado de esta tabla usando el pH y la temperatura de su muestra de agua. Seguir el ejemplo en la Figura 3.

pH	Temperatura													
	42.0(°F)	46.4	50.0	53.6	57.2	60.8	64.4	68.0	71.6	75.2	78.8	82.4	86.0	89.6
	6(°C)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	.0013	.0016	.0018	.0022	.0025	.0029	.0034	.0039	.0046	.0052	.0060	.0069	.0080	.0093
7.2	.0021	.0025	.0029	.0034	.0040	.0046	.0054	.0062	.0072	.0083	.0096	.0110	.0126	.0150
7.4	.0034	.0040	.0046	.0054	.0063	.0073	.0085	.0098	.0114	.0131	.0150	.0173	.0198	.0236
7.6	.0053	.0063	.0073	.0086	.0100	.0116	.0134	.0155	.0179	.0206	.0236	.0271	.0310	.0369
7.8	.0084	.0099	.0116	.0135	.0157	.0182	.0211	.0244	.0281	.0322	.0370	.0423	.0482	.0572
8.0	.0133	.0156	.0182	.0212	.0247	.0286	.0330	.0381	.0438	.0502	.0574	.0654	.0743	.0877
8.2	.0210	.0245	.0286	.0332	.0385	.0445	.0514	.0590	.0676	.0772	.0880	.0998	.1129	.1322
8.4	.0328	.0383	.0445	.0517	.0597	.0688	.0790	.0904	.1031	.1171	.1326	.1495	.1678	.1948
8.6	.0510	.0593	.0688	.0795	.0914	.1048	.1197	.1361	.1541	.1737	.1950	.2178	.2422	.2768
8.8	.0785	.0909	.1048	.1204	.1376	.1566	.1773	.1998	.2241	.2500	.2774	.3062	.3362	.3776
9.0	.1190	.1368	.1565	.1782	.2018	.2273	.2546	.2836	.3140	.3456	.3783	.4116	.4453	.4902
9.2	.1763	.2008	.2273	.2558	.2861	.3180	.3512	.3855	.4204	.4557	.4909	.5258	.5599	.6038
9.4	.2533	.2847	.3180	.3526	.3884	.4249	.4618	.4985	.5348	.5702	.6045	.6373	.6685	.7072
9.6	.3496	.3868	.4249	.4633	.5016	.5394	.5762	.6117	.6456	.6777	.7078	.7358	.7617	.7929
9.8	.4600	.5000	.5394	.5778	.6147	.6499	.6831	.7140	.7428	.7692	.7933	.8153	.8351	.8585
10.0	.5745	.6131	.6498	.6844	.7166	.7463	.7735	.7983	.8207	.8408	.8588	.8749	.8892	.9058
10.2	.6815	.7152	.7463	.7746	.8003	.8234	.8441	.8625	.8788	.8933	.9060	.9173	.9271	.9389