



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

**Aprovechamiento de los ambientes reducidos en los canales de Xochimilco
para el cultivo del acocil *Cambarellus montezumae*, para consumo humano**

TESIS

(Idónea comunicación de resultados)

que para obtener el grado de

Maestra en Ciencias Agropecuarias

Presenta

Patricia Edurne Sánchez Meza

DIRECTORA: Dra. Pilar Negrete Redondo

ASESORA: M. en C. Aída Malpica Sánchez

ASEROR: M. en C. Jorge Romero Jarero

INDICE

Resumen	3
Introducción	5
Justificación	9
Planteamiento del problema	10
Marco teórico	11
Objetivo General	20
Objetivo Particulares	20
Material y Métodos	22
○ Caracterización fisicoquímica	22
○ Colecta de muestras	22
○ Procesamiento de muestras	23
Resultados	26
Discusión	34
Conclusiones	39
Referencias	40

Resumen

Los sedimentos anóxicos propician la proliferación de bacterias sulfato reductoras, característica principal de los ambientes reducidos, los cuales se aprovechan para el cultivo de crustáceos. En México, se ha reportado la presencia de sedimentos anóxicos en los canales de Xochimilco, ambiente reducido, que podrían ser aprovechados para el cultivo de organismos, como el acocil (*Cambarellus montezumae*). El objetivo fue probar que los ambientes reducidos de los canales de Xochimilco pueden ser aprovechados para la producción de *C. montezumae* para consumo humano. Se caracterizaron los canales Apatlaco y Cuemanco como ambientes reducidos, se evaluaron parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento; se determinaron metales pesados en sedimento y organismo; se comprobó la presencia y calidad sanitaria del acocil, a través del análisis cualitativo y cuantitativo de su carga bacteriana; se determinó la calidad nutrimental de los acociles, por análisis químico proximal. La actividad de las bacterias sulfato reductoras se registró 10 h después de inocularse los tubos, dentro del intervalo de 1×10^6 a 3×10^6 ufc g sed h. El gasto de Iodo Yoduro fue de 0.15 - 0.35 ml en ambas zonas. Se probó que los canales de Xochimilco cumplen con las características de un ambiente reducido, se comprobó la presencia del acocil *C. montezumae* en estos canales, se demostró que los niveles de metales pesados y carga bacteriana, registrados, no superan los límites máximos permisibles para crustáceos comestibles, fuente importante de proteínas para el consumo humano. Con base en lo anterior se afirma que los ambientes reducidos pueden ser aprovechados para el cultivo de especies acuáticas comestibles.

Palabras clave Ambientes reducidos, Sulfato reductoras, canales de Xochimilco, *Cambarellus montezumae*, consumo humano, acuacultura.

Utilization of reduced environments in Xochimilco cahnnels for the culture of the crayfish *Cambarellus montezumae* , for human consumption

Abstract

Anoxic sediments favor reductive sulfate bacteria proliferation, main characteristic of reduced environments, which are used for crustaceous culture. In Mexico, it has been reported the presence of anoxic sediments in the channels of Xochimilco, reduced environment that could be used for culture of organisms, like crayfish (*Cambarellus montezumae*). The aim of this study was to prove that reduced environments in Xochimilco's channels can be used for the culture of *C. montezumae* for human consumption. First, the presence of crayfish *C. montezumae* in Apatlaco and Cuemanco channels was verified and these were characterized as reduced environments. Physicochemical parameters of its water and sediment were evaluated. Heavy metals in sediment and organisms were assessed; sanitary quality of crayfish was tested by means of qualitative and quantitative analysis of its bacterial charge. Nutritional quality of crayfish was determined, by proximal chemical analysis. The activity of sulfate reducing bacteria was registred 10 h later of tubes inoculated, in the range of 1×10^6 to 3×10^6 ufc g sed h. The consumption of iodine iodide was 0.15 - 0.35 ml in both zones. It was demonstrated that the channels of Xochimilco fulfill the reduced environment characteristics; it was shown that the levels of heavy metals and bacteria charge recorded, do not exceed the maximum allowed limits for edible crustaceous, important protein source for human consumption. Based on the previous, it is affirmed that reduced environments can be used for culture of edible aquatic species.

Key words Reduced environments, sulfate reductor, Xochimilco channels, *Cambarellus montezumae*, human consumption, aquaculture.

Introducción

Los ambientes reducidos se caracterizan por la presencia de bacterias sulfato reductoras y sulfato oxidativas en el sedimento de los cuerpos de agua; estas bacterias poseen la facultad de reducir la forma no asimilable de sulfato, sulfito o el tiosulfato, produciendo como desecho metabólico ácido sulfhídrico. La actividad de este tipo de bacterias es imprescindible para la liberación de nutrientes orgánicos como nitratos, fosfatos y sulfatos (Haack-Sheridan *et al.*, 2004; Ulrich y Krumholz, 1997; Jorgensen, 1983). Estos nutrientes al disolverse rápidamente propician el crecimiento de algas, reducen la incidencia de la radiación ultravioleta y disminuyen la temperatura, lo que provoca la eutroficación y la anoxia de los sedimentos contenidos en el cuerpo de agua (Barg, 1992).

Estos ambientes reducidos presentan características ventajosas para ser aprovechados en la producción acuícola, tales como poseer cantidad ilimitada de nutrientes útiles para la crianza y engorda de organismos (Erler *et al.*, 2004), así como la presencia de microorganismos eficientes para la reutilización de nutrientes orgánicos como las bacterias degradadoras del azufre (Webb *et al.*, 1998), y la ausencia de factores de estrés en su hábitat, como antibióticos, desinfectantes, pesticidas y fertilizantes (Bachere *et al.*, 2000; Le Moullac y Haffner, 2000) lo que le permite a los organismos susceptibles de cultivo desarrollar un sistema inmunológico más eficiente.

Actualmente los ambientes reducidos son aprovechados a nivel mundial para la producción de diversas especies de crustáceos, como el cangrejo de agua dulce *Astacus leptodactylus*, que se cultiva en este tipo de ambientes y que se exporta

de Turquía al Oeste de Europa (Mustafa, 2003). En Sudamérica, particularmente en Brasil, existen granjas naturales productoras de camarón, las cuales se consideran como ambientes reducidos, estas ocupan a los microorganismos eficientes como las bacterias sulfato reductoras y nitrificantes, así como la materia orgánica en descomposición de los sedimentos como alimento para el camarón. (Ota y Kinjo., 2002); En Australia, las granjas camaroneras presentan problemas debido al desecho de las aguas residuales, por lo que se instrumentó la adición de sedimento de los embalses naturales, para crear ambientes reducidos y así los microorganismos activen los nutrientes orgánicos y el agua pueda ser reutilizada (Jackson *et al.*, 2003; Eler *et al.*, 2004).

En México, los canales de Xochimilco son un ejemplo de ambientes reducidos, los cuales presentan características como: eutroficación, presencia de bacterias sulfato reductoras y sulfato oxidativas, así como proliferación de algas, estos ambientes no se utilizan para la producción acuícola, solo se extrae el agua y el sedimento de los canales, para el riego de plantas y el cultivo de flores y hortalizas (Juárez-Figueroa *et al.*, 2003). La UNESCO (2005) define en Xochimilco dos tipos de asentamientos humanos: urbano y agrícola; así la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1 establece los mismos rubros para embalses naturales, lo que origina que existan dos fuentes diferentes de contaminantes de acuerdo a su uso; que son agrícola y urbano.

En los canales de Xochimilco, habitan especies nativas como: el charal blanco (*Chirostoma jordani*), el pez amarillo (*Girardhynichtys viviparus*), el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) y el acocil (*Cambarellus montezumae*); estos organismos tienen gran importancia debido a que son consumidos como parte de la dieta

diaria de los pobladores de la región, además, de ser comercializados como parte del turismo gastronómico (Elsner, 2005).

La capacidad de adaptación del acocil le ha permitido sobrevivir a los cambios de su hábitat hasta las condiciones actuales de ambiente reducido, por lo que se puede considerar como un organismo susceptible de cultivo (Huner, 1981) en estos ambientes en Xochimilco. Además de poseer otras ventajas como alimentarse de detritus y de vegetación acuática (Hessen y Skurdal, 1986), la cual se produce de forma natural en los ambientes reducidos, *C. montezumae*, se reproduce durante todo el año, (Rodríguez-Serna, 1999; Rodríguez-Serna y Carmona-Osalde, 2002); se comercializa ampliamente, entre los pobladores de la región; tiene alto valor nutricional, semejante al pescado, en cuanto a los aminoácidos esenciales como leucina, isoleucina, glutamina, asparagina y cisteína, (Gil y Alba, 2002); y posee un sistema inmune basado en mecanismos de defensa que dependen de las características del agente patógeno, por lo que una vez reconocido el material extraño desencadena procesos como el sistema de profenoloxidasa, la fagocitosis o la encapsulación (Vázquez *et al.*, 1998), que ayuda a contrarrestar los patógenos propios del ecosistema.

En términos generales los ambientes reducidos para poder ser aprovechados en la acuicultura deben cumplir con lo especificado en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-022-PESC, que establece: “las regulaciones de higiene y control, así como la aplicación del sistema de análisis de riesgos y control de puntos críticos en las instalaciones y procesos de las granjas acuícolas”, sin embargo, en la Legislación Mexicana no aparecen normas que contengan los límites en los niveles de contaminación que afecten la salud del consumidor del *C.*

montezumae, tampoco cuenta con la normatividad necesaria con respecto a la calidad sanitaria del acocil extraído del canal. Por último las Normas Mexicanas, no toman en cuenta a los ambientes reducidos para la producción acuícola a pesar de las ventajas ya descritas.

Con base en lo anterior el objetivo de este estudio fue probar que los ambientes reducidos pueden ser aprovechados para la producción de organismos acuáticos a través de su cultivo y para consumo humano.

Justificación

La zona lacustre de Xochimilco, por las características físico-químicas que presenta el agua y el sedimento, se le puede atribuir la característica de ambiente reducido, estos ambientes, en diversos países, son aprovechados para la producción de diferentes crustáceos comestibles.

En México, los canales de Xochimilco se consideran inadecuados para la producción acuícola de especies comestibles, porque no se ajustan a lo establecido en la norma NOM-022-PESC, sin embargo, estos ambientes poseen varias ventajas como: la ausencia de factores de estrés que afecten al cultivo y la producción de cantidades ilimitadas de materia orgánica, necesarias para la producción de los organismos en cultivo, para el consumo humano.

El acocil *C. montezumae* es un decápodo que ha sobrevivido a los cambios ambientales que se han presentado en los canales de Xochimilco, durante el paso de los años, convirtiéndose en un recurso endémico de estos hábitats y consumido por los pobladores como parte de la dieta diaria. Además, el acocil aprovecha la materia orgánica en descomposición, que se produce en los ambientes reducidos, como alimento.

Planteamiento del problema

A pesar de las ventajas que posee el acocil para ser introducido en la acuicultura, todavía no se le ha dado la importancia necesaria, ya que este no se incluye en las normas para crustáceos comestibles (NOM-029-SSA1) y tampoco ha sido incorporado a los programas de rescate de especies por parte de la Delegación Xochimilco.

Por lo que es importante probar que se pueden aprovechar los ambientes reducidos de los canales de Xochimilco para el cultivo del acocil *Cambarellus montezuame*, así como también, promover la modificación de la Legislación Mexicana para incorporar estos ambientes dentro de las normas para el establecimiento de granjas acuícolas.

Marco Teórico

Localización

Xochimilco está localizado al norte $19^{\circ} 36'$, al sur $19^{\circ} 03'$ latitud norte, al este $98^{\circ} 57'$, oeste $99^{\circ} 22'$ de longitud oeste (INEGI, 1999); ha sido y es una zona tradicionalmente turística y de producción agrícola de la Ciudad de México, en virtud de su legado histórico y atractivo ecológico.



Figura 1: Canales de Xochimilco

Contaminación y eutroficación de los canales de Xochimilco

La modificación a la dinámica natural de este cuerpo de agua, ha sido el principal factor del deterioro no solo de la zona de lacustre de Xochimilco sino también de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. El conjunto de actividades de: sobre-explotación de los mantos acuíferos, explotación de los manantiales, construcción de bordos, desecación de los lagos y la liberación de desechos, tiene un efecto negativo en el agua, como recurso en la flora y fauna

acuática tanto endémica como introducida, ya que se está modificando su hábitat natural, por lo que disminuye considerablemente la zona de canales y lagunas (Elsner, 2005; Lesser, 2002).

Durante el paso de los años en los canales de Xochimilco la contaminación de suelo y agua con desechos de granjas de traspatio es cada vez mayor, las descargas de aguas residuales liberan amoníaco, metano, bióxido de carbono, ácido sulfúrico y metales pesados (Auró *et al.*, 2001) por lo que se han convertido en una fuente potencial de contaminación (Figura 2); estos elementos son absorbidos por las plantas cultivadas y asimilados o depositados en las mismas; posteriormente, al ser consumidos por animales y personas llegan a producir trastornos metabólicos (Juárez-Figueroa *et al.*, 2003) como dolor de cabeza, malestar estomacal, vértigo e insomnio.



Figura 2: Contaminación en los canales de Xochimilco

El nitrógeno, el fósforo y el potasio que son liberados a los canales, se

disuelven rápidamente, esto incrementa la producción de algas, y provoca que disminuya la radiación ultravioleta; la temperatura; y el oxígeno disuelto, y por consiguiente aumente la eutroficación y la proliferación de bacterias (Barg, 1992). La mayor parte de los desechos sólidos (predominantemente el carbono orgánico) se depositan en los sedimentos y provocan el enriquecimiento orgánico del ecosistema béntico, lo que puede originar un aumento en el consumo de oxígeno por parte del sedimento, transformándose en sedimentos anóxicos, convirtiendo a los lagos de Xochimilco en ambientes reducidos (Barg, 1992).

Ambientes Reducidos

Los ambientes reducidos se caracterizan por la presencia de bacterias que reducen el sulfato y lo transforman en sulfuro por diversas rutas bioquímicas (Yiyong *et al.*, 2001). Estas bacterias, tienen capacidad de reducir el sulfato a sulfitos y a tiosulfato de manera no asimilable, utilizándolos como aceptores terminales de electrones produciendo ácido sulfhídrico. Actualmente se conocen 18 géneros, subdivididos en dos grandes grupos, según oxide o no al acetato, como fuente de carbono y energía. Los géneros *Desulfovibrio*, *Desulfomonas*, *Desulfotomaculum* y *Desulfobulbus* utilizan fundamentalmente lactato, piruvato y etanol como fuente de energía y carbono. Los géneros *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfosarcina* y *Desulfonema* están particularmente especializados en la oxidación de acetato (Hiney *et al.*, 2002).

La reoxidación del sulfuro da un flujo positivo de sulfato, a través de los sedimentos y la interfase del agua presentando una fracción alta de sulfuro reducido, que se acumulan como azufre elemental. El agua contiene compuestos sulfato-reducidos, que sirven como fuente de energía para las bacterias sulfato

oxidantes quimiolitótrofos. En medios anaerobios en altas concentraciones de sulfato, las bacterias sulfato reductoras compiten con metanógenas por el H^2 y el acetato para producir metano (Holmer *et al.*, 1998).

Por este tipo de contaminación se espera un aumento gradual en la densidad de bacterias y parásitos que exceden los estándares de calidad del agua para la producción acuícola, debido a que estos microorganismos son capaces de afectar y hasta eliminar especies que habitan el sistema, a través de las enfermedades que puedan ocasionar. La composición de la comunidad bacteriana es variable y depende principalmente de: la concentración de sales, de sustancias orgánicas, de su relación con la turbidez y de la temperatura (Moriarty, 1997).

Carga Bacteriana

Dependiendo del grado de contaminación de las aguas y de los sedimentos, la presencia de bacterias patógenas de origen intestinal como coliformes, tienen gran interés, debido a que las bacterias provenientes de aguas residuales tienen la capacidad de estar presentes por mucho tiempo en el ambiente acuático, y conservar su patogenicidad hasta que se presenten las condiciones favorables para provocar alguna enfermedad (Brock *et al.*, 1993).

Las bacterias de la familia Enterobacteriaceae son oxidasa-negativa, y durante la fermentación de la glucosa producen gas, característica que aunque es útil para su identificación presuntiva, no siempre ocurre. En general, la fermentación rápida de la lactosa se presenta en especies como: *Escherichia coli* (Ver figura 3), *Klebsiella sp* y *Enterobacter*, mientras algunas como *Shigella* fermentan lactosa lentamente (Brock *et al.*, 1993).

La familia Pseudomonadaceae se caracteriza por estar formado por bacilos

rectos o ligeramente curvados con flagelación polar, son quimioorganotróficos que no muestran un metabolismo fermentativo; se pueden aislar del suelo y agua. Entre las principales especies se encuentran: *Pseudomonas diminuta*, *Ps. aeruginosa* y *Ps. cepacia* (Madigan *et al.*, 1999).

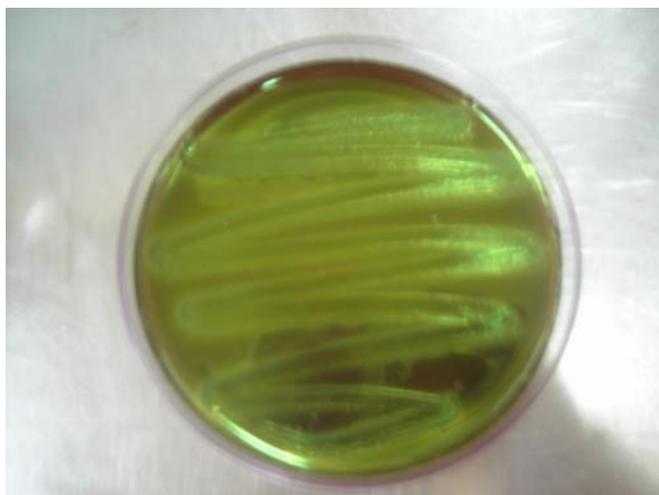


Figura 3: Cultivo de *Escherichia coli*

El grupo de *Vibrio*, comprende bacilos rectos y curvados, Gram negativos y aeróbicos facultativos, que poseen metabolismo fermentativo. La mayor parte de los *vibrios* tienen flagelación polar, aunque algunos son peritricos. Una característica clave que los distingue de las bacterias entéricas, es que estas son oxidasa positiva. En su mayoría son acuáticos; éste grupo comprende los géneros: *Vibrio* y *Pleisomonas*. Entre los *Vibrios* más importantes se encuentran: *Vibrio alginolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus* y *V. fluvialis*; se encuentran en la flora normal de muchos animales acuáticos, sin embargo, su virulencia es alta cuando las condiciones ambientales son adecuadas para provocar infección (Madigan *et al.*, 1999).

La familia Aeromonadaceae son Gram negativos, entre los cuales destacan

las especies de: *Aeromonas salmonicida* que en condiciones adecuadas provoca forunculosis y *A. hydrophila* que ocasionan septicemia hemorrágica en diversos organismos acuáticos, estas bacterias son muy agresivas cuando producen infección (Madigan *et al.*, 1999), además, de ser patógenos para humanos (Austin y Austin; 1999).

Metales pesados

La presencia de sedimentos anoxicos, propicia la presencia de algunos metales pesados como: el Plomo, metal de color azul, flexible, inelástico, que se funde con facilidad a 327,4 °C, se considera tóxico, ya que produce envenenamiento si es usado inadecuadamente y por exposición excesiva (Greenwood y Earnshaw, 1997); el Cadmio, que se encuentra en la corteza terrestre y siempre esta combinado con el Zinc; el cadmio puede ser ingerido por el humano, a través de los alimentos como, los hongos, mariscos, cacao y algas secas (Greenwood y Earnshaw, 1997); el Zinc metal maleable, dúctil y de color gris, es esencial para el desarrollo de muchas clases de organismos vegetales y animales y la deficiencia de este en la dieta humana deteriora el crecimiento, y la madurez de los organismos, además su carencia produce anemia (Greenwood y Earnshaw, 1997).

Acocil *Cambarellus montezumae*

El acocil *C. montezumae* pertenece a la orden Decápoda, familia Astacidae, que son crustáceos de aspecto robusto, comparado con las demás especies del género, miden aproximadamente 4 cm de longitud en estado adulto (Auró *et al.*, 2001). Su dimorfismo sexual es muy evidente, ya que las hembras son de mayor

tamaño que los machos, además, las hembras se distinguen por el abdomen que es mucho más ancho y más corto (Figura 4).



Figura 4. Acocil (*Cambarellus montezumae*)

Para crecer, el acocil debe pasar por la ecdisis o muda que consiste en el reblandecimiento del exoesqueleto. Por regla general se reproducen dos veces al año, el número de huevos depende del tamaño de la hembra y desde la ovoposición, estos se adhieren a la superficie ventral de la hembra, después de la eclosión permanecen bajo el abdomen dos semanas más alimentándose de los restos de vítelo y pasan por dos mudas para adquirir independencia locomotora. Posteriormente, el acocil muda una vez cada 14 o 15 días, hasta ya como adulto,

muda dos veces al año, una antes de la reproducción, y otra después de esta (Huner, 1991).

Los acociles son de los pocos crustáceos que habitan arroyos y depósitos lacustres continentales, por lo que son considerados cosmopolitas, ya que han logrado distribuirse en todos los continentes, en cuerpos de agua dulce lóticos, lénticos o hipogeos (Rodríguez- Serna y Carmona- Osalde, 2002). Viven, tanto en climas templados, como subtropicales, por lo que son los miembros más importantes, grandes y longevos de las comunidades macrobentónicas dulceacuícolas. Han invadido exitosamente una gran diversidad de hábitats, ya que son tolerantes a los cambios de humedad y temperatura (Espina *et al.*, 1993; Bückle *et al.*, 1994), sus características fisiológicas les permiten adaptarse a variaciones climáticas externas, así mismo, presentan la capacidad de asegurar la reproducción y supervivencia de su progenie frente a situaciones catastróficas. Es por eso que pueden permanecer largas temporadas enterrados y presentar actividad cuando las condiciones del medio se vuelven favorables (Avault, 1996), y así cuando presentan condiciones adversas utilizan su reserva proteica de inmediato (Brown, 1995). Se les ha clasificado como detritívoros (Avault y Brunson, 1990), herbívoros (Iheu y Bernardo, 1993), de hábitos oportunistas (D'Abramo y Robinson, 1989) y omnívoros (Villareal, 1991).

Los Cambáridos, usualmente se alimentan en el fondo de los cuerpos de agua, pues su incapacidad para nadar les impide capturar presas ágiles; se alimentan con pequeños invertebrados como: gusanos, moluscos, insectos, crustáceos, detritus (materia orgánica) y vegetación acuática, (Hessen y Skurdal, 1986); presenta adaptaciones gastrointestinales que le permiten cubrir la mayor

parte de estas demandas alimenticias (Syvokiené y Mickéniene, 1993). Sin embargo, en condiciones controladas aceptan cualquier tipo de alimento ya que presentan una alta digestibilidad hacia una amplia variedad de materiales (Jones y de Silva, 1997). Son de hábitos nocturnos, tolerantes a la baja calidad del agua, son capaces de vivir en lugares con un alto nivel de materia orgánica en descomposición.

El acocil cuenta con alto contenido en minerales, vitamina B (Huner, 1991) y posee valor nutricional semejante al del pescado, en cuanto a aminoácidos como leucina, isoleucina, glutamina, asparagina y cisteína (Cuadro 1).

Contenido nutricional en músculo del acocil <i>Cambarellus montezumae</i>	
Agua	80-83%
Proteínas	7-17%
Lípidos	0.5-2.8%
Calorías	732-4336 cal/kg

Cuadro 1 Contenido nutricional en músculo del acocil *Cambarellus montezumae* (Tomado de Gil y Alba, 2002).

México cuenta, en la actualidad, con varias especies de crustáceos que son utilizadas en prácticas acuícolas como el camarón y el langostino (Rodríguez-Serna y Carmona-Osalde, 2002); sin embargo, existen especies que por sus características podrían emplearse en este tipo de prácticas y a las cuales se les ha puesto poca atención, como en el caso de los Cambáridos, particularmente el

acocil *Cambarellus montezumae*. (Huner, 1981; Huner y Avault, 1985; Holdich y Lowery, 1988; Villareal, 1990; Rodríguez-Serna, 1999).

Objetivo General

Probar que los ambientes reducidos de los canales de Xochimilco pueden ser aprovechados para la producción *C. montezumae* para consumo humano.

Objetivos Particulares

1. Identificar los ambientes reducidos en los canales de Xochimilco.
2. Comprobar que los canales de Apatlaco y Cuemanco en Xochimilco son ambientes reducidos a través de:
 - 2.1. Determinar el ambiente acuático reducido de manera fisicoquímica registrando la temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez.
 - 2.2. Medir la actividad de las bacterias sulfato-reductoras y las bacterias sulfato-oxidativas en el sedimento de los ambientes reducidos en Xochimilco.
3. Identificar la presencia del acocil *C. montezumae* en ambientes reducidos.
4. Probar que el acocil *C. montezumae* puede ser consumido por el humano extraído de ambientes reducidos, a través de:
 - 4.1. Determinar las concentraciones de metales pesados encontrados en el sedimento de los canales; y establecer una comparación con los límites máximos permisibles para metales pesados en embalses naturales para uso agrícola y urbano.
 - 4.2. Identificar la carga bacteriana en el sedimento, en el agua y en los acociles extraídos de los ambientes reducidos en Xochimilco y establecer una comparación con los límites máximos permisibles de contaminación en embalses naturales para uso agrícola y urbano.

- 4.3. Analizar las concentraciones de metales pesados totales en el acocil, y establecer una comparación con los límites máximos permisibles de contaminación para crustáceos comestibles.
- 4.4. Determinar la calidad nutrimental del acocil extraído directamente de ambientes reducidos, a través del análisis químico proximal.

Material y Métodos

La selección de las zonas de muestreo se efectuó con base a que los canales debían tener una zona con actividades agropecuarias (zona agrícola) y una con asentamientos humanos (zona urbana) dentro de su afluente principal. Siguiendo estos criterios se ubicaron los canales de Apatlaco y el Antiguo Canal de Cuemanco (Fig 4). La toma de muestras en ambos canales fue sincrónico en el mes de octubre 2006.

Caracterización fisicoquímica

La temperatura del agua se midió a 15 cm de profundidad con termómetro de cubeta (APHA, 1992); el pH con un potenciómetro Hannan (Rodier, 1990), el oxígeno disuelto con un oxímetro YSI-85 y la turbidez con un disco de Secchi (APHA, 1992). Los parámetros se midieron cinco veces en diferentes puntos de cada zona y se registró el promedio.

Colecta de muestras

El agua de los canales se colectó en bolsas estériles, con tiosulfato de sodio, marca Nasco Whirl-Pak, a profundidad de 15 cm de la superficie.

De cada zona se extrajo 1 kg de sedimento con una draga tipo Ekman, a 10 cm de profundidad; de éstas muestras se extrajeron 10 ml de sedimento con jeringas estériles y se colocaron en bolsas con tiosulfato de sodio, ambas muestras se empacaron a 4°C (APHA, 1992, Machesky *et al.*, 2005) y se trasladaron al laboratorio de micro patología acuática de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Los acociles se colectaron al azar, con una red de cuchara de 70 cm de diámetro y 0,5 pulgadas de abertura de malla (Rodríguez-Serna y Carmona-

Osalde, 2002), se efectuó el mismo esfuerzo de captura en cada zona de acuerdo a la NOM-029-SSA1.

Procesamiento de muestras

Para determinar la actividad de las bacterias sulfato reductoras en el sedimento se tomó 1 gr de cada muestra se homogenizó en 99 ml de agua destilada estéril, se efectuaron diluciones a la décima desde 10^{-2} a 10^{-8} , 1 ml de cada dilución (10^{-4} , 10^{-6} y 10^{-8}) se inocularon en tubos de Vanille, por duplicado, previamente preparados con 4 ml de agar nutritivo más 1 ml de la mezcla de Cysteina y sal de Mohr. Una vez inoculados los tubos fueron sellados con parafina y se incubaron a temperatura ecológica, durante 24 h, y se contaron las colonias negras (Postegate, 1969).

Para medir la actividad de las bacterias sulfato oxidativas, se efectuaron titulaciones cada tercer día durante el mes de octubre y noviembre del 2006, se extrajeron con una pipeta automática 1 ml de cada dilución 10^{-4} , 10^{-6} y 10^{-8} (previamente preparadas) y se depositaron en matraces de 250 ml. Se añadió 1 ml de ácido sulfúrico concentrado y almidón al 2%, se tituló con 2 ml Iodo-Yoduro, finalmente se graficó el gasto de Yodo durante el tiempo que se efectuó la valoración, medido en días.

Se extrajeron 100 μ L de cada una de las diluciones anteriormente efectuadas y se sembraron, con una varilla de vidrio acodada, en placas de agar de eosina azul de metileno (EMB), *Salmonella-Shigella* (S-S) e infusión cerebro-corazón (BHI), por duplicado, y se incubaron a 34°C por 24h. Después de lo cual, se registró el número de unidades formadoras de colonias por mililitro (Díaz, 1998) (ufc/ml). De los frascos del homogeneizados originales, nuevamente se extrajeron

1000 µL de cada muestra y se sembraron en tubos con tapón de rosca de baquelita, con los medios de enriquecimiento de: caldo de tetrionato, al que se le agregó 1000 µL de Iodo-Yoduro; agua peptonada y caldo lactosado, y se incubaron a 35°C durante 24 h. Posteriormente 100 µl de los medios inoculados se sembraron en placas con medios de agar específicos de: S-S, TCBS y EMB respectivamente, por duplicado, y se incubaron nuevamente a 35°C durante 24 h. Después de resiembras sucesivas en placas con agar nutritivo, se obtuvieron cepas puras, lo cual se estableció por la homogeneidad de las colonias, misma que se confirmó por observación de morfología celular homogénea, con microscopio de contraste de fases. Se efectuó tinción de Gram a cada una de las cepas¹⁶. Se registró la morfología de caja de las colonias ya puras y se efectuó la identificación presuntiva, aplicando los criterios de Merck (1999). Por último se confirmó la identificación de las cepas Gram (-) con el sistema API-20E y API-20NE (Analytical Profile Index, 1997, 1989).

La determinación de metales pesados bio-disponibles en el sedimento y la determinación de metales pesados totales en acocil, se llevó a cabo con un espectrofotómetro de absorción de plasma con sistema de reacción octapolar, Agilent 7500ce series ICP-MS, en el laboratorio de Análisis Físicoquímicos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Se efectuó el análisis químico proximal a los acociles colectados utilizando los organismos completos, incluyendo el exoesqueleto. Los acociles se sacrificaron y se deshidrataron en la estufa a 60 °C durante 24 h; una vez afuera se enfriaron dentro de un desecador por 20 min después se molieron y se pesaron 10 g. A esta muestra se le aplicaron las técnicas descritas por la AOAC,

(1990); en el laboratorio de Análisis Bromatológicos de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Resultados

Se establecieron los Canales de Apatlaco y el de Cuemanco como áreas de muestreo, en los cuales se ubicaron 2 zonas, distribuidas a lo largo del canal: zona agrícola y zona urbana (Figura 5), se registró la presencia de acocil únicamente en la zona agrícola de Cuemanco.



Figura 5: Ubicación geográfica de las zonas de muestreo en los canales Apatlaco y Cuemanco en Xochimilco, México.

En las zonas de Cuemanco Urbano, Apatlaco Agrícola y Urbano se registraron temperaturas de 20°C en agua, y de 19,2 °C en la zona de Cuemanco Agrícola. El pH del agua se registró dentro del intervalo de 6,5-7,3 en las cuatro

zonas. En Cuemanco Urbano, Apatlaco Agrícola y Urbano se registró 40,5-45,0 mg/ml de oxígeno, y de 53 mg/ml en Cuemanco agrícola. En las tres primeras zonas se midieron 40 cm de turbidez, y 20 cm en Cuemanco agrícola (Cuadro 2).

Canal	Zona	Temperatura °C	pH	O ₂ mg/ml	Turbidez cm	Profundidad cm
Cuemanco	Agrícola	19.2	7.31	62	20	130
	Urbano	20.9	6.51	16	40	140
Apatlaco	Urbano	20.1	6.51	44.2	40	140
	Agrícola	20.4	6.42	35.9	40	130

Cuadro 2. Parámetros ambientales registrados en la zona de muestreo en las zonas Urbano y Agrícola de los canales Apatlaco y Cuemanco en Xochimilco, México DF.

La actividad de las bacterias sulfato reductoras se presentó 10 h después de inocularse los tubos de Vanille. En Cuemanco Agrícola se registró 3×10^6 unidades formadoras de colonias por gramo de peso húmedo (ufc g sed h), en Cuemanco Urbano 1×10^6 ufc g sed h, en Apatlaco la actividad se presentó 30 h después de depositar el inóculo, en la zona Agrícola se registró 2×10^6 ufc g sed h y en la zona Urbana 8×10^4 ufc g sed h. La actividad de las bacterias sulfato oxidativas en el canal de Cuemanco se mantuvo constante, el gasto de lodo Yoduro se registró dentro del intervalo de 0,15-0,20 ml; en el Canal de Apatlaco el gasto de lodo Yoduro fue de 0,1-0,3 ml (Figura 6 y 7).

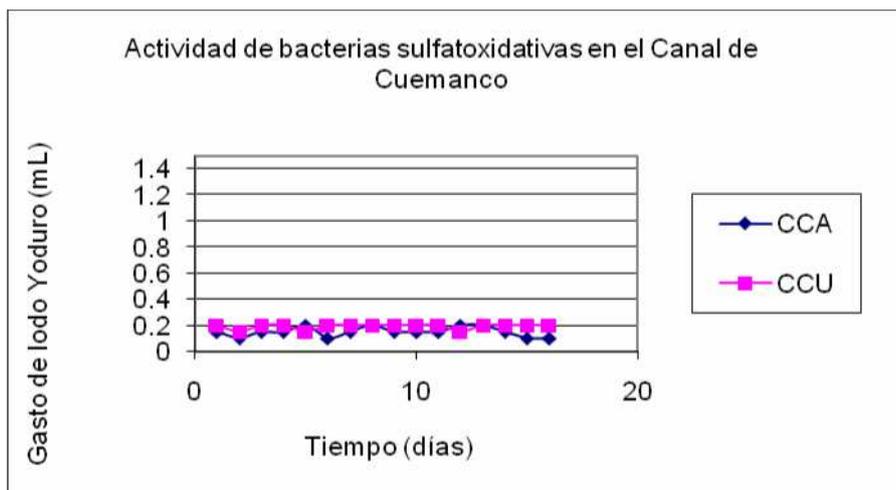


Figura 6: Actividad de bacterias sulfato oxidativas en el sedimento del canal de Cuemanco. A: Agrícola, U: Urbano.

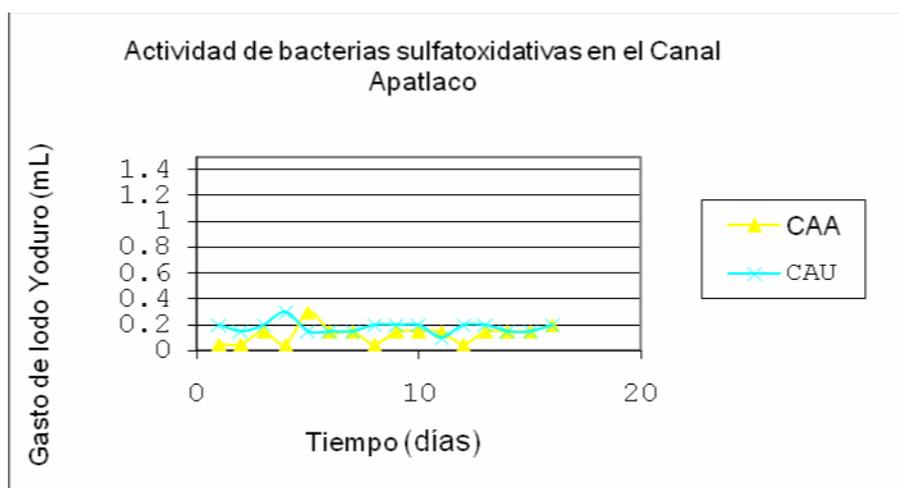


Figura 7: Actividad de bacterias sulfato oxidativas en el sedimento del canal de Apatlaco. A: Agrícola, U: Urbano.

El resultado del conteo de ufc/ml en placas de BHI, EMB y S-S, de las muestras de agua, sedimento y acocil de las zonas, Cuemanco Agrícola, Urbano y Apatlaco Agrícola, Urbano en Xochimilco se registró en el Cuadro 3.

Muestra	Medio	Cuemanco Agrícola	Cuemanco Urbano	Apatlaco Agrícola	Apatlaco Urbano
Agua	EMB	6×10^{14}	7×10^{13}	7×10^{14}	2×10^{14}
	BHI	2×10^{15}	3×10^{13}	7×10^{13}	1×10^{13}
	S-S	-	1×10^{13}	9×10^{13}	-
Sedimento	EMB	4×10^{14}	9×10^{14}	-	1×10^{13}
	BHI	1×10^{14}	1×10^{15}	2×10^{14}	2×10^{13}
	S-S	3×10^{14}	-	1×10^{14}	3×10^{13}
Acocil	EMB	3×10^3			
	BHI	6×10^3		-	
	S-S	-			

Cuadro 3. Carga bacteriana de muestras de agua, sedimento y acocil (ufc/ml) obtenida de las zonas Urbano y Agrícola de los canales Apatlaco y Cuemanco en Xochimilco, México DF. -No se registró

En las muestras de agua de la zona Cuemanco Agrícola se identificaron: *Aeromonas caviae*, *Aeromonas sobria*, *A. hydrophila* y *Vibrio fluvialis*, mientras que en sedimento se identificaron: *A. hydrophila*; en el acocil colectado en ésta zona se identificaron 11 especies: *Salmonella pullorum*, *Hafnia alvei*, *Serratia sp.*, *Ser. marcences*, *Pseudomonas diminuta*, *A. hydrophila*, *A. sobria*, *A. caviae*, *V. cholerae El Tor*, *V. fluvialis*, *Acinetobacter haemolyticus* (Cuadro 4).

Cuemanco				Apatlaco			
Agrícola			Urbano		Agrícola		
Agua	Sedimento	Acocil	Agua	Sedimento	Agua	Sedimento	
<i>Aeromonas caviae</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Salmonella pullorum</i>	<i>Pasteurella sp.</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Aeromonas caviae</i> ,	<i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>
<i>Aeromonas hydrophila</i>		<i>Hafnia alvei</i>	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella</i>
<i>Aeromonas sobria</i>		<i>Serratia sp.</i>	<i>Pseudomonas cepacia</i>		<i>Enterobacter cloacae</i>		<i>Enterobacter</i>
<i>Vibrio fluvialis</i>		<i>Serratia marcescens</i>			<i>Pseudomonas sp.</i>		<i>Pseudomonas</i>
		<i>Pseudomonas diminuta</i>			<i>Agrobacter radiobacter</i>		<i>Vibrio</i>
		<i>Aeromonas hydrophila</i>					
		<i>Aeromonas sobria</i>					
		<i>Aeromonas caviae</i>					
		<i>Vibrio cholerae El Tor</i>					
		<i>Vibrio fluvialis</i>					
		<i>Acinetobacter haemolyticus</i>					
4 especies	1 especie	11 especies	3 especies	2 especies	5 especies	2 especies	

Cuadro 4. Especies bacterianas identificadas en muestras de agua, sedimento y acocil; extraídas de las zonas urbanas y agrícolas de los canales Apatlaco y Cuemanco en Xochimilco, México DF

En la muestra de agua de la zona Cuemanco Urbana, se encontraron las enterobacterias: *Pasteurella sp.*, *Ps. putida* y *Ps. cepacia*; en la muestra de sedimento se identificaron dos especies: *Escherichia coli* y *A. hydrophila* (Cuadro 4).

En la muestra de agua de Apatlaco Agrícola se identificó *A. caviae*, *A. hydrophila*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas sp.* y *Agrobacter radiobacter*; en el sedimento de la misma zona se aislaron e identificaron: *A. hydrophila* y *E. coli*, (Cuadro 4). En la zona urbana del canal de Apatlaco se aislaron cepas pertenecientes a las cuatro principales familias de patógenos: Enterobacteriaceae, Pseudomonadaceae, Aeromonadaceae y Vibrionaceae. En el agua de ésta zona se identificaron: *A. hydrophila*, *Salmonella sp.*, *Ent. aerogenes*, *Pseudomonas sp.* y *V. parahemolyticus*; en el sedimento se identificaron: *E. coli*, *Ps. diminuta*, *Ps. aeruginosa* y *V. algionolyticus* (Cuadro 4).

La determinación de los metales pesados bio-disponibles en el sedimento de las cuatro zonas, indicó la presencia de 13 diferentes metales, Cr^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{4+} , Hg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Ba^{2+} , V^{5+} , Co^{2+} y Ag^{1+} (Cuadro 5). Las concentraciones de metales pesados totales determinados en el acocil *C. montezumae*, fueron las mismas que se presentaron en sedimento entre los cuales destacan: el Aluminio, con 255,330 mg/ Kg; el Hierro, con 126 mg/ Kg; Zinc, con 75 mg/ Kg; Cobre, con 50,385 mg/ Kg y Bario, 33,222 mg/ Kg, (Cuadro 6).

Metal	Cuemanco	Cuemanco	Apatlaco	Apatlaco	Límites máximos
bio-disponible	agrícola	urbano	agrícola	urbano	permitidos* NOM-
mg/kg					127-SSA1
					** NOM-004-
					SEMARNAT

Al	4,39226	3,34904	8,54290	8,84673	0,20*
V	0,29969	0,83630	0,72265	1,20648	
Cr	0,04315	0,01387	0,05011	0,07079	1200-3000**
Fe	151,92645	189,26761	28,83922	222,04117	0,30*
Co	0,08864	0,16839	0,03636	0,33197	
Ni	0,63728	0,96477	0,19637	1,07673	420-420**
Cu	0,02583	0,01977	<0,01507	0,04432	1500-4300**
Zn	0,21830	5,89342	0,92643	7,83831	2800-7500**
Ag	<,01477	<0,01477	<0,01477	<0,01477	
Cd	<0,02758	<0,02758	<0,02758	<0,02758	39**
Ba	8,71966	8,23230	2,77046	5,75583	0,70*
Pb	0,03024	0,07715	0,03314	0,08975	300-840**
Hg	0,04223	0,02975	0,07963	0,09213	17-57**

Cuadro 5. Metales pesados bio-disponibles registrados en sedimento extraído de las zonas Urbano y Agrícola de los canales Apatlaco y Cuemanco en Xochimilco, México DF.

Metales pesados totales en el acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure, 1857)

mg/kg

Al	V	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Ba	Pb	Hg
255,330	1,26	0,680	126	0,411	4,893	50,385	75	1,717	0,042	33,222	0,644	0,025

Cuadro 6. Metales pesados totales obtenidos de los *C. montezumae* extraídos del canal de Cuemanco en la zona agrícola de Xochimilco, México DF.

El resultado del análisis químico proximal efectuado en los acociles colectados; en base seca, registró un porcentaje de proteínas totales de 62,12%, en grasa 6,27%, en cenizas 16,93% y en fibra 7,90% (Cuadro 7).

Base seca	
Nutrimento	% Acocil
Proteínas	62,12
Grasa	6,27
Cenizas	16,93
Fibra	7,90

Cuadro 7. Calidad nutrimental del acocil *C. montezumae*, completo, incluyéndose exoesqueleto, hepatopáncreas y cabeza extraído del canal de Cuemanco zona Agrícola de Xochimilco México DF.

Discusión

De acuerdo con Smith (1992), la variación de la turbidez se debe a la presencia de algas filamentosas, que al invadir el cuerpo de agua propician el incremento en la turbidez e impiden el paso de luz (Landaw, 1991), y en la zona agrícola de Cuemanco se registró incremento en la concentración de oxígeno debido a la proliferación de algas, en comparación con las otras tres zonas de muestreo en donde no hubo presencia de algas y los niveles de oxígeno son menores.

Según Ramos-Bello (*et al.*, 2001), un sedimento anóxico se debe al pH alcalino, el cual disminuye la aireación y la permeabilidad de los suelos, propiciando condiciones reductoras, característica registrada en la zona de Cuemanco, en donde la actividad de las bacterias sulfato reductoras registró los niveles más altos, lo que concuerda con Madigan (*et al.*, 1999) y Postgate (1969), quienes mencionan que la mayor concentración de bacterias sulfato reductoras se encuentra en sedimentos reducidos. La actividad de las bacterias sulfato oxidativas es causada por los organismos que oxidan el H₂S con mayor rapidez, esto ocurre cuando el pH de la zona óxica del cuerpo de agua es neutro, este fenómeno se presentó en los canales de Xochimilco, ya que el pH que registró en agua, fue neutro (Häubi, 2004), lo que induce las reacciones de oxidación del sulfuro procedente del sedimento anóxico (Madigan *et al.*, 1999).

Los límites máximos establecidos por la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT, de protección ambiental- lodos y biosólidos- que establece “las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final”, establece 1×10^3 ufc/ml para coliformes

totales y de 3 ufc/ml de *Salmonella sp.*, al registrarse intervalos entre 3×10^{13} ufc/ml y 9×10^{13} ufc/ml de coliformes fecales y *Salmonella sp.* en los cuatro puntos de muestreo en los tres tipos de muestras, se superaron los límites permisibles, sin embargo, esto no es determinante para desechar esta zona como un sistema potencial para la producción acuícola, ya que se ha comprobado que no existen diferencias significativas en cuanto a la cantidad de ufc/ml aisladas en peces extraídos de zonas contaminadas con un alto contenido bacteriano, en comparación con peces extraídos de sistemas controlados y con bajo contenido bacteriano dado que detallados estudios revelan que la superficie de las branquias son poblados por una diversidad de bacterias refleja grupos generalmente presentes en agua, (Apun *et al.*, 1999; Machesky *et al.*, 2005).

A pesar de tener importante carga bacteriana y diversidad de especies registradas en acocil, estas no se han registrado como patógenos para el *C. montezumae*, posiblemente debido a que este organismo posee con un sistema de inmunidad natural contra bacterias de las familias Aeromonadaceae, Pseudomonadaceae, Vibrionaceae y Enterobacteriaceae (Vázquez *et al.*, 1998; Dias, 2000; Rodríguez y Le Moullac, 2000). La presencia de *Pasteurella sp.*, en muestras de agua, en el canal de Cuemanco urbano, no significa ningún tipo de riesgo para el acocil ni para su consumidor, debido a que estas bacterias forman parte de la flora normal del tracto respiratorio y gastrointestinal de muchos organismos acuáticos (Brown, 2000).

El aislar en el canal Cuemanco, *E. coli*, enterobacteria oportunista con patogenicidad potencial (Madigan *et al.*, 1999), indicó el desagües de aguas residuales de uso domestico y pecuario, por lo que este canal recibe mayor

descarga de contaminantes por productos de desecho antropogénico (Juárez-Figueroa *et al.*, 2003; Petersen y Dalsgaard, 2003; Angulo, 2000).

La actividad agropecuaria que se desarrolla en Canal de Apatlaco Agrícola, propicia la contaminación fecal del agua, indicada por la presencia de las cepas *Agrobacter radiobacter* y *Enterobacter cloacae*, las cuales pertenecen al grupo de las coliformes (Madigan *et al.*, 1999).

Según Madigan (*et al.*, 1999), la presencia en agua de *Salmonella sp.* y *Ent. aerogenes*, indican contaminación proveniente de descargas de aguas residuales, esto ocurre en el canal de Apatlaco Urbano, ya que al tener asentamientos humanos en donde los desagües se liberan directamente al canal, generado un foco de infección. En esta zona se registró la presencia de *V. parahaemolyticus*, patógeno de peces y del humano (Brown, 2000).

En México, no existen normas ambientales que establezcan los límites máximos permisibles de metales pesados para sedimentos en cuerpos de agua naturales (Monroy *et al.*, 2002); sin embargo, en el año 2003 la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales publicó la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT, que decreta los límites máximos permisibles de contaminación por metales pesados en sólidos y bio-sólidos, de acuerdo con la cual las concentraciones de, Cr^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{4+} y Hg^{2+} registradas en todos los puntos muestreados, no rebasan los límites máximos permisibles establecidos en ellas. Las bajas concentraciones de estos metales se pueden atribuir a que las bacterias sulfato reductoras al generar sulfuro de hidrogeno, causan la precipitación de los metales solubles e insolubles biodisponibles y los transforman en compuestos utilizables (Madigan *et al.*, 1999; Webb *et al.*, 1998), por lo que ya

no se encuentran disponibles en el sedimento. Otro factor importante fue el pH, ya que si este es mayor de 6,0 y existe un alto nivel de materia orgánica y arcilla, se conserva una baja actividad de los iones de los metales en solución. Además, a pH elevado no se presentan problemas de toxicidad por un incremento en la disponibilidad de los metales, ya que son casi totalmente adsorbidos, fijados o precipitados al sedimento (Ramos-Bello *et al.*, 2001).

En la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, no se consideran los metales pesados: Al^{3+} , Ag^{1+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , V^{5+} y Ba^{2+} , los cuales también fueron registrados en las muestras de sedimentos de ambos canales, únicamente Ba^{2+} y Fe^{2+} son considerados en la norma NOM-127-SSA1 (límites máximos permisibles para uso de agua potable), según ésta se deduce que ambos metales exceden los límites máximos permisibles en los dos canales, sin importar que tipo de zona es, esto se debe a la actividad de las bacterias sulfato reductoras, ya que según Webb (*et al.*, 1998), estas al producir ácido sulfhídrico, provocan la precipitación del Fe^{2+} , Mn^{2+} , y Zn^{2+} disolviéndolos como sulfitos de metal, por lo que la bio-disponibilidad de estos tres metales se reduce (Webb *et al.*, 1998).

La presencia de metales pesados totales en acocil, se debe a la bio-disponibilidad de estos en el sedimento. Los crustáceos cuentan con diversos mecanismos metabólicos por los que incorporan y almacenan en el exoesqueleto metales pesados, (Pb^{4+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) que utilizan y posteriormente cuando se saturan de estos, poseen la capacidad de expulsarlos (Ahearn *et al.*, 2004; Mardsen y Rainbow, 2004; Gherardi *et al.*, 2001).

Debido al tamaño y características corporales del *C. montezumae*, este se puede ingerir en su totalidad, incluyéndose el exoesqueleto, por tal motivo se

determinó el contenido proteico en el organismo completo, esto registró mayor contenido proteico con una diferencias de 45,12 %, en comparación con el nivel de proteínas, 17%, registrado en músculo, por Gil y Alba (2002), esta diferencia podría deberse, además, a que los acociles que habitan en ambientes reducidos se alimentan de materia orgánica y otros invertebrados que son fuente de proteínas.

Conclusiones

A pesar de que el ambiente reducido estudiado rebasó los límites máximos permisibles de carga bacteriana y de los metales pesados Fe^{2+} y Ba^{2+} , se puede utilizar para la producción de *C. montezumae*, ya que el acocil no sobrepasó los niveles permisibles de metales pesados que lo podrían haber hecho tóxico; aun cuando el acocil contiene diversas especies bacterianas, algunas con importancia patogénica, no se consideran de riesgo para la salud humana, ya que entre los usos y costumbres de los pobladores de la región, principales consumidores de este producto, estos organismos antes de ser comercializados y/o consumidos se someten a dos procesos de desinfección; de cocción con agua hirviendo y asándolos a fuego directo, por medio de los cuales el producto pierde el riesgo de estos microorganismos; además, el acocil al ser excelente fuente de proteínas, fibra y grasa puede ser consumido por el humano.

Referencias

- A.O.A.C. Official methods of analysis. 15th Ed Washington: Association of Official Agricultural Chemists, 1990.
- Ahearn GA, Mandal PK, Mandal A. Mechanism of heavy-metal sequestration and detoxification in crustaceans: a review. *J comp. Physiol. Biol.* 2004; 174: 439-452.
- Analytical Profile Index. *Enterobacteriaceae and other Gram negative Bacteria*. 4th ed. France: BioMerieux, 1997.
- Analytical Profile Index. *Enterobacteriaceae and other Gram negative Bacteria*. 9th ed. France: BioMerieux, 1989.
- Angulo F. Agentes microbianos en acuicultura: impacto potencial en la salud pública. *Enfermedades infecciosas y Microbiología* 2000; 20 (6):217-219.
- APHA. Standard Methods for examination of water and wastewater. 14th ed. Washington: American Public Health Association, 1992.
- Apun K, Yusof AM, Jugang K. Distribution of bacteria in tropical freshwater fish and ponds. *Int J. Environ Health Res* 1999; 9: 285-292.
- Auro AE, Fregoso MC, Ocampo LC, Sumano HL, Osorio DS. Evaluación del crecimiento de carpas (*Cyprinus carpio var. rubrofuscus*) y acociles (*Cambarellus montezumae*) en bicultivo, alimentados con ensilado de cerdaza empastillado, en un embalse artificial y en tanques de fibra de vidrio. 1er congreso internacional virtual de Ciencia, Biodiversidad y tecnología agropecuaria. 2001. PA08.
- Austin B, Austin DA. Bacterial Fish Pathogens. Ellis Horwood Limited. Chichester, England. 1999.
- Avault, JW, Brusnon MW. Crawfish forage and feeding systems. *Reviews in Aquatic Science* 1990; 3(1):1-10.
- Avault, JW. Fundamentals of aquaculture. Louisiana USA: Publishing Company Inc. Baton Rouge, 1996.
- Bachere E. Shrimp immunity and disease control. *Aquaculture* 2000; 191:3-11.
- Barg UC. Orientación para la promoción de la ordenación medio ambiental del desarrollo de la acuicultura costera. *FAO Documentos técnicos de pesca Fisheries Technical* 1992; 138.

- Brock Thomas D, Smith David W, Madigan Michael T. Microbiología. Segunda edición en español; Argentina: Hispanoamericana, SA 1993.
- Brown L. Acuicultura para veterinarios: Producción y clínica de peces. Zaragoza España: Acribia SA Zaragoza: España, 2000.
- Brown PB. Physiological adaptations in the gastrointestinal tract of crayfish. Amer. Zool 1995; 35: 20-27.
- Bückle-Ramírez LF, Díaz-Herrera F, Correa-Sandoval F, Baron-Sevilla B, Hernández-Rodríguez M. Diel thermoregulation of the crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Cambaridae) Biol 1994; 19 (6): 419-422.
- D'Abramo LR, Robinson EH. Nutrition of crayfish. Reviews in Aquatic Sci 1989;1 (4): 711-728.
- Dias Bairy. Biochemical response in penaeids caused by contaminants. Aquaculture 2000; 191: 163-168.
- Díaz R, Gamanzo C, López Gl. Manual práctico de microbiología. España: MASSON, 1998.
- Elsner I. Situación actual del recurso agua en la zona chinampera de Xochimilco. México DF: UNESCO, 2005.
- Erler D, Pollard P, Duncan P, Kniibb W. Treatment of shrimp farm effluent with omnivorous finfish and artificial substrates. Aquaculture Res 2004; 35:816-827.
- Espina S, Díaz-Herrera F, Bucle-Ramírez I. Preferred and avoided temperatures in the crayfish *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae). Biol 1993; 18 (1): 35-39.
- Gherardi F, Barbaresi S, Vaselli O, Bencina A. A comparison of trace metal accumulation in indigenous and alien freshwater macro-decapods. Mar. Fresh. Behav. Physiol. 2001; 35(3): 179-188.
- Gil-Sánchez, Alba-Torcedor. Ecology of the native and introduced crayfishes *Astropotamobius pallipes* and *Procambarus clarkii* in southern Spain implications for conservation of the native species. Biol Conserv 2002, 105: 75-7.
- Greenwood NN, Earnshaw A. Chemistry of the elements. Segunda Edición. Blackwell Scientific Publications. Oxford 1997.
- Haack-Sheridan, Fogarty Lisa R, West Toby G, Alm Elizabeth W, McGuire Jennifer T, Long David T, Hyndman David W, Forney Larry J. Spatial and temporal

- changes in microbial community structure associated with recharge influenced chemical gradients in a contaminated aquifer. *Environ Microbiol* 2004; 6(5): 438-448.
- Häubi SC. Teoría Ácido - Básico de Stewart: Aplicaciones prácticas de una nueva teoría de la regulación del pH en los sistemas biológicos. México: Cigoma, 2004.
- Hessen DO, Skurdal J. Analysis of food utilized by the crayfish *Astacus astacus* in the lake Steinstjorden S. E. Norway. *Freshwater Crayfish* 1986; 6: 187-193.
- Hiney M, Stanley C, Smith AC. The influence on the survival of colony forming ability of *Aeromonas salmonicida* in laboratory microcosmos. *Aquaculture* 2002; 212: 11-19.
- Holdich DM, Lowery RS. Freshwater crayfish: biology, management and exploitation. 2 edición. London: Croom Helm Edtion, 1988.
- Holmer MS, Henn KC, Kasper WC, Andersen FO. Sulfate reduction in lake sediments inhabite by the isoetid macrophytas *Uttorella uniflora* and *Isoetes lacusuis*. *Aquaculture Botany*. 1998; 60: 307-324.
- Huner JV, Avaultt JW. Crawfish culture in the United State. In Huner JV. y Brown EE. (Eds.) Crustacean and mollusk. *Aquaculture in the United State*. Westport Connecticut Avi. Publ. Co: 1985.
- Huner JV. Aquaculture of freshwater Crayfish. En C.E Nash, *Production of aquatic Animals*, World Animal Science, Elsevier Science Publisher B.V. Amsterdam 1991; 2:45-46.
- Huner JV. Information about the biology and culture of the red crawfish *Procambarus clarkii* (Girad, 1852) (Decapoda: Cambaridae) for fisheries managers in Latin America. *An. Inst. del mar y Limnología, UNAM* 1981; 8 (1): 43-50.
- Iheu M, Bernard JM. Experimental evaluation of food preferences of red shrimp crayfish, *Procambarus clarkii*: vegetable versus animal. *Freshwater Crayfish* 1993; 9: 359-364.
- INEGI Anuario Estadístico del Distrito Federal. Marco Geo estadístico 1995 (b) Superficie de la República Mexicana.1999.
- Jackson JC, Preston N, Burford MA, Thompson PJ. Maning the development of sustainable shrimp farming in Australia: the role of sedimentation ponds in treatment of farm discharge water. *Aquaculture* 2003; 226:23-34.

- Jones PL, De Silva SS. Apparent nutrient digestibility of formulated diets by the Australian freshwater crayfish *Cherax destructor* Clark (Decapoda. Parastacidae) *Aquaculture Research* 1997; 28: 881-891.
- Jorgensen BB. The microbial sulphur cycle. *Microbial geochemistry*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983.
- Juárez-Figueroa LA, Silva-Sánchez J, Uribe-Salas FJ, Cifuentes-García E. Microbiological indicators of water quality in the Xochimilco canals, Mexico City. *Salud Pública de México* 2003; 45 (5):389-395.
- Landaw M. *Introduction to aquaculture*. John Wiley & Sons. USA 1991.
- Le Moullac G. Haffner P. Environmental factors affect immune responses in crustacea. *Aquaculture* 2000; 191: 121-131.
- Lesser-Illanes. Cómo proteger y recargar los mantos acuíferos del valle de Anáhuac. *La Jornada*, 2002 octubre 02; México DF www.jornada.unam.mx.
- Machesky ML, Slowikowski JA, Cahill RA, Bogner CW, Marlin JC, Holm TR, Darmody RG. Sediment quality and quantity issues related to the restoration of backwater lakes along the Illinois River waterway. *Aquatic ecosystem health and management society* 2005; 8(1):33-40.
- Madigan TM, Martinko MJ, Parker J. *Biología de los microorganismos*, 8^{va} ed. Madrid: Prentice Hall, 2000.
- Manual de medios de cultivo Merck. Darmstadt Alemania, 1999.
- Mardsen ID, Rainbow PS. Does the accumulation of trace metal in crustaceans affect their ecology- the amphipod example? *J Exp Mar Bio Eco* 2004; 300: 373-408.
- Monroy M, Díaz-BF, Razo I, Carrizales L. Evaluación de la contaminación por Arsénico y metales pesados (Pb, Cu, Zn) y análisis de riesgo en salud en Villa de la paz-Matehuala, S.L.P. Instituto de metalurgia U.A.S.L.P. 2002.
- Moriarty DJW. The role of microorganisms in aquaculture ponds. *Aquaculture* 1997; 151: 333-349.
- Mustafa MH. The present situation of freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) in Turkey. *Aquaculture* 2003; 230:181-187.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.
- Norma Oficial Mexicana NOM-029-SSA1-1993

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

Ota H, Kinjo S. Nature farming and shrimp production in South America. Seventh International Conference on Kyusei Nature Farming. Proceedings of the conference held at Christchurch, January 2002 15-18; Nueva Zelanda Bangkok: Asia Pacific Natural Agriculture Network (APNAN), 2003: 226-228.

Petersen A. Dalsgaard A. Antimicrobial resistance of intestinal *aeromonas spp.* And *enterococcus spp.* In fish cultured in integrated broiler-fish farms in Thailandia. Aquaculture 2003; 219: 71-82.

Postgate JR. The Sulphate-Reducing Bacteria Cambridge: University Press, 1969.

Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-022-PESC-1994.

Ramos-Bello R, Cajuste JL, Flores-Román D, García-Calderón NE. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. Agrociencia 2001; 35:385-395.

Rodier J. Análisis de las aguas. 2^{da} ed. Barcelona: Omega, 1990.

Rodríguez-Serna M, Carmona-Osalde C. Balance energético del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustacea Astacidae Cambridge) pérdida de energía en la tasa metabólica. Universidad y Ciencia 2002; 18 (36):128-134.

Rodríguez-Serna M. Biología y Sistemática de los Cambáridos del sudeste de México y su potencial aprovechamiento en la acuicultura (tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas). México DF: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa 1999.

Rodríguez J, Le Moullac G. State of the art of immunological tolols and healt control of penaeid shrimp. Aquaculture 2000 (191): 109-119.

Smith MG. Manual of phycology an introduction to the algae and their biology. New York:The Ronald Press company, 1992.

Syvokiené J, Mickéniené L. The activity of gut bacteria of the crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana), in producing essential free amino acids. Freshwater Crayfish 1993; 9: 235-240.

Ulrich GA, Krumholz LE. A rapid and simple method for estimating sulfate reduction activity and quantifying inorganic. Appl Environ Microbiol 1997; 63 (4): 16-27.

- UNESCO. Proyecto para la identificación participativa de un plan de Rehabilitación integral del patrimonio cultural de Xochimilco. México DF UNESCO, 2005.
- Vázquez L, Sierra C, Juárez S, Agundis C, Zavala A, Zenteno E. Mecanismo de inmunidad en crustáceos. *Interciencia* 1998; 23 (6):344-348.
- Villareal H. Effect of temperature on oxygen consumption and Herat rate of the Australian crayfish *Cherax tenuimanus* (Smith). *Physiol* 1990; 1: 189-193.
- Villareal HA. Partials energy budget for the Australian crayfish *Cherax tenuimanus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 1991; 22: 252-259.
- Webb Mc Guinness, Lappin Scott, Webb Jeremy S. Metal removal by sulphate-reducing bacteria from natural and constructed wetlands. *J. of App Microbiol* 1998; 84 (2):240-248.
- Yiyong Z, Jianqui M, Zhang. Kinetics of alkaline phosphatase in lake sediment associated with cage culture. 2001.