

Aptitud del Suelo de la Zona Costera del Departamento de Córdoba (Colombia) para la Piscicultura

Soil Suitability in the Coastal Area of the Department of Córdoba (Colombia) for Fish Culture

Misael Enrique Oviedo Pastrana¹; Óscar Antonio Puerta Avilés²; Samir Benicio Bru Cordero³; Víctor Julio Atencio García⁴ y Sandra Clemencia Pardo Carrasco⁵

Resumen. Se evaluó la aptitud del suelo de la región costera del departamento de Córdoba (Colombia), para el cultivo de peces. Se tomaron muestras de suelos, a tres profundidades, en 62 sitios; a las cuales se les midió pH, materia orgánica (MO), fósforo (P), textura e hierro (Fe). Mediante un SIG, los resultados de los parámetros estudiados, las coordenadas de los sitios y la cartografía relacionada se incorporaron en la base de datos del software ArcGIS 9.3 y asociados a las herramientas de análisis espacial para realizar interpolación y generación de mapas temáticos de la aptitud del suelo para piscicultura. Los valores promedio de pH ($6,67 \pm 0,76$), MO ($0,51 \pm 0,34\%$) y P ($19,62 \pm 26,99$ ppm) se encontraron dentro del rango para cultivo de peces. La alta concentración de Fe ($26,34 \pm 22,65$ ppm) fue considerada la variable más crítica para la aptitud del suelo para la piscicultura, principalmente en las áreas con pH bajo. El mapa de aptitud del suelo, generado con la integración de las variables estudiadas, permitió identificar 123.625 ha como moderadamente aptas (67,4%), 53.909 ha como aptas (29,3%) y solamente 6.093 fueron consideradas no aptas (3,3%). Sin embargo, este resultado debe ser correlacionado con otras variables como topografía, cobertura vegetal, uso del suelo, disponibilidad hídrica, calidad hídrica, capacidad de drenaje, restricciones ambientales y aspectos socioeconómicos de la región.

Palabras clave: Sistemas de información geográfica, sistemas tropicales con agua dulce, microembalses, evaluación ambiental.

Abstract. The study was doing to assess the suitability of soil in the coastal region of Cordoba department (Colombia), for fish farming. Soil samples were taken in 62 locations at 20, 70 and 140 cm deep and measured pH, organic matter (OM), phosphorus (P), texture and iron (Fe). Using GIS, results of the studied parameters, coordinates and cartography of related sites were built into the software database of ArcGIS 9.3 and associated to spatial analysis tools for interpolation and generation of thematic maps of soil suitability for fish farming. The average values of the parameters for pH (6.67 ± 0.76), MO ($0.51 \pm 0.34\%$), P (19.62 ± 26.99 ppm), were within the range to fish farming. The high concentration of Fe (26.34 ± 22.65 ppm) was considered the most critical parameter, especially for areas with low pH. The soil suitability map generated by the integration of the parameters studied, identified 123,625 ha as moderately suitable (67.4%), 53,909 ha were considered suitable (29.3%) and only 6,093 ha were rated unfit (3.3%). However, this result should be correlated with other attributes such as topography, vegetation, land use, water availability, water quality, drainage capacity, environmental constraints and socio-economics of the region.

Key words: Geographic information systems, freshwater tropical systems, small reservoirs, environmental assessment.

A nivel mundial, nacional y regional se observa un incremento de la piscicultura como actividad productora de alimentos para consumo humano (CCI-MADR, 2009; FAO, 2009). En la zona costera del departamento de Córdoba (Colombia), existe interés por desarrollar esta actividad especialmente en el corregimiento La Doctrina (Lorica, Córdoba), donde se han establecido algunas granjas piscícolas

en un distrito de riego tradicionalmente dedicado al cultivo de arroz y ganadería; otros proyectos acuícolas han sido ubicados alrededor de la zona de manglar (Defensoría del Pueblo, 2005).

La piscicultura, como cualquier proyecto productivo, puede generar impactos ambientales que afectan la sociedad, la actividad misma y el medio ambiente;

¹ Médico Veterinario Zootecnista. Universidad de Córdoba - Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia. <m_oviedo2000@yahoo.com>

² Profesor Catedrático. Universidad de Córdoba - Facultad De Ciencias Básicas e Ingenierías - Departamento de Geografía y Medio Ambiente. Carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia. <geopuerta@hotmail.com>

³ Profesor Asistente. Universidad de Córdoba - Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia - Departamento de Ciencias Acuícolas. Carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia. <samir_bru@hotmail.com>

⁴ Profesor Titular. Universidad de Córdoba - Facultad de. Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia. <vatencio@hotmail.com>

⁵ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Producción Animal. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <scpardoc@unal.edu.co>

Recibido: Mayo 17 de 2011; aceptado: Marzo 5 de 2012.

por lo cual se han propuesto indicadores para evaluar la eficiencia en el empleo de alimentos, suelo y agua (Boyd *et al.*, 2007), debido a que son los principales aspectos que son impactados. En el caso del suelo, su inapropiado uso para acuicultura puede conducir al desaprovechamiento de los recursos naturales, degradación del medio ambiente, generación de pobreza y de otros conflictos sociales (Giap *et al.*, 2005). La planificación del cultivo de peces se ha dificultado por la falta de información sobre la disponibilidad de recursos, lo que conduce a una inadecuada selección de áreas y a la expansión desordenada de la industria, generando pérdidas económicas y el surgimiento de conflictos ambientales (Ross *et al.*, 1993; Kapetsky *et al.*, 1988).

Los sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta que permite integrar y analizar una gran diversidad de datos relacionados con un espacio geográfico conocido, pudiendo ser utilizados en diversas aplicaciones como manejo de los recursos naturales y ordenamiento territorial (Alonso *et al.*, 2003). Kapetsky y Nath (1997) utilizaron un SIG para estimar el potencial de la acuicultura en aguas dulces de América Latina, las zonas más favorecidas fueron la parte central y sur de Suramérica. Según estos autores, en Colombia, el 25% de los suelos del territorio nacional se clasificaron como aptos y muy aptos para la construcción de estanques piscícolas, sobresaliendo el Urabá antioqueño, parte de Córdoba, costa sur del Pacífico y gran parte de los Llanos Orientales.

La calidad del suelo está relacionada con su productividad (Jaenicke y Lengnick, 1999); conocer sus propiedades es necesario para una adecuada planificación, diseño y construcción de estanques para piscicultura (Hajek y Boyd, 1994). Durante muchos años poca atención se le ha dado a la calidad del suelo del fondo de los estanques para acuicultura, a pesar de su evidente importancia en la determinación de la calidad del agua en el estanque (Boyd *et al.*, 2002). El objetivo fue determinar la calidad del suelo de la región costera del departamento de Córdoba para el cultivo de peces y elaborar un mapa de aptitud mediante la caracterización de variables físicas y químicas a través de un SIG, contribuyendo al ordenamiento de la piscicultura en la región costera cordobesa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Fue evaluada una extensión de aproximadamente 183.627 ha en la zona costera

del departamento de Córdoba, localizada entre las coordenadas 09° 24,48' 73" a 08° 51,28' 10" de latitud Norte y 75°42,46'74" a 76°25,21'07" de longitud Oeste, comprendiendo los municipios de San Antero, San Bernardo del Viento, Moñitos, Puerto Escondido, parte de Los Córdoba y Santa Cruz de Lorica (Figura 1).

Sitios de muestreo. Inicialmente se realizó una exploración cartográfica del terreno, identificando vías de acceso, centros poblados, afluentes y ecosistemas predominantes. Se identificaron cuerpos de agua factibles de ser usados en la producción piscícola y con base en ese criterio, cerca a cada uno de ellos se tomó una muestra de suelo, resultando en total 62 sitios muestreados (Figura 1).

Toma y análisis de muestras de suelo. En cada sitio se efectuaron excavaciones con un barreno y se tomaron muestras de aproximadamente 2 kg a 20, 70 y 140 cm de profundidad. Cada muestra se empacó y rotuló adecuadamente (fecha, hora, sitio, coordenada geográfica) y luego fue llevada al Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad de Córdoba. A cada muestra se le determinó textura con el hidrómetro de Bouyoucos; potencial de hidrógeno (pH medido por potenciometría en una suspensión de suelo:agua en proporción 1:1), materia orgánica (MO) por el método de combustión húmeda de Walkley -Black; fósforo (P) por el método de Bray II y hierro (Fe) por extracción doble ácido y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica. Luego de realizados los análisis a cada profundidad (3) en cada punto (62), estos tres datos fueron promediados para obtener un valor por punto. Todos los sitios muestreados fueron georeferenciados con un sistema de posicionamiento global (Garmin-GPSMAP® 60CSx, Reino Unido), como procedimiento básico para la inclusión de la información en la base de datos del SIG.

Levantamiento de información secundaria. Información complementaria sobre las características de los suelos de la costa cordobesa, fue consultada en los planes de ordenamiento territorial de los municipios involucrados y en investigaciones relacionadas. En el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) se obtuvo toda la cartografía relacionada con el área de estudio.

Procesamiento y análisis de la información. Las coordenadas de los sitios de muestreo y los resultados de los parámetros evaluados fueron tabulados e incorporados junto con la cartografía correspondiente

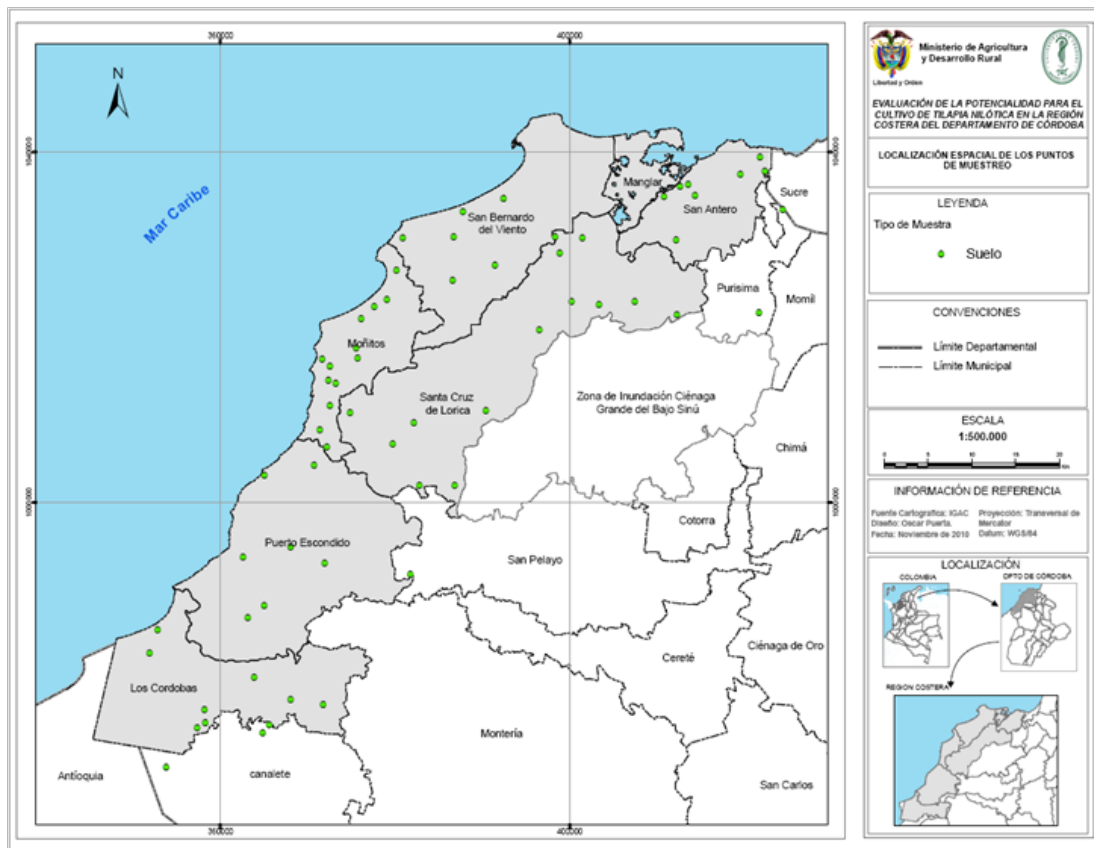


Figura 1. Sitios de muestreo de suelo en la zona costera del departamento de Córdoba (Colombia), para evaluar la aptitud de la región para la construcción de estanques piscícolas.

en la base de datos del software ArcGIS, versión 9.3 del Environmental Systems Research Institute. Los datos obtenidos en las tres profundidades fueron promediados para obtener una información más representativa de cada sitio con respecto a la construcción de estanques para piscicultura. Con el valor promedio de cada parámetro se realizó la modelación espacial, pasando la información del formato vectorial al ráster, posteriormente, se hizo extrapolación de datos utilizando las herramientas de análisis espacial y el método de interpolación multivariado Inverse Distance Weighted (Lu y Wong, 2008). Al final, este procedimiento permitió la construcción de los mapas que representaron la distribución espacial de los parámetros textura, pH, MO, P y Fe.

Un equipo de profesionales expertos en piscicultura definió la ponderación y dio una calificación a cada variable estudiada. En la Tabla 1 se presentan los pesos asignados y los rangos de aptitud del suelo que definen tres valoraciones: no apto, moderadamente

apto y apto. Con esta información y utilizando las herramientas de análisis espacial del SIG, se crearon modelos matemáticos para la generación de mapas. Para la obtención del mapa de calidad del suelo se aplicó la siguiente fórmula:

$$AP = C \times P$$

Donde:

AP = Aptitud piscícola

C = Calificación de la aptitud según cada variable.

P = Peso según la importancia de cada variable.

A la textura del suelo se le asignó una calificación numérica con base a su aptitud piscícola que permitió su ingreso al formato ráster. Para las texturas de suelos arenosos, franco-arenosos y arcillosos se asignó un valor de uno, para franco-arenosos y franco-limosos un valor de dos y para los franco, franco-arcillosos y franco-arcillosos-arenosos un valor de tres (Tabla 1). Cada mapa temático rasterizado y calificado se multiplicó por el peso asignado, posteriormente se sumaron para

integrar el mapa de calidad del suelo. La textura se consideró como el parámetro de mayor importancia y se le asignó una ponderación o peso equivalente al 40% del valor total de la calidad del suelo.

Tabla 1. Asignación de pesos y rangos a los parámetros de calidad de suelo en la región costera del departamento de Córdoba, Colombia.

Parámetro	Peso	Valoración			Referencias Bibliográficas
		No Apto	Moderadamente Apto	Apto	
Textura	0,4	arenoso franco arcillosos	franco-arenoso franco-limoso	franco franco-arcilloso franco-arcilloso-arenoso	Coche, A.G., 1986
pH (1:1)	0,1	< 5,0 > 9,0	5,0 a 5,5, 8,5 a 9,0	5,4 a 8,4	Boyd, 1990
MO (%)	0,2	> 3	< 0,5, 2,6 a 3,0	0,5 a 2,5	Boyd, 1990
P (ppm)	0,15	< 5	5 a 29, > 60	30 a 60	Boyd, 1990
Fe (ppm)	0,15	> 20	17 a 20	(< 17)	NRS-SBCS, 1995.
Calificación	100%	1	2	3	

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de las variables estudiadas textura, pH, MO, P y Fe, en los sitios analizados. Al comparar estos resultados con los rangos de valoración de calidad del suelo, establecidos en el presente estudio (Tabla 1), se aprecia que textura ($2,51 \pm 0,66$), pH ($6,67 \pm 0,76$) y MO ($0,51 \pm 0,34\%$) presentan valores en el rango de aptos para

la explotación piscícola. Los resultados de P ($19,62 \pm 26,99$ ppm) fueron menos favorables, mostrando una reducida concentración que lo califica de forma general como moderadamente apto. Inadecuados para piscicultura fueron los resultados generales del Fe, con altas concentraciones promedio que lo categorizan como no apto. La alta concentración de Fe ($26,34 \pm 22,65$ ppm) hace que sea la variable más crítica, principalmente para las áreas con pH más bajo.

Tabla 2. Valores de variables que definen la calidad del suelo en 62 sitios de la región costera del departamento de Córdoba, Colombia.

	Textura	pH (1:1)	MO (%)	P (ppm)	Fe (ppm)
N	62	62	62	62	62
Mínimo	1,00	5,05	0,00	1,50	0,00
Máximo	3,00	8,49	1,61	153,73	144,20
Promedio	2,51	6,67	0,51	19,62	26,34
Desviación estándar	0,66	0,76	0,34	26,99	22,65

No obstante, al generar el mapa de aptitud del suelo para piscicultura (Figura 2), a través de la suma de los cinco parámetros estudiados, se encontró que 123.625 ha fueron moderadamente aptas (67,4%), 53.909 ha fueron consideradas aptas (29,3%) y solamente 6.093 tuvieron calificación de no aptas (3,3%). La interpretación de este mapa indica que la mayor parte de la zona costera del departamento de Córdoba tiene

suelos de moderada aptitud, aunque en los municipios Los Córdoba y Puerto Escondido, existen suelos con calificación apta. Otras áreas aptas de menor tamaño se distinguen en los municipios de Moñitos, Lorica y San Antero. Pocas áreas tuvieron suelos no aptos, sobresaliendo dos en la región central del municipio de San Bernardo del Viento y una en el litoral de Puerto Escondido.

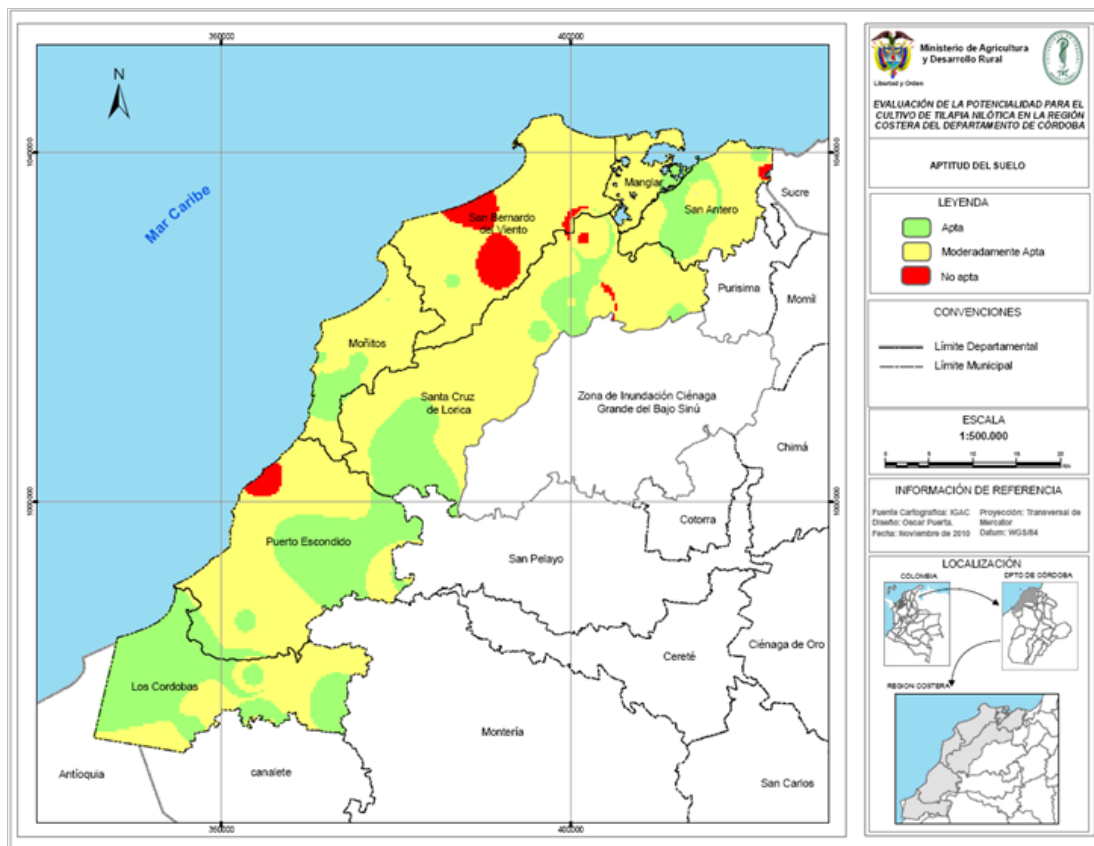


Figura 2. Mapa de aptitud del suelo para piscicultura en la región costera del departamento de Córdoba, Colombia.

DISCUSIÓN

Así como el agua debe ser valorada tanto en cantidad como en calidad, el suelo debe ser previamente analizado cuando se intenta definir la factibilidad para la ubicación de una granja piscícola; ya que el intercambio de nutrientes y oxígeno entre los fondos y el agua juega un papel determinante en la calidad del agua de los estanques (Boyd, 1990).

Textura. El contenido de arcilla mayor al 35%, ofrece limitación leve para la acuicultura, entre 18 a 35% la limitación es moderada y menor del 18% la limitación es severa (Hajek y Boyd, 1994). Sin embargo, Boyd *et al.* (2002), consideraron que tanto los suelos arenosos como los que contienen un alto contenido de arcilla, pueden ser un problema en acuicultura; los arenosos a causa de la filtración excesiva y los muy arcillosos debido a que el exceso de arcilla hace inestables los terraplenes, además, los suelos tardan en secar y son plásticos, dificultando los procedimientos de

manejo en el estanque. En esta investigación las texturas arcillosas y con alto contenido de arena, fueron consideradas no aptas y se les asignó un valor de uno; las texturas de mejor aptitud tuvieron una valoración máxima de tres. Los resultados expresaron un valor promedio de $2,51 \pm 0,66$, lo cual indica apropiada concentración de arcilla, con predominio de las texturas: franco, franco-arcillosa-arenosa, franco-limosa y franco-arcillosa.

pH. Las interacciones entre el suelo de un estanque y el agua que se utiliza para llenarlo definen el contenido de minerales y el pH de las aguas (Wurts y Masser, 2004). En las zonas tropicales y subtropicales con suelos muy lixiviados, el fondo de los estanques a menudo tiene alto contenido de arcilla y bajo pH (Boyd *et al.*, 2002). Rangos de pH en el agua con valores menores de cuatro y mayores a 11 no son propicios para la vida de los peces; mientras que valores entre 6,5 y 9,0 son considerados deseables (Wurts y Durborow, 1992). La calificación establecida

en este estudio consideró como aptos los pH entre 5,5 y 8,5, moderadamente aptos los valores entre 5,0 a 5,5 y no aptos los inferiores a 5,0. El valor promedio de pH encontrado en el suelo del área de estudio fue de $6,67 \pm 0,76$, este resultado aunque puede indicar cierta acidez para algunas áreas, de manera general muestra buena aptitud para el cultivo de peces, especialmente para la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), que es capaz de sobrevivir en rangos de pH bastantes amplios, entre 4 y 11 (Balarin y Hatton, 1979, citado por El-Sayed, 2006). No obstante, a la hora de establecer sitios para la construcción de estanques piscícolas se recomienda tener en cuenta las sugerencias de Boyd y Pipoppinyo (1994) y Boyd *et al.* (2002) quienes consideraron que el valor de pH más apropiado en los fondos de los estanques es el cercano al neutro, entre 7,0 y 8,0, debido a que la mayoría de los microorganismos del suelo, principalmente las bacterias, tienen mayor actividad en este rango. La aplicación de cal agrícola se recomienda para la corrección de los suelos de fondo ácidos en estanques para acuicultura, debido a que la cal agrícola puede aumentar el pH del suelo, las concentraciones de alcalinidad y dureza total en las aguas y la disponibilidad de carbono inorgánico para la fotosíntesis (Boyd *et al.*, 2002).

Materia orgánica. Los suelos orgánicos deben ser evitados para la acuicultura, suelos con concentración de MO inferior al 10% son aceptables en estanques piscícolas siempre y cuando la mayor parte de la MO sea refractaria o de difícil degradación (Boyd *et al.*, 2002). El rango óptimo de carbono orgánico para el suelo del fondo de los estanques piscícolas es de 1 a 3% (aproximadamente 2,0 a 6,0% de MO), concentraciones más bajas no son favorables para el crecimiento de organismos bentónicos que son importante alimento para muchas especies de peces y concentraciones más altas favorecen las condiciones anaeróbicas en la interfase agua-sedimento (Banerjea, 1967; Boyd *et al.*, 2002). Los contenidos de MO analizados, tomados a una profundidad entre 20 y 140 cm, fueron considerados aptos cuando presentaron concentraciones entre 0,5 y 2,5%, moderadamente aptos con valores inferiores a 0,5 y no aptos con valores mayores a 2,5. Los resultados presentaron un promedio de 0,51% de MO, expresando una generalizada baja concentración de MO para la zona costera del departamento de Córdoba y el predominio de una valoración apta y moderadamente apta para la piscicultura de la región. Según estos resultados, se puede afirmar que los suelos de la región costera del departamento

de Córdoba normalmente tienen contenidos de MO inferiores al 2,5%; otros estudios muestran la baja concentración de MO como una característica generalizada para todo el departamento, en donde los suelos que presentan mayor concentración son usados principalmente en la agricultura; Jaraba *et al.* (2007), reportaron contenidos de MO entre 1,2% a 2,5% en cultivos de papaya, en los municipios de Lorica, Tierralta, Valencia, Montería y Montelíbano; por su parte Ramos *et al.* (2006) reportaron contenidos de MO entre 2 y 3% para cultivos de plátano en el municipio de Moñitos.

Fósforo. Existe una correlación positiva entre la disponibilidad de este elemento en el suelo y el rendimiento de un estanque: por debajo de 13 mg de P/kg, no hay producción en el estanque, siendo por lo tanto considerado el nutriente limitante más importante en la fertilización de un estanque (Banerjee *et al.*, 2009). La valoración de este parámetro estableció como apto el rango entre 30 a 60 ppm, moderadamente apto entre cinco a 29 ppm y no apto valores menores a 5 ppm. Los niveles de P encontrados en este estudio fueron en promedio de 19,62 ppm, indicando una moderada aptitud de los suelos que puede ser corregida y mantenida con un buen programa de fertilización; sin embargo, el análisis presentó condiciones menos favorables para el cultivo de peces en pequeñas áreas de los diferentes municipios de la zona costera, consideración que debe ser tenida en cuenta al momento de definir el sitio para la construcción del estanque.

Hierro. Las concentraciones de hierro en el suelo pueden ser muy variables. Boyd *et al.* (2002), afirmaron que algunas zonas costeras contienen pirita de hierro (FeS_2) y por lo tanto no deben utilizarse para la construcción de estanques para acuicultura, si existen otros sitios alternativos, de lo contrario pueden incurrir en altos costos de operación y mantenimiento. En este mismo sentido, Vinatea (2004), explicó como los suelos sulfatados ácidos de áreas inundables, con pH entre cinco y siete, cuando son expuestos al aire se transforman en suelos extremadamente ácidos, con valores inferiores a cuatro, debido a que la pirita de hierro presente en el suelo se oxida formando sulfato de hierro II (FeSO_4) y propiciando la liberación de ácido sulfúrico (H_2SO_4); estas reacciones tienen como consecuencia la muerte de los peces por lesiones branquiales (Pardo *et al.*, 2009). Cabe anotar que un manejo adecuado del pH (corrección con cal) puede evitar su toxicidad en las especies acuícolas, aunque si

el pH es extremadamente bajo, no habrá corrección que sea rentable, y sí adicionalmente existe un alto contenido de pirita de hierro, otras son las medidas que deben tomarse; por ejemplo, nunca exponer el suelo al aire. Si hubiese extremada acidez y poco hierro, la recomendación sería aplicar suelos ricos en hierro para que reaccione con el azufre y forme sulfuro de hierro (Lahav *et al.*, 2004), pero reiterando la condición de no exponerlos al aire. La Comisión para la Fertilidad del Suelo (NRS-SBCS, 1995) recomienda para la vida acuática concentraciones de Fe en el suelo menores a 17,0 ppm. Las concentraciones promedio de Fe encontradas en este estudio fueron de 26,34 ppm, resultado muy elevado que indica inapropiada aptitud del suelo para acuicultura; parámetro que debe ser muy tenido en cuenta para la selección de los sitios especialmente en las áreas con bajos pH, a fin de evitar la construcción de estanques en suelos sulfatados ácidos.

CONCLUSIONES

La región costera del departamento de Córdoba, Colombia, tiene predominio de moderada aptitud en la mayor parte de sus suelos para la piscicultura, áreas aptas de grandes tamaños se presentan en todos los municipios, a excepción de San Bernardo del Viento; sin embargo, 6.093 ha no se recomiendan para el cultivo de peces, estas áreas están localizadas principalmente en la parte central del municipio de San Bernardo del Viento y en un sector del litoral de Puerto Escondido.

Como las concentraciones de Fe encontradas fueron elevadas en muchas áreas, este parámetro y el pH deben ser muy considerados en la selección de los sitios, a fin de evitar la construcción de estanques en suelos sulfatados ácidos.

Los resultados obtenidos no fundamentan la ubicación de sitios para la piscicultura, para esto se deben desarrollar otras investigaciones que con un enfoque sistémico evalúen el potencial de la zona, relacionando estos resultados con otros atributos o criterios de evaluación, como topografía, cobertura vegetal, uso del suelo, disponibilidad hídrica, calidad hídrica, capacidad de drenaje, restricciones ambientales y aspectos socioeconómicos de la región, vías de acceso, distancia a los centros urbanos. La integralidad de todos estos factores es la que definirá qué áreas de la zona costera del departamento de Córdoba, son las más apropiadas para el cultivo de peces y en cuales no se debe desarrollar esta actividad.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) por la financiación de este estudio derivado del proyecto identificado con el código MADR 2007U7723-430.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, D.A., P.C. Sierra, F.A. Arias y M.L. Fontalvo. 2003. Conceptos y guía metodológica para el manejo integrado de zonas costeras en Colombia. Manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. Serie de documentos generales de INVEVAR No. 12. 94 p.

Balarin, J.D. and J.P. Hatton. 1979. Tilapia: a guide to their biology and culture in Africa. University of Stirling, Stirling, UK. 174 p. Citado por: El-Sayed, A., 2006. Tilapia culture. Oceanography Department, Faculty of Science, Alexandria University. CABI Publishing, Alexandria, Egypt. 293 p.

Banerjee, S.M. 1967. Water quality and soil condition of fish ponds in some states of India in relation to fish production. Indian Journal Fisheries 14:113-144.

Banerjee, A., G.N. Chattopadhyay and C.E. Boyd. 2009. Determination of critical limits of soil nutrients for use in optimizing fertilizer rates for fish ponds in red, lateritic soil zones. Aquacultural Engineering 40(3): 144-148.

Boyd, C. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University. Agricultural Experiment Station, Alabama, USA. 482 p.

Boyd, C. and S. Pipoppinyo. 1994. Factors affecting respiration in dry pond bottom soils. Aquaculture 120(3-4): 283-293.

Boyd, C., C. Wood and T. Thunjai. 2002. Aquaculture pond bottom soil quality management. Pond Dynamics, Aquaculture Collaborative Research Support Program, Oregon State University, Corvallis. 41 p.

Boyd, C., C. Tucker, A. Mcnevin, K. Bostick and J. Clay. 2007. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. Reviews in Fisheries Science 15: 327-360.

CCI-MADR, 2009. Pesca y acuicultura Colombia. "Informe técnico regional litoral Caribe y Pacífico", <http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/1234>

56789/1843/1/Informe%202009-Caribe-Pacifico.pdf. 70 p.; consulta: febrero 2011.

Coche, A.G. 1986. Métodos sencillos para la acuicultura. Suelo y piscicultura de agua dulce. FAO, Roma. 174 p. (Colección FAO: Capacitación 6).

Comissão de Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 1995. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3 edición. Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC, SBCS, Núcleo Regional Sul, Passo Fundo. 224 p.

Defensoría del Pueblo, 2005. Resolución defensorial No. 38. Estado actual de la cuenca media y baja del Sinú, <http://www.defensoria.org.co/red/anexos/pdf/02/res/defensorial/defensorial38.pdf>. 27 p.; consulta: febrero 2011.

FAO, 2009. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008. Departamento de Pesca y Acuicultura, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0250s/i0250s.pdf>. 218 p.; consulta: septiembre 2009.

Giap, D., Y. Yi and A. Yakupitiyage. 2005. GIS for land evaluation for shrimp farming in Haiphong of Vietnam. *Ocean and Coastal Management* 48(1): 51-63.

Hajek, B.F. and C.E. Boyd. 1994. Rating soil and water information for aquaculture. *Aquaculture Engineering* 13(2): 115-128.

Jaenicke, E.C. and L.L. Lengnick. 1999. A soil-quality index and its relationship to efficiency and productivity growth measures: two decompositions. *American Journal of Agricultural Economics* 81(4): 881-893.

Jaraba, J., Z. Lozano y M. Espinosa. 2007. Nemátodos agalladores asociados al cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) en el departamento de Córdoba, Colombia. *Agronomía Colombiana* 25(1): 124-130.

Kapetsky, J., J. Hill and L. Worthy. 1988. A geographical information system for catfish farming development. *Aquaculture* 68(4): 311-320.

Kapetsky, J.M. and S.S. Nath. 1997. A strategic assessment of the potential for freshwater fish farming in

Latin America. COPESCAL. FAO. Technical Paper No. 10, <http://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=Gtz2okToneYC&oi=fnd&pg=PA1&dq=A+strategic+assessment+of+the+potential+for+freshwater+fish+farming+in+Latin+America&ots=1JjwNjQ78D&sig=pbVZ>. 128 p.; consulta: febrero 2009.

Lahav, O., G. Ritvo, I. Slijper, G. Hearne and M. Cochva. 2004. The potential of using iron-oxide-rich soils for minimizing the detrimental effects of H₂S in freshwater aquaculture systems. *Aquaculture* 238: 263-281.

Lu, G.Y. and D.W. Wong. 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers and Geosciences* 34(9): 1044-1055.

Pardo, C.S., M.H. Suarez y B.V. Pertuz. 2009. Interacción de los suelos sulfatados ácidos con el agua y sus efectos en la sobrevivencia del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en cultivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 22(4): 619-631.

Ramos, A., J. Durango, G. Grandett, B. Díaz y J.L. Barrera. 2006. Evaluación de las diferentes formas de potasio en suelos de la zona platanera de Córdoba (Colombia). *Agronomía Colombiana* 24(2): 334-339.

Ross, L., Q. Mendoza and M. Beveridge. 1993. The application of geographical information systems to site selection for coastal aquaculture: an example based on salmonid cage culture. *Aquaculture* 112: 165-178.

Vinatea, L., 2004. Principios químicos de qualidade da água para peixes e camarões. UFSC, Florianópolis. 231 p.

Wurts, W.A. and R.M. Durborow 1992. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. Southern Regional Aquaculture Center. Publication No. 464, <http://documents.ponics.org/sections/aquaculture/raising-fish-in-ponds/Interactions-of-pH-Carbon-Dioxide-Alkalinity-and-Hardness-in-Fish-Ponds.PDF>. 4 p.; consulta: octubre 2009.

Wurts, W.A. and M.P. Masser. 2004. Liming ponds for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center. Publication No. 4100, <http://www.ca.uky.edu/wkrec/LimingPondsAquaculture.PDF>. 6 p.; consulta: octubre 2009.