# Projet scientifique et humanitaire sur la qualité de l'eau potable et des poissons de deux communautés agricoles nicaraguayennes : analyses et recommandations

Projet Eau Nicaragua

Par

Valérie Ouellet
Anne Crémazy
Dominic Ponton
Amélie Thériault
Julien Mocq
Michel Plourde
Maikel Rosabal-Rodriguez
Sophie Roberge
Paula Sánchez-Marín

Centre Eau Terre et Environnement
Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE)
490, rue de la Couronne
Québec (QC) G1K 9A9

Rapport I-290

5 décembre 2011

# AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS

Ce projet a été une expérience formidable pour chacun des membres de l'équipe. Des demandes de financement jusqu'à la rédaction de ce rapport en passant par la création d'un cours, les formations par AVES, la préparation de notre matériel, nos rencontres formidables avec les familles, notre implication scientifique dans leurs vies et la présentation de ce projet à la communauté de l'INRS-ETE furent des expériences des plus enrichissantes. Nous espérons fortement qu'il y ait une suite à cette étude et encourageons d'autres étudiants à prendre part à ce merveilleux projet humanitaire et scientifique.

Nous tenons à remercier les professeurs qui nous ont épaulé tels Claude Fortin, Landis Hare, Patrice Couture et André St-Hilaire. Nous tenons également à remercier l'INRS pour le programme de la promotion de la vie scientifique ainsi que le Centre Eau Terre Environnement, et particulièrement son directeur, Yves Bégin, pour le support financier. De plus, ont contribué à la réalisation de ce projet l'Office Québécoise Jeunesse Amérique (OQUAJ), la Fédération des Étudiants de l'INRS (FEINRS), Hoskin, *i*média marketing, restaurant Au Refuge, Jean-Pierre Villeneuve et Julie Fortin.

L'aide apportée par Vincent Huot, étudiant à la maîtrise à l'INRS-ETE et par Camille Dussouillez, étudiant à l'Université Laval, notamment sur le terrain, a été très appréciée. Un remerciement tout particulier à Danaé Pitre qui nous a aidés dans les débuts de cette aventure et qui n'a malheureusement pas pu venir au Nicaragua avec nous.

Nous tenons aussi à remercier les gens de la CIRA/UNAN à Managua pour la merveilleuse collaboration que nous avons construite avec eux, leur générosité matérielle et temporelle ainsi que pour la qualité de leur travail. Enfin, nous remercions également les techniciens de l'INRS-ETE, Anissa Bensadoune et Sébastien Duval, qui font toujours de l'excellent travail.

# RÉSUMÉ

Le Nicaragua est le deuxième pays le plus pauvre des Amériques, incluant les Antilles. Malgré ses immenses ressources en eaux naturelles, plus de 1 300 000 nicaraguayens n'ont aujourd'hui toujours pas accès à une eau potable de qualité. Les habitants de deux communautés agricoles, Charco Muerto et Aguas Agrias, font face à cette problématique.

Charco Muerto est située aux abords du lac Nicaragua. Les habitants y consomment l'eau du lac après filtration à travers des filtres en sable ou en terre cuite. Le lac Nicaragua est cependant exposé à un ensemble de contaminants microbiologiques, organiques et inorganiques notamment en raison du déversement d'eaux municipales et industrielles non traitées, et des résidus chimiques et biologiques de l'agriculture fortement présente sur le pourtour du lac. Ainsi, pour la consommation humaine, la qualité des eaux de ce lac est possiblement pauvre. De ce fait, les habitants de Charco Muerto sont concernés par la qualité de l'eau qu'ils consomment et s'interrogent particulièrement sur l'efficacité de leur traitement par filtration.

Les habitants d'Aguas Agrias disposent quant à eux d'un système de distribution d'eau potable partagé avec un autre village. Cependant, des querelles entre ces deux villages occasionnent trop fréquemment des périodes plus ou moins prolongées de coupures d'approvisionnement en eau. Durant celles-ci, les habitants sont contraints d'aller s'approvisionner à la source d'origine souterraine possédée par le village, située à une distance de marche épuisante. Ainsi, ils désirent installer un système de pompage de cette source pour approvisionner leurs maisons et devenir indépendants de l'autre village. Les habitants filtrent leur eau de consommation avec des pots en terre cuite avant de la consommer. La question de la qualité des deux sources d'eau pour la consommation subsiste.

Étudiants de l'Institut national de la recherche scientifique – Eau Terre Environnement de Québec (Canada), nous nous sommes portés volontaires pour tester la qualité de ces eaux. Durant le mois d'août 2011, nous avons réalisé des analyses inorganiques, organiques et microbiologiques. Les principaux résultats sont que : i) les concentrations bactériennes de ces eaux brutes (c.-à-d. non filtrées) se situent au-delà des valeurs acceptables pour l'eau potable et un traitement avant consommation est donc nécessaire; ii) les filtres aggravent fortement la qualité microbiologique de ces eaux du fait de leur mauvais entretien; iii) les niveaux de pesticides organochlorés, que ce soit dans l'eau ou dans les poissons consommés, ne sont pas

préoccupants pour la consommation; et iv) les niveaux en éléments inorganiques, que ce soit dans l'eau ou dans les poissons consommés, sont globalement acceptables, mais les niveaux de Se et de Hg dans certains poissons peuvent présenter un risque pour les femmes enceintes et les jeunes enfants qui les consomment. La principale recommandation découlant de cette étude est de mieux entretenir les filtres. En effet, ils sont responsables de la forte contamination microbiologique des eaux consommées, principal paramètre de préoccupation suite aux analyses réalisées.

# TABLE DES MATIÈRES


1.Introduction ..... 1
1.1 L'eau potable au Nicaragua ..... 1
1.2 Sources de la contamination microbiologique ..... 3
1.3 Sources de la contamination inorganique ..... 4
1.4 Sources de la contamination organique ..... 5
1.5 Brève description des poissons récoltés dans le lac Nicaragua ..... 6
1.5.1 Brycon guatemalensis ..... 6
1.5.2 Amphilophus labiatus ..... 7
1.5.3 Amphilophus citrinellus ..... 8
1.5.4 Amphilophus longimanus ..... 8
1.6 La matière en suspension ..... 9
1.7 Les macro-invertébrés benthiques comme bio-indicateur ..... 9
1.8 Mise en contexte et problématiques ..... 10
1.8.1 Histoire politique du pays ..... 10
1.8.2 Problématiques spécifiques ..... 12
1.8.3 Description des filtres ..... 13
1.9 Objectifs ..... 16
1.9.1 Aspects sociaux des communautés et connaissances générales ..... 16
2.Matériel et méthodes ..... 19
2.1 Description des sites d'échantillonnage ..... 19
2.1.1 Les sites d'échantillonnage de Charco Muerto ..... 23
2.1.2 Les sites d'échantillonnage à Aguas Agrias ..... 27
2.2 Portrait des communautés ..... 31
2.3 Matières en suspension – filtration membranaire ..... 31
2.4 Physico-chimie et analyse inorganique ..... 32
2.4.1 Physico-chimie du lac Nicaragua dans la région de Charco Muerto ..... 33
2.4.2 Éléments inorganiques dans l'eau de consommation ..... 34
2.4.3 Éléments traces dans les poissons consommés à Charco Muerto ..... 34
2.4.4 Analyse des éléments inorganiques dans l'eau et les poissons ..... 35
2.5 Contamination par les pesticides organochlorés ..... 36
2.5.1 Dans l'eau ..... 36
2.5.2 Dans les poissons ..... 37
2.6 Contamination microbiologique ..... 38
2.6.1 Petrifilmtm 3M$^{tm}$ ..... 39

2.6.2 Nombre le plus probable ..... 40
2.7 Débits des sources d'eau ..... 42
2.8 Caractérisation des communautés benthiques ..... 43
2.8.1 Échantillonnage des macro-invertébrés ..... 43
2.8.2 Traitements statistiques ..... 43
3.Résultats et discussions ..... 47
3.1 Charco Muerto ..... 47
3.1.1 Portrait descriptif de la communauté ..... 47
3.1.2 Concentrations des matières en suspensions dans le lac Nicaragua ..... 58
3.1.3 Caractéristiques physico-chimiques du lac Nicaragua ..... 59
3.1.4 Contaminants inorganiques dans l'eau consommée ..... 64
3.1.5 Pesticides organochlorés dans l'eau ..... 68
3.1.6 Étude des poissons consommés ..... 68
3.1.7 Microbiologie dans l'eau ..... 74
3.2 Aguas Agrias ..... 78
3.2.1 Portrait descriptif de la communauté ..... 78
3.2.2 Caractéristiques physico-chimiques et inorganiques dans l'eau d'Aguas Agrias ..... 84
3.2.3 Microbiologie dans l'eau ..... 88
3.2.4 Les débits ..... 89
3.3 Les organismes benthiques à Charco Muerto et à Aguas Agrias ..... 90
4.Recommandations et conclusions ..... 95
4.1 Charco Muerto ..... 95
4.1.1 Dans l'eau ..... 95
4.1.2 Dans les poissons ..... 96
4.2 Aguas Agrias ..... 97
4.3 Perspectives ..... 98
5.Références bibliographiques ..... 101
6.Annexe 1 : Caractéristiques du Lac Nicaragua ..... 109
7.Annexe 2 : Questionnaire aux familles ..... 117
8.Annexe 3 : Résultats des analyses faites par le CIRA pour la contamination organique ..... 121

# LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Pourcentage de la population qui utilise des sources d'eau potable (modifiée de l'OMS, 2007). ....1
Figure 1-2 : A) Photographie de *Brycon guatemalensis,* vue complète et B) vue rapprochée de la tête. ....6
Figure 1-4 : Photographie d'*Amphilophus citrinellus*. ....8
Figure 1-5 : Photographie d'*Amphilophus longimanus.* ....9
Figure 1-6 : Schéma du filtre en terre cuite (tiré de Filtron, 2011). ....14
Figure 1-7 : Photos de différents filtres en sable retrouvés à Charco Muerto : A) intérieur d'un filtre, B) et C) exemples d'adaptations des filtres. ....15
Figure 2-1 : Localisation des sites d'échantillonnage dans les communautés de Charco Muerto et d'Aguas Agrias, Nicaragua. ....20
Figure 2-2 : Site [1] de Charco Muerto nommé source Ojo. ....24
Figure 2-4 : Site [4] de Charco Muerto nommé Plage/Puerto. ....26
Figure 2-5 : Site [12] de Charco Muerto nommé Marais/Laguna. ....26
Figure 2-6 : Réservoir municipal d'Aguas Agrias vu de la rue (site n° 21). ....27
Figure 2-7 : Site n° 19 d'Aguas Agrias nommé Fuente Agria; la source alternative du village. ..28
Figure 2-8 : Site en amont de la piscine, Aguas Agrias (site n° 17). ....28
Figure 2-9 : En aval de la source et juste après un élargissement de la rivière nommé piscine, Aguas Agrias. ....29
Figure 2-10 : Site [14] d'Aguas Agrias nommé : A) Rio Manares-B; B) Rio Manares-M; et C) Rio Manares-F. ....30
Figure 2-11 : Montage de filtration membranaire sous vide. ....31
Figure 2-12 : Schéma d'un dialyseur *in situ*. ....32
Figure 2-13 : Les Petrifilms *E. coli*/coliformes et entérobactéries préalablement inoculés et incubés durant 24 h. ....40
Figure 2-14 : Schéma de la méthode du nombre le plus probable avec cinq aliquotes de chacune des trois concentrations pour la détermination des coliformes totaux, des coliformes thermorésistants et d'*E. coli*. ....41
Figure 3-1 : Le Pez diablo est tué lorsque pris par les pêcheurs, puisque c'est une espèce exotique envahissante qui peut entraîner d'importants changements dans les communautés piscicoles. ....55

Figure 3-2 : Représentation schématique des toilettes écologiques utilisées au centre communautaire de Charco Muerto. ....57
Figure 3-3 : Profils verticaux de la température et de l'oxygène dissous dans le lac Nicaragua. ....60
Figure 3-4 : Température de l'eau ($^{o}$C) aux deux principaux points de prise d'eau dans le lac Nicaragua pour la communauté de Charco Muerto. ....61
Figure 3-5 : Efficacité des filtres en sables (moyennes ± écarts-types, n = 12) et en terre cuite (moyennes ± écarts-types, n = 3). Les valeurs exactes sont présentées au niveau de chaque colonne....64
Figure 3-6 : Concentrations moyennes (µg/g poids sec ; *n* = 1-15) de divers éléments traces dans trois tissus (chair, foie, œufs) des cinq espèces de poisson récoltées dans le lac Nicaragua. ....69
Figure 3-7 : Concentrations de Hg total (µg/g poids sec) dans la chair de différentes espèces de poissons du lac Nicaragua, Nicaragua, consommés par les villageois de Charco Muerto. Les lettres différentes présentes des différences significatives ($p < 0,05$). ....70
Figure 3-8: Matrice de distance de Bray-Curtis des logs (abondance+1) (gauche) et arbre de Classification Hiérarchique Ascendante (droite). ....93

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1-1 : Sommaire des activités réalisées à chaque site d'échantillonnage. Les points 1 à 13 se situent à Charco Muerto et les points 14 à 21 à Aguas Agrias. ....21
Tableau 2.1-2 : Autres sites d'emplacement des toilettes sèches à Charco Muerto non illustrés sur la carte. ....23
Tableau 2.8-1 : Classes et significations du Family Biotic Index (Hilsenhoff, 1988). ....44
Tableau 3.1-1 : Matière en suspension du lac Nicaragua. ....58
Tableau 3.1-2 : Caractéristiques physico-chimiques du lac Nicaragua mesurées à la pointe de la péninsule de Charco Muerto. ....59
Tableau 3.1-3 : Concentrations en anions dans le lac Nicaragua. Moyennes ± écarts types (n=5). ....61
Tableau 3.1-4 : Concentrations en métaux traces et autres éléments non métalliques totaux et dissous dans le lac Nicaragua. Moyennes ± écarts-types. ....63
Tableau 3.1-6 : Consommation journalière (µg/Kg Poids Corporel/jour) de chaque élément à la limite de détection, selon la consommation réelle de poisson et selon la norme. Analyses faites à l'ICP-AES et au DMA-80 pour le Hg. N.d. : norme non disponible. <L.D. : En dessous de la limite de détection. ....71
Tableau 3.1-7 : Dénombrement des colonies de coliformes totaux après 24 h d'incubation pour trois périodes d'échantillonnage. ....75
Tableau 3.1-8 : Dénombrement des colonies d'entérobactéries après 24 h d'incubation. ....76
Tableau 3.1-9 : Dénombrement bactérien des sources d'eau alternatives potentiellement potable. ....76
Tableau 3.1-10 : Dénombrement bactérien par la méthode du NPP de l'eau brute et de l'eau dite potable. ....77
Tableau 3.2-1 : Caractéristiques physico-chimiques de la Fuente Agria. ....85
Tableau 3.2-2 : Concentrations en anions de la Fuente Agria. Moyennes ± écarts-types (n=3). ....86
Tableau 3.2-3 : Concentrations en métaux traces et autres éléments non métalliques totaux de la Fuente Agria. Moyennes ± écarts types (n=3). ....87
Tableau 3.2-4 : Dénombrement des coliformes totaux, des entérobactéries (après 48 h d'inoculation) et des *E. coli* (après 24 h d'inoculation) avec la méthode des Petrifilms. ....88

Tableau 3.2-5 : Dénombrement des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants, d'*E. coli* et d'entérococcus avec la méthode NNP. .....89
Tableau 3.3-1 : Abondances des familles d'invertébrés aux six sites d'échantillonnage. .....91
Tableau 3.3-2 : Indices écologiques appliqués aux sites d'échantillonnage .....93

# 1. Introduction

## 1.1 L'eau potable au Nicaragua

Selon le dernier rapport de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et du Fond des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF), plus de 1,1 milliard de personnes à travers le monde n'a pas accès à l'eau potable et 2,6 milliards n'ont pas accès à l'assainissement de base (OMS, 2007). De plus, les zones les plus touchées sont souvent concentrées en régions rurales des pays dits émergents (Figure 1-1). Plus précisément au Nicaragua, deuxième pays le plus pauvre des Amériques (Nations Unies pour le développement, 2010), environ 77 % de la population en zones urbaines a accès au réseau d'eau potable, alors que ce pourcentage tombe à 56 % en zones rurales (ENACAL, 2008). Par conséquent, plus de 1 300 000 habitants n'ont pas accès à l'eau potable dans ce pays.

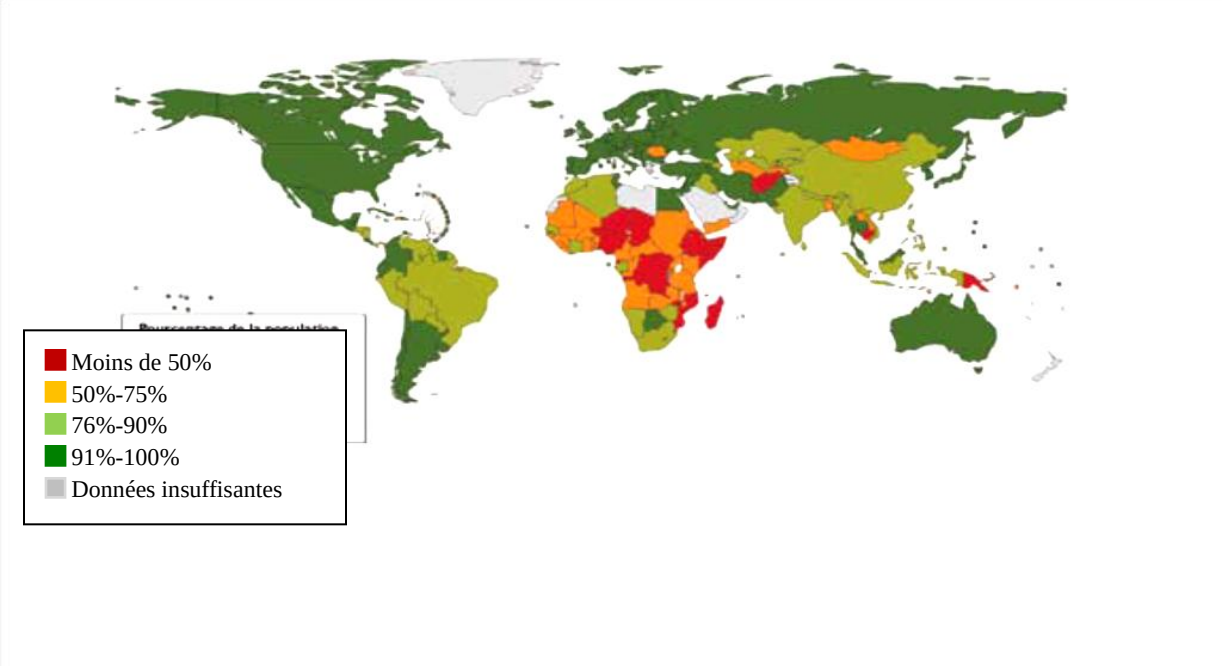


**Figure 1-1: Pourcentage de la population qui utilise des sources d'eau potable (modifiée de l'OMS, 2007).**

Le Nicaragua a un important réseau hydrographique à l'intérieur duquel se trouve le lac Nicaragua, plus grand lac tropical des Amériques. Ce lac a été classifié par les autorités du pays comme la future réserve naturelle d'eau potable du Nicaragua (*Ley General de Aguas*

*Nacionales*, *Plan Nacional de Desarrollo*, *Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados – INAA* y la Asociación de Municipios de la *Cuenca del Gran Lago de Nicaragua AMUGRAN*[1]). Le lac Nicaragua a une superficie de 8 144 $km^2$ et un bassin de drainage de 23 844 $km^2$. À sa décharge, où débute le fleuve San Juan, un débit moyen de 475 $m^3/s$ a été calculé (INETER, 2006). Sa profondeur moyenne est de 13 m, avec une profondeur maximale de 73 m. Ce lac n'est pas thermiquement stratifié et, en moyenne, sa température est de 28,5° C, avec des variations entre 25,4° C et 29,3° C (VAMMEN *et al*., 2006). Ce qui caractérise les lacs tropicaux comme le lac Nicaragua, en ce qui a trait à son régime thermique, est que les variations diurnes de température de l'eau de ces derniers sont plus élevées que les variations annuelles (VINER et SMITH, 1973; TUNDISI *et al*., 1984). Ces températures élevées sont très propices à l'activité bactérienne (PAYNE, 1986). Toutefois, AHLGREN *et al*. (1997) ont trouvé que l'activité bactérienne dans les sédiments du lac Nicaragua était très limitée.

Des récentes études du *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos* de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (Centre de recherche sur les ressources hydriques, CIRA, de l'Université Nationale Autonome du Nicaragua, UNAN) ont montré que le lac Nicaragua tend à s'eutrophier à un rythme qui s'est accéléré au cours de la dernière décennie. En neuf années d'études, ils ont observé une augmentation de la biomasse de phytoplancton (deux à trois fois plus), un changement d'assemblage dans la communauté phytoplanctonique, zooplanctonique et benthique, ainsi qu'une perte de biodiversité et une prédominance d'algues bleues (CIRA 1997; 2004). D'autres études montrent une augmentation de l'érosion aux abords du lac et donc des apports en nutriments suite à l'augmentation de la déforestation, et l'augmentation des terres agricoles, notamment pour le bétail (HOOKER *et al*., 2001; VAMMEN *et al*., 2006). Entre 1994 et 2003, VAMMEN *et al*. (2006) ont aussi observé une augmentation de la quantité de nitrate total (d'un facteur 4) et de phosphore total (d'un facteur 2,5).

Une synthèse plus détaillée des caractéristiques du lac Nicaragua est présentée à l'annexe 1 (SALVATIERRA SUÁREZ et CABALLERO ARBIZÚ, 2006). De plus, ce lac est sujet à des contaminations de natures organique, inorganique et microbiologique qui peuvent avoir de graves conséquences sur la potabilité de son eau.

[1]Traduction libre : Loi générale sur les eaux nationales, Plan national de développement, Institut national

L'eau consommée est un vecteur d'exposition humaine à différents contaminants. Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine. La concentration en pathogènes et en organismes parasites ainsi qu'en certaines substances chimiques inorganiques et organiques sont des paramètres contrôlant la qualité de l'eau potable. La teneur en certaines substances chimiques dans la nourriture consommée, notamment dans les poissons, affecte aussi l'exposition à certains contaminants. Ces différents paramètres ont fait l'objet d'analyses dans cette étude et sont donc revus en détail dans les prochaines parties de cette introduction. Enfin, la concentration en matière en suspension ainsi que les populations de macro-invertébrés, à défaut de constituer des critères formels de qualité de l'eau potable, sont des indicateurs de la qualité de l'eau et sont donc aussi présentés.

## 1.2 Sources de la contamination microbiologique

Une eau potable parfaite ne contient ni bactéries, ni virus, ni protozoaires. Toutefois, en milieu naturel, cette condition n'existe pas. Or, une augmentation en microorganismes est étroitement liée à un accroissement des agents pathogènes. D'ailleurs, plusieurs bactéries ont le potentiel de causer des problèmes de santé publique. Ces microorganismes sont majoritairement de la famille des entérobactéries (*Enterobacteriaceae*). Certaines souches d'espèces d'entérobactéries sont des organismes pathogènes stricts. En d'autres mots, leur présence dans l'organisme est anormale et peut provoquer des infections.

Les coliformes totaux sont des entérobactéries, d'origines fécales et environnementales (STEVENS *et al*., 2003), capables de fermenter le lactose à 30 °C, induisant une production de gaz. Ils sont retrouvés naturellement dans le sol et la végétation. La présence de coliformes totaux n'indique pas nécessairement une contamination fécale, mais donne plutôt un portrait de la détérioration de la qualité de l'eau au niveau microbiologique. Les coliformes thermorésistants font partie des coliformes totaux (CABRAL et MARQUES, 2006). Cependant, ils fermentent le lactose à 44,5 °C. Ils découlent strictement d'une contamination fécale humaine ou animale. *Escherichia coli* (*E. coli*) est l'une des bactéries indicatrices les plus utilisées pour les coliformes thermotolérants et est considérée comme étant un agent pathogène humain important (HUANG et CHANG, 2001). Dans l'eau potable, les

microorganismes provenant de matières fécales humaines et animales représentent un danger pour la santé publique.

Dans les eaux du Nicaragua et notamment dans les lac Managua et Nicaragua, la contamination d'origine fécale peut provenir de différentes sources. L'une des principales sources est le rejet direct des eaux usées municipales non traitées dans les lacs. Aussi, durant les périodes de pluie, le lessivage des terrains agricoles pratiquant l'épandage et des terrains d'élevages de bétail peut transporter les microorganismes d'origine fécale dans le lac. Enfin, avec une eau dont la température est proche de celle de la croissance bactérienne optimale, il est naturel que les microorganismes prolifèrent relativement bien dans le lac Nicaragua.

## 1.3 Sources de la contamination inorganique

La forte activité volcanique et les activités minières au Nicaragua sont en grande partie responsables de la présence de contaminants inorganiques dans les eaux naturelles de ce pays (NRIAGU et BECKER, 2003; PEÑA TORREZ *et al*., 2009). Le mercure peut être présent en concentrations problématiques dans le lac Nicaragua du fait, en particulier, de l'extraction artisanale de l'or dans des rivières tributaires (PICADO PAVÓN, 2009). Une autre source de contamination au mercure est le rejet d'eaux industrielles non traitées. En effet, dans le lac Managua, communiquant durant certaines périodes de fortes pluies avec le lac Nicaragua, approximativement 40 000 kg de mercure ont été rejetés dans les années 1960 et 1970 par une usine utilisant le procédé chlore alcali (HASSAN *et al*., 1981; LACAYO *et al*., 1991). Une étude plus récente de McCRARY *et al*. (2006) a d'ailleurs mesuré des concentrations en mercure dans le lac Managua environ dix fois supérieures (29,2 ± 13,2 ng Hg/L) à celles du lac Apoyo, considéré comme lac témoin (2,7 ± 0,3 ng Hg/L). Des concentrations élevées en arsenic ont été mesurées dans des eaux souterraines du sud-ouest de la vallée de Sébaco au Nicaragua (ALTAMIRANO ESPINOZA, 2009). La présence d'arsenic est associée aux processus hydrothermaux liés au volcanisme et représente une problématique déjà bien identifiée pour les eaux du Nicaragua (GONZÁLEZ, 1998). Enfin, il apparaît fort probable que certains éléments inorganiques, comme certains halogènes émis dans l'atmosphère en quantité importante par des volcans en activité comme le Massaya (DELMELLE *et al*., 2003), peuvent aussi se retrouver dans l'eau en concentrations préoccupantes pour la consommation humaine.

Des éléments traces comme l'arsenic (TSAI *et al*., 1999), le mercure (BAKIR *et al*., 1973), le cadmium (BERNARD et LAUWERYS, 1984) et le sélénium (YANG *et al*. 1983) ont causé des problèmes de santé humaine dans le monde principalement à cause de l'ingestion de nourriture contaminée. Les poissons et autres organismes aquatiques peuvent accumuler des concentrations importantes de métaux et être une source de contamination humaine (As : HEINRICH-RAMM *et al*. 2002, MANDAL et SUZUKI, 2002; Hg : GUALLAR *et al*., 2002; Se : KARITA et SUZUKI 2002; Cd : KLJAKOVIĆ GAŠPIĆ *et al*., 2002). Les communautés vivant aux abords du lac Nicaragua sont en grande partie dépendantes des poissons de ce dernier pour se nourrir. Par une consommation hebdomadaire importante de poissons, les gens de ces communautés peuvent absorber une quantité de contaminants traces qui peut être dommageable pour leur santé. Dans la section suivante, des poissons du lac Nicaragua couramment consommés par les habitants vivant sur le littoral sont présentés.

## 1.4 Sources de la contamination organique

Parmi les différentes sources de contamination organique du lac Nicaragua, l'usage intensif de pesticides agrochimiques a été identifié comme la plus importante (CIRA/UNAN, 1992-2003). Les activités agricoles développées autour du lac Nicaragua comprennent principalement la culture du riz, des haricots, du maïs, des oranges, des bananes, des ananas, de la canne à sucre et du coton. Le manque de contrôle sur le type de substance agrochimique (insecticides, fongicides, herbicides et molluscicides) ainsi que sur la concentration à appliquer a causé la présence de ces produits dans le lac Nicaragua et a contribué à la détérioration de sa qualité, particulièrement au niveau des sédiments du lac. Dans ce contexte, le CIRA/UNAN a effectué des programmes d'échantillonnage de sédiments du lac dans les années 1994, 1997, 2002 et 2003 et a noté que les contaminants les plus préoccupants pour la santé humaine étaient les pesticides organochlorés (pp-DDT, dieldrine, lindane et époxyde d'heptachlore) et organophosphorés (methyl parathion). Les sédiments les plus contaminés ont été trouvés dans les régions voisines à l'embouchure saisonnière du lac Managua, les rejets de la ville de Granada dans le lac Nicaragua ainsi que dans des régions du lac proches du fleuve San Juan où les activités agricoles sont très importantes (CIRA/UNAN, 1992-2003). L'exposition aux contaminants organiques, comme pour celle aux contaminants inorganiques, est complexe à déterminer pour les communautés vivant aux abords du lac, car elle peut provenir de la consommation de l'eau et des aliments contaminés incluant les poissons.

## 1.5 Brève description des poissons récoltés dans le lac Nicaragua

### *1.5.1 Brycon guatemalensis*

Communément appelée le Sabalete au Nicaragua, cette espèce fait partie de la famille des *Characidae*. Ce poisson se retrouve principalement un peu partout dans les lacs et rivières d'Amérique Latine (BUSSING *et al*., 1976). Les mâles de cette espèce peuvent atteindre jusqu'à 59 cm de longueur. Les jeunes de cette espèce se nourrissent d'insectes adultes, de larves d'insectes, de fruits et de graines, mais deviennent principalement herbivores lorsqu'arrivés à l'âge adulte. Le Sabalete se caractérise par sa bouche relativement large, par la disposition et la longueur des rayons des nageoires dorsales et pelviennes, ainsi que par la tache noire située à l'arrière des branchies (WHITEHEAD, 1985; Figure 1-2).

A)

B)

**Figure 1-2 : A) Photographie de *Brycon guatemalensis,* vue complète et B) vue rapprochée de la tête.**

### *1.5.2 Amphilophus labiatus*

Cette espèce fait partie de la famille des *Cichlidae*, qui inclut une large variété de poissons et qui sont généralement très connus des aquariophiles. Ce poisson est communément appelé Mojarra et est endémique au Nicaragua et au Costa Rica (BUSSING, 1976). La Mojarra est un poisson d'eau douce omnivore qui se nourrit principalement de plantes, de mollusques et de petits poissons, et qui peut atteindre jusqu'à 25 cm. Cette espèce présente une variété de couleurs selon l'habitat de prédilection des individus (CONKEL, 1993) (Figure 1-3, A et B). Lors de cette étude, une forme sombre (dos et côtés noir-vert foncés) se nourrissant probablement principalement de petits mollusques et de plantes a été observée dans les zones rocheuses du rivage du lac Nicaragua, alors qu'une forme claire (couleur plus olivâtre et raies foncées plus apparentes sur le corps) a été observée plutôt dans les herbiers. Il est possible que cette dernière se nourrisse plutôt de petits poissons.

**Figure 1-3 : Photographies d'*Amphilophus labiatus* : A) forme sombre et B) forme claire.**

### *1.5.3 Amphilophus citrinellus*

Cette espèce fait aussi partie de la famille des *Cichlidae*. Il semble que les pêcheurs la nomment aussi Mojarra, mais c'est bel et bien une autre espèce. Longtemps confondue avec *Amphilophus labiatus*, des tests génétiques ont plutôt révélé la présence de deux espèces distinctes (CONKEL, 1993). On retrouve l'*Amphilophus citrinellus* un peu partout au Nicaragua et au Costa Rica (BUSSING, 1976). Cette espèce est très agressive au moment de défendre son territoire et est omnivore, se nourrissant aussi de plantes, de mollusques et d'écrevisses. L'*Amphilophus citrinellus* présente également une variété de couleurs selon l'habitat de prédilection des individus (CONKEL, 1993). Cependant, la livrée montre des tons plus rosés et même dorés (Figure 1-4). Elle vit principalement dans les eaux calmes et se retrouve en rivière seulement dans les zones à faibles vitesses (CONKEL, 1993). Il est intéressant de noter qu'environ 10 % de cette espèce est xanthomorphique, c'est-à-dire qu'un même individu peut changer de couleur au cours de sa croissance.

**Figure 1-4 : Photographie d'*Amphilophus citrinellus*.**

### *1.5.4 Amphilophus longimanus*

Cette dernière espèce est nommée massamichi par les pêcheurs et comme l'espèce précédente, elle fait partie des C*ichlidae*. Elle se retrouve un peu partout en Amérique Centrale. C'est une espèce d'eau douce, benthopélagique, qui se nourrit principalement de plantes et d'insectes, spécialement de diptères (CONKEL, 1993). Il est mentionné que l'espèce peut atteindre jusqu'à 20 cm, bien que les spécimens capturés soient un peu plus longs (longueur moyenne de 21,0 cm). Elle se reconnaît principalement au fait que son corps est comprimé latéralement et à la forme de fusée de la tête (Figure 1-5).

**Figure 1-5 : Photographie d'*Amphilophus longimanus.***

## 1.6 La matière en suspension

Les matières en suspensions (MES) sont définies comme étant les solides retenus par un filtre. Cette mesure est arbitraire puisque la quantité de MES est fonction de la taille des pores du filtre. Les filtres utilisés le plus fréquemment varient entre 0,45 µm et 2,0 µm (TCHOBANOGLOUS *et al*., 2004). La mesure des MES n'est pas utilisée comme critère de qualité de l'eau potable. La mesure des particules et des solides présents dans l'eau potable est plutôt décrite par la turbidité mesurée à l'aide d'un turbidimètre (INSPQ, 2003). Les MES servent principalement comme critère de comparaison dans les cas où le diamètre des pores du filtre est le même. Cette mesure est pertinente puisque les MES peuvent contenir des polluants et des microorganismes. C'est pourquoi une eau exempte de matières en suspension est préférable.

## 1.7 Les macro-invertébrés benthiques comme bio-indicateur

Les macro-invertébrés sont des invertébrés aquatiques mesurant au moins 3 mm au dernier stade de leur développement (TACHET *et al*., 2000). La structure de leurs communautés est largement utilisée comme outil de bioévaluation afin d'évaluer la qualité écologique de leurs milieux (ILIOPOULOU-GEORGUDAKI *et al*., 2003, SCHMIDT-KLOIBER *et al*., 2006), et cela, pour plusieurs raisons. Dans un premier temps, les macro-invertébrés benthiques présentent une variété d'espèces extrêmement importante, chacune ayant des sensibilités différentes aux polluants et aux perturbations qui permettent d'obtenir des réponses graduées à un large spectre de stress. De plus, ils sont relativement sédentaires, ont une vie relativement longue et

répondent rapidement à un stress environnemental, permettant alors de mettre en évidence, par l'étude des changements d'abondance ou de structure d'âge, des perturbations passées (MANDAVILLE, 2002). Il est alors possible de faire une synthèse des conditions du milieu et de sa qualité en intégrant l'influence de multiples facteurs environnementaux (ILIOPOULOU-GEORGUDAKI *et al*., 2003).

Bien que les connaissances sur les macro-invertébrés benthiques progressent rapidement en Amérique Centrale (RAMÍREZ *et* PRINGLE, 1998, ROLDÀN PÉREZ, 1988), rares sont les travaux concernant la faune d'invertébrés aquatiques du Nicaragua et son utilisation en tant que bio-indicateur. Parmi ces travaux, FENOGLIO *et al*. (2002) ont comparé la justesse et l'applicabilité d'indices de diversité écologique « classiques » (Shannon, Simpson, etc.) et d'indices biotiques (Biotic Index, Family Biotic Index, etc.) appliqués à sept sites plus ou moins influencés par les activités anthropiques de la rivière *San Juan* au sud-est du lac Nicaragua. Ils ont ainsi montré que certains indices, et donc la structuration des communautés benthiques, reflétaient l'état de dégradation du milieu.

## 1.8 Mise en contexte et problématiques

Cette section présente d'abord un bref historique de l'histoire politique du pays, puisqu'elle a une importance particulière dans le cas d'une des communautés, pour lequel le problème lié à l'accès à l'eau potable est, avant toute chose, d'ordre politique. Ensuite, sont présentées les problématiques spécifiques de chacune des communautés dans lesquelles le projet s'est déroulé.

### *1.8.1 Histoire politique du pays*

Il faut savoir que l'histoire du Nicaragua est marquée par de nombreux conflits, et ce, encore jusqu'à tout récemment. Comme pour la plupart des pays d'Amérique Latine, ce territoire a d'abord été conquis par les espagnols en 1520. Le Nicaragua obtient son indépendance complète (c.-à-d. du Mexique puis des autres pays d'Amérique Centrale) en 1838. Il s'en suit une suite infinie de conflits entre les États-Unis et l'Angleterre concernant la perspective de construction d'un canal reliant les océans Pacifique et Atlantique. C'est là le début d'une longue histoire d'ingérence des États-Unis dans la politique nicaraguayenne. Un américain (William Walker) se proclama président du Nicaragua en 1856 (1856-1857); moment où il restaura l'esclavage. S'en suit une série d'affrontements politiques entre les factions libérale et

conservatrice; les libéraux étant supportés financièrement et matériellement (en armes surtout) par les États-Unis. Suite à la tentative du président Zelaya de réglementer l'accès des étrangers aux ressources naturelles et à l'instabilité croissante causée par les affrontements entre les deux factions, Theodore Roosevelt a fait intervenir des navires de guerre de la US Navy, officiellement cette fois, au Nicaragua (1909). Les Américains demeureront en place jusqu'en 1933.

Entre 1927 et 1933, un nouveau soulèvement émergea au Nicaragua. Le général Augusto Sandino, aujourd'hui héros national, mena une guérilla à la fois contre le gouvernement conservateur et les forces américaines. C'est la guérilla menée par cet homme qui força les États-Unis à retirer leurs troupes. Toutefois, les marines furent remplacés par la Garde Nationale formée et équipée par ces derniers, et Anastasio Somoza Garcìa prit le pouvoir (1936-1956) après avoir fait assassiner Sandino en 1934, toujours avec le soutien des États-Unis. C'est le début de la prise de pouvoir par la famille Somoza (des Somoza se succéderont à la présidence), mais également celui de l'opposition marxiste, inspirée de la révolution cubaine, qui deviendra le Front de libération nationale sandiniste (FSLN). Le tremblement de terre de 1972 marque un tournant de cette époque. Plus de 500 000 personnes se retrouvèrent dans la rue et plus de 25 000 autres sont mortes; divers pays envoyèrent une aide monétaire. Cette aide fut détournée par Somoza qui instaura la loi martiale et donna l'ordre de raser des villages au Nord du pays soupçonnés d'appuyer le mouvement révolutionnaire commençant à se faire sentir. Il s'en suivit de nombreux conflits armés et la guerre civile éclata.

Ce n'est qu'en 1979 que les sandinistes renversèrent Somoza et prirent le pouvoir du pays. Cependant, cela ne mit pas un terme à la guerre civile puisque naquit le mouvement appelé *contras*, aussi supporté par les États-Unis et l'Argentine, afin de déposséder du pouvoir la faction sandiniste qui leur était hostile. Ces violences continuèrent jusqu'à la fin des années 1980 et tous ces affrontements firent plus de 90 000 victimes. En 1984, le président Daniel Ortega porta plainte contre les États-Unis devant la Cour internationale de Justice qui, en 1986, ordonna aux États-Unis de cesser son soutien aux opposants du régime et les condamna à payer 17 milliards de dollars au Nicaragua. Les États-Unis refusèrent ce jugement et supportèrent la *contras* jusqu'en 1989, en plus de maintenir leur embargo depuis 1985. En 1990, un gouvernement libéral fut élu et les États-Unis cessèrent leurs pressions sur le pays. Depuis, des dirigeants de différents partis se sont succédés à la tête du pays et c'est maintenant Daniel Ortega qui en est président depuis 2006.

Tous ces affrontements, qui sont encore très récents, ont contribué à créer une scission au sein de la population puisque nombre de personnes ayant combattu dans l'un ou l'autre des camps sont encore en vie aujourd'hui. Cette scission alimente malheureusement de nombreux conflits au sein des communautés et davantage maintenant que de nouvelles élections ont eu lieu en novembre 2011. C'est notamment le cas d'Aguas Agrias et d'une communauté voisine, dont la mésentente est alimentée par le fait que les premiers sont pour le FSLN, alors que les autres sont pour le Parti libéral.

### *1.8.2 Problématiques spécifiques*

Depuis plus de 12 ans, l'organisme de charité et de coopération internationale AVES travaille de concert avec plusieurs communautés en Amérique Latine dont la *UCA Tierra y Agua*, un regroupement de coopératives agricoles au Nicaragua. À de nombreuses reprises, ces communautés se sont dites préoccupées par la qualité de leur eau de consommation et ont demandé à AVES d'établir une collaboration avec une université canadienne afin de les appuyer dans leur projet de fournir à tous les membres des coopératives un accès continu à une eau potable de qualité. C'est dans ce contexte que sont nés le projet Eau Nicaragua ainsi que le cours EAU 921, afin de faire une étude sur la qualité de l'eau potable consommée par deux communautés au Nicaragua : Charco Muerto et Aguas Agrias.

#### 1.8.2.1 *Charco Muerto*

Cette communauté est située aux abords du lac Nicaragua (11° 47' 36" de latitude et 85° 53' 42" de longitude, département de Granada), principale source d'eau pour la communauté. Les gens y prennent leur eau autant pour se laver que pour boire et cuisiner, sans avoir idée de la qualité de celle-ci et des répercussions qu'elle peut avoir sur leur santé à court et long termes. Le CIRA a effectué de nombreuses études sur le lac Nicaragua et a montré que celui-ci présente des signes de contamination de sources diverses (Section 1.1). Les habitants de cette communauté sont préoccupés par cette situation et ont demandé à savoir si l'eau du lac est potable ou non et, dans le cas où elle ne l'est pas, si le système de filtration qu'ils utilisent est suffisant pour assurer une eau potable de qualité. Advenant le cas où l'eau du lac ne pourrait être consommée, des sources d'eau alternatives ont été identifiées et analysées.

Parallèlement à la consommation en eau potable, les étudiants participants au projet ont identifié une autre source possible d'exposition à des contaminants pouvant affecter la santé

des gens de cette communauté. Comme ceux-ci ont accès à une grande étendue d'eau où se trouvent de nombreuses espèces de poissons, les produits de la pêche sont une composante essentielle de l'alimentation pour cette communauté. Elle regroupe huit pêcheurs officiels, quatre bateaux et 16 filets de pêche pour une production annuelle d'environ 3 000 kg (UCA, 2001). Consommés de deux à trois fois par semaine en période hivernale (septembre à janvier) et jusqu'à plus de quatre fois par semaine en période estivale (février à août, lorsque la pêche est plus abondante), ces poissons pourraient affecter la santé des villageois si leur teneur en contaminants (ex. : en mercure ou en pesticides organochlorés) est trop importante.

#### 1.8.2.2 *Aguas Agrias*

La situation de cette communauté est différente puisque le village est déjà approvisionné par un réseau de distribution de l'eau. Par contre, il a été impossible d'obtenir des informations sur la qualité de cette eau et de savoir avec certitude si elle a bel et bien été testée par le passé. Dans le cas présent, le problème lié à l'eau ne semble pas tant résider dans sa qualité, mais plutôt dans un problème politique entre deux villages (*cf*. section 1.2.1). En effet, le village voisin contrôle le système de distribution en actionnant ou non la pompe et des coupures surviennent parfois sur quelques jours, voire des semaines. Cette situation oblige les femmes d'Aguas Agrias à parcourir quelques kilomètres vers la source d'eau naturelle la plus proche du village pour approvisionner leur maison. Devant l'impasse qui oppose les deux villages, les gens d'Aguas Agrias ont décidé d'évaluer la possibilité d'utiliser cette source d'eau située sur leur territoire afin de se doter de leur propre système de distribution en eau et d'assurer la distribution en continu d'une eau de qualité à tous les villageois.

Les deux communautés filtrent l'eau qu'ils consomment à travers des filtres en sable ou en terre cuite. Ces différents types de filtres sont donc présentés dans la partie suivante.

### *1.8.3 Description des filtres*

#### 1.8.3.1 *Filtres en terre cuite*

Ce filtre se compose d'un récipient fait d'un mélange de terre cuite et de sciures de bois imprégné d'argent colloïdal. L'eau à filtrer y est versée et percole à travers ce dernier pour se retrouver dans le récipient inférieur, où elle peut être récoltée par un robinet pour la consommation (Figure 1-6). Il y a deux modèles de filtre, soit de 22 ou de 30 litres. Le fabricant mentionne que ce filtre permet d'enlever 98 % des bactéries, parasites et particules en suspension contenus dans l'eau (FILTRON, 2011). L'efficacité du filtre quant à l'enlèvement de

coliformes, de *E. coli* et de streptocoques d'origine fécale a été testée à plusieurs reprises par le CIRA, mais les résultats détaillés ne sont pas donnés sur le site internet de Filtron. Il est aussi mentionné qu'un suivi a été fait au niveau de l'efficacité de ces filtres dans le temps et que même après sept années, le filtre est toujours aussi efficace lorsqu'entretenu adéquatement. Enfin, le site du fabricant mentionne que des tests ont été réalisés par les laboratoires en toxicologie du Massachussetts (États-Unis) afin d'établir la quantité d'argent colloïdal présent dans l'eau après filtration et celle-ci a été établie comme n'excédant pas les normes de l'OMS. Par contre, aucune référence n'est citée à ce sujet.

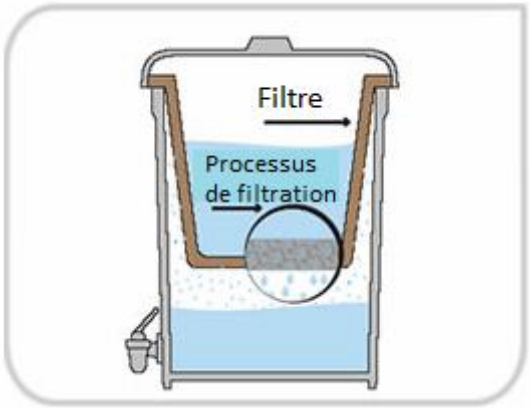


**Figure 1-6 : Schéma du filtre en terre cuite (tiré de Filtron, 2011).**

L'entretien consiste à brosser le récipient de terre cuite tous les jours à l'aide d'une brosse, sans détergents ou autres produits nettoyants. Il est aussi recommandé de ne jamais laisser sécher ce récipient une fois l'utilisation débutée. Enfin, pour le réservoir d'eau, il est conseillé de le nettoyer toutes les semaines avec un produit nettoyant.

#### 1.8.3.2 *Filtre en sable*

Les filtres en sable ont été offerts il y a environ dix ans aux gens de la communauté de Charco Muerto par l'organisation non gouvernementale Vision Mondiale. Un contact a été fait du côté de cet organisme pour tenter d'obtenir une description détaillée des filtres et des études faites sur leur efficacité, mais aucun document n'a été obtenu à la date de dépôt de ce rapport. Selon les habitants de la communauté, le filtre est composé de trois couches : 1) du sable fin sur le dessus, qu'ils changent maintenant avec celui de la plage proche de leur village; 2) du sable grossier dans le centre, qu'ils changent en utilisant du sable aux abords du lac Nicaragua; et 3) de la pierre active dans le bas, qu'ils se contentent de laver depuis dix ans. Selon les familles, les filtres sont lavés et les deux premières couches changées entre un et trois mois

d'utilisation. Il est aussi important de mentionner que les contenants d'origine des filtres se sont brisés au fil des années et les habitants ont transféré les couches du filtre dans de nouveaux récipients qu'ils ont adapté pour leur usage. La figure 1-7 montre la variabilité des filtres en sable que l'on retrouve désormais à Charco Muerto.

**Figure 1-7 : Photos de différents filtres en sable retrouvés à Charco Muerto : A) intérieur d'un filtre, B) et C) exemples d'adaptations des filtres.**

## 1.9 Objectifs

Globalement, un premier objectif était de mieux connaître les communautés. Pour ce faire, nous avons élaboré un questionnaire afin de mieux comprendre leurs habitudes de vie. Le deuxième objectif était d'évaluer la qualité de leurs eaux potables et l'efficacité de leurs filtres. Nous avons donc récolté des échantillons d'eau avant et après la filtration. Plusieurs paramètres caractérisant l'eau ont été mesurés tels la température, le pH, les anions, les métaux traces, les cations majeurs, les bactéries, les matières en suspension et les pesticides organochlorés. Lorsqu'une source alternative potentielle était présente, nous avons mesuré le débit de celle-ci afin d'observer si la quantité d'eau était suffisante pour la consommation de tous les villageois.

Puisque la communauté de Charco Muerto est en grande partie dépendante des poissons du lac Nicaragua, nous avons évalué la contamination de ceux-ci et la moyenne de consommation de contaminants par jour. Dans les prochaines sections sont présentés les objectifs spécifiques à chacun des aspects étudiés dans le cadre de cette étude.

### *1.9.1 Aspects sociaux des communautés et connaissances générales*

Un sondage a été effectué auprès des familles des communautés afin de : i) avoir une meilleure connaissance de leurs habitudes de vie, notamment en ce qui a trait à la consommation de l'eau et des poissons; ii) évaluer leur connaissance de leur environnement et des notions de contamination afin d'ajuster les interactions de façon à ce que les explications soient comprises; iii) obtenir plus d'informations sur des aspects spécifiques de leurs activités telles l'agriculture et l'utilisation de produits chimiques divers; iv) évaluer d'autres sources possibles de contamination de l'eau; et v) recueillir toutes informations pertinentes pouvant aider à la compréhension de la problématique et à l'interprétation des résultats.

#### 1.9.1.1 *Contamination microbiologique*

Le but était le même pour les deux communautés. Les objectifs étaient : i) de connaître les concentrations microbiennes des eaux consommées; ii) de connaître les concentrations microbiennes des eaux alternatives potentiellement potables; et iii) de déterminer l'efficacité des filtres pour éliminer les bactéries.

#### 1.9.1.2 *Contamination inorganique*

Les objectifs principaux étaient d'évaluer : i) les teneurs en contaminants inorganiques (métaux traces et anions) dans l'eau consommée par les habitants des deux communautés; ii) les teneurs en contaminants inorganiques dans l'eau des sources alternatives potentielles; iii) l'efficacité des filtres pour la rétention des contaminants inorganiques; et iv) les teneurs en métaux traces dans les poissons consommés par les habitants de Charco Muerto. Un autre objectif était la caractérisation physico-chimique du lac Nicaragua (à Charco Muerto) et de la source d'origine souterraine nommée Fuente Agria (à Aguas Agrias) comme support d'information pour l'interprétation des principaux résultats obtenus.

#### 1.9.1.3 *Contamination organique*

Les analyses de contaminants organiques, effectuées exclusivement dans la communauté de Charco Muerto, avaient pour objectif de connaître les concentrations de pesticides organochlorés dans l'eau de consommation de cette communauté. Un deuxième objectif était d'évaluer le risque d'exposition de la communauté par rapport aux mêmes pesticides présents dans les poissons couramment consommés. De plus, une analyse d'effets potentiels des produits chimiques actuellement utilisés par les membres de Charco Muerto dans leurs activités agricoles a aussi été effectuée. En raison de contraintes budgétaires et de pertinence scientifique, il a été décidé de ne pas analyser les pesticides à Aguas Agrias, puisque les sources d'eau sont de nature souterraine et que les habitants ne consomment pas de poissons.

#### 1.9.1.4 *Les macro-invertébrés comme bio-indicateurs*

L'objectif était d'explorer la possibilité d'utiliser la structure des communautés benthiques afin de caractériser la qualité de l'environnement à proximité des villages de Charco Muerto et d'Aguas Agrias, et de mettre en évidence des perturbations éventuelles.

#### 1.9.1.5 *Mesure de débits*

L'objectif était d'évaluer si les débits des sources alternatives étaient suffisants pour subvenir aux besoins de tous les villageois. De plus, l'impact sur l'environnement du prélèvement de l'eau à ces sources a été analysé. Cet exercice n'a été fait qu'à Aguas Agrias étant donné que les sources alternatives de Charco Muerto ne permettaient pas de mesurer le débit.

# 2. Matériel et méthodes

## 2.1 Description des sites d'échantillonnage

Cette section présente d'abord la répartition des sites d'échantillonnage pour les deux communautés. Elle comporte ensuite deux sous-sections où chacun de ces mêmes sites est décrit.

La figure 2-1 illustre l'emplacement des sources d'eau qui ont été échantillonnées dans les communautés de Charco Muerto et d'Aguas Agrias. Les coordonnées sphériques des sites ont été relevées à l'aide de GPS portatifs de marque GARMIN, dans le système de référence WGS-84. Le fond de carte topographique à l'échelle 1:50,000 date de 1972 (U.S. National Imagery and Mapping Agency, 1972). Il existe un décalage entre le positionnement des points GPS et la carte topographique, qui s'explique par l'utilisation d'un ellipsoïde et d'un datum plus anciens (NAD27) sur la carte. Les points GPS ont été repositionnés sur la carte à des fins d'affichage. Il est donc recommandé de se référer aux coordonnées géographiques indiquées dans le tableau 2.1-1 en tant que coordonnées officielles au lieu de lectures prises à partir du fond de carte. Ce tableau résume brièvement le type d'usage de chacun des sites ainsi que les analyses qui y ont été faites.

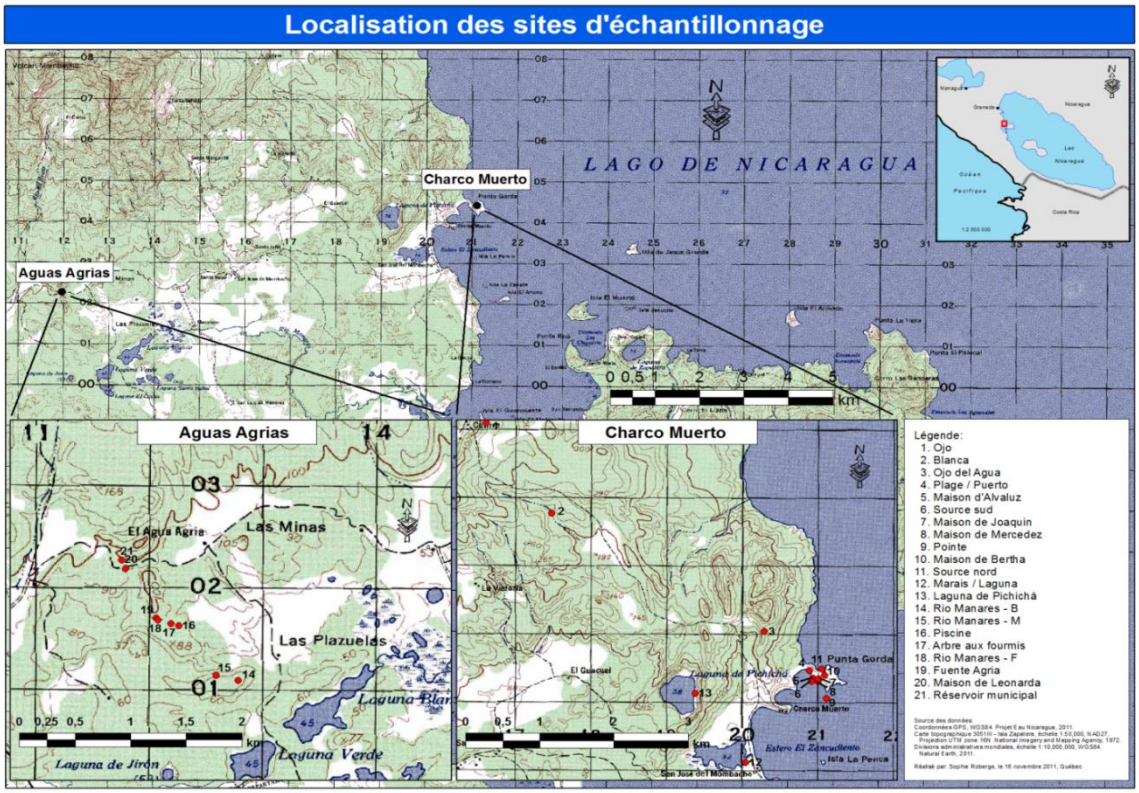


**Figure 2-1 : Localisation des sites d'échantillonnage dans les communautés de Charco Muerto et d'Aguas Agrias, Nicaragua.**

**Tableau 2.1-1 : Sommaire des activités réalisées à chaque site d'échantillonnage. Les points 1 à 13 se situent à Charco Muerto et les points 14 à 21 à Aguas Agrias.**

| No. du site | Nom | Coordonnées GPS | Usage de la source | Paramètres physico-chimiques | Contaminants organiques | Micro-biologie | Débit | Macro-invertébrés benthiques |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Ojo | 11°49.945'N, 85°55.819'W | Source alternative | | | 3 | | |
| **2** | Blanca | 11°49.196'N, 85°55.329'W | Source alternative | | | 3 | | 3 |
| **3** | Ojo del Agua | 11°48.202'N, 85°53.857'W | Aucun | | | | | |
| **4** | Plage / Puerto | 11°47.100'N, 85°53.436'W | Aucun | | | | | 3 |
| **5** | Maison d'Alvaluz | 11°47.974'N, 85°53.380'W | Filtre en sable | 3 | | 3 | | |
| **6** | Source sud, lac Nicaragua | 11°47.946'N, 85°53.396'W | Source d'eau à usage domestique | 3 Thermographe | 3 | 3 | | |
| **7** | Maison de Joaquin | 11°47.945'N, 85°53.361'W | Filtre en sable | 3 | | 3 | | |
| **8** | Maison de Mercedez | 11°47.929'N, 85°53.360'W | Filtre en sable | 3 | | | | |
| **9** | Pointe, Lac Nicaragua | 11°47.820'N, 85°53.210'W | Source d'eau à usage domestique | 3 Dialyseurs Thermographe | | | | |
| **10** | Maison de Bertha | 11°48.005'N, 85°53.286'W | Filtres en sable et en terre cuite | | | 3 | | |

**Tableau 2.1-1 (suite)**

| No. du site | Nom | Coordonnées GPS | Usage de la source | Paramètres physico-chimiques | Contaminants organiques | Micro-biologie | Débit | Macro-invertébrés benthiques |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **11** | Source nord, Lac Nicaragua | 11°48.009'N, 85°53.300'N | Source d'eau à usage domestique | 3 Thermographe | 3 | 3 | | |
| **12** | Marais / Laguna | 11°47.299'N, 85°53.895'W | Aucun | | | | | 3 |
| **13** | Laguna de Pichicha | Non disponible | Source alternative | | | 3 | | |
| **14** | Rio Manares - B | 11°46.052'N, 85°57.897'W | Aucun | | | | | 3 |
| **15** | Rio Manares - M | 11°46.080'N, 85°58.006'W | Aucun | | | | | 3 |
| **16** | Piscine, Rio Manares | 11°46.387'N, 85°58.305'W | Source d'eau à usage domestique et touristique | | | | 3 | |
| **17** | Arbre aux fourmis, Rio Manares | 11°46.400'N, 85°58.334'W | Aucun | | | | 3 | |
| **18** | Rio Manares - F | 11°46.418'N, 85°58.409'W | Source d'eau à usage domestique | | | | | 3 |
| **19** | Fuente Agria | 11°46.425'N, 85°58.413'W | Source alternative | 3 | | | 3 | |
| **20** | Maison de Leonarda | Non disponible | Source d'eau à usage domestique | 3 | | 3 | | |
| **21** | Réservoir municipal | 11°46.928'N, 85°58.641'W | Source d'eau à usage domestique | | | | | |

À titre indicatif, le tableau 2.1-2 donne l'emplacement des toilettes sèches situées sur la péninsule et qui pourraient être une source de contamination si leur contenu percole en trop grande quantité jusqu'aux endroits où l'eau est prélevée.

**Tableau 2.1-2 : Autres sites d'emplacement des toilettes sèches à Charco Muerto non illustrés sur la carte.**

| Nom du site | Coordonnées GPS |
|---|---|
| **Toilette, maison d'Alvaluz** | 11°47.986'N, 85°53.383'W |
| **Toilette, maison de Mercedes** | 11°47.919'N, 85°53.348'W |
| **Toilette, maison communautaire** | 11°47.927'N, 85°53.332'W |
| **Toilette, maison de Bertha** | 11°47.999'N, 85°53.287'W |

### *2.1.1 Les sites d'échantillonnage de Charco Muerto*

#### 2.1.1.1 *Eau du lac et filtration*

Les points d'approvisionnement en eau de quatre familles de la communauté et les filtres qu'elles utilisent ont été étudiés. Trois familles se localisent du côté sud de la péninsule de Charco Muerto (Figure 2-1), soit la famille d'Alvaluz (site n° 5), de Joaquin (site n° 7) et de Mercedez (site n° 8). Les femmes et les enfants vont puiser leur eau à l'endroit le plus près de leur maison, très tôt le matin, dans des chaudières. Ces familles utilisent toutes trois un filtre en sable pour la filtration de l'eau. Le point d'eau sud (site n° 6) est celui des familles d'Alvaluz et de Joaquin. La famille de Bertha (site n° 10) se situe quant à elle plus à l'écart de la communauté, du côté nord de la péninsule, et utilise les deux sortes de filtres. La source nord (site n° 11) est leur point d'eau. Le coin pour la lessive se trouve à 15 mètres plus en retrait. La profondeur d'eau est d'environ 50 cm. La roche volcanique submergée est d'une profondeur constante et s'avance très loin dans le lac. Par ailleurs, cinq dialyseurs ont été posés à la pointe (site n° 9) de la péninsule pour déterminer les concentrations d'éléments dissous.

#### 2.1.1.2 *Sources alternatives potentielles d'eau potable*

Les sources Ojo (site n° 1) et Blanca (site n° 2) ont été identifiées comme étant des sources alternatives potentielles en eau potable pour les habitants de la communauté de Charco Muerto.

#### 2.1.1.3 *Point 1 : Ojo*

La source alternative Ojo de Charco Muerto se situe à 340 m d'élévation du village. Le chemin pour s'y rendre est très cahoteux et en forte pente. Il est conseillé d'être habillé de vêtements longs pour éviter les blessures causées par des plantes urticantes et épineuses. Les femmes ne s'y aventurent presque jamais. Pour toutes ces raisons, aller chercher l'eau à pied est quasiment impossible.

La source est souterraine, avec résurgence à l'endroit où les habitants de Charco Muerto désireraient éventuellement y installer des tuyaux pour l'amener vers le village. On peut apercevoir cette résurgence à la figure 2-2. À ce même endroit, un tuyau était déjà installé pour fournir en eau un village de montagne ainsi qu'irriguer leurs champs et abreuver leur bétail. La végétation est très dense.

**Figure 2-2 : Site [1] de Charco Muerto nommé source Ojo.**

#### 2.1.1.4 *Point 2 : Blanca*

Ce point d'eau potable est utilisé par les habitants de Buena Vista, un village dans les environs de Charco Muerto. Le village est nommé ainsi en raison de la vue magnifique par-delà les montagnes à 252 m d'altitude. Cette source est la même que Ojo, seulement l'eau est amenée par tuyau au village. Elle se nomme Blanca puisqu'à la sortie du tuyau, l'eau est blanchâtre. Il ne fut pas possible de prendre le débit de cette source parce qu'au moment de notre passage, la source ne coulait pas (Figure 2-3). Les villageois ont apporté de l'eau plus tard dans la

semaine afin de pouvoir effectuer les analyses sur cette source. En effet, il y a souvent des interruptions de service à cet endroit.

**Figure 2-3 : Site [2] de Charco Muerto nommé source Blanca.**

#### 2.1.1.5 *Sites de récolte des macro-invertébrés benthiques*

Des macro-invertébrés aquatiques ont été prélevés à trois endroits à proximité de la communauté de Charco Muerto : la Plage/Puerto (site n$^{o}$ 4) située du côté sud de la péninsule, le Marais/Laguna (site n$^{o}$ 12) et Ojo del Agua (site n$^{o}$ 3) en aval des champs cultivés. La plage (Figure 2-4) se caractérise par de l'eau libre en rivage de lac et des plantes hélophytes. Le marais (Figure 2-5) se situe à 2 km de la communauté. Il s'agit d'un grand étang d'eau marécageuse. La végétation de types hydrophyte (laitue d'eau) et hélophyte se concentre sur les bordures du marais tandis que l'eau libre se situe en son centre. Le dernier site est une petite rivière dans la forêt. La végétation est dense et la voûte des arbres culmine à plus de 20 mètres.

**Figure 2-4 : Site [4] de Charco Muerto nommé Plage/Puerto.**

**Figure 2-5 : Site [12] de Charco Muerto nommé Marais/Laguna.**

### *2.1.2 Les sites d'échantillonnage à Aguas Agrias*

#### 2.1.2.1 *Réservoir municipal d'eau potable*

La structure en pierres, mortier et béton du réservoir municipal d'Aguas Agrias (site n° 21) est de forme rectangulaire (Figure 2-6). Il peut contenir jusqu'à 50 $m^3$ d'eau. Il est alimenté en eau venant d'un puits très profond. Le dénivelé du réservoir par rapport au village est quasiment nul, de là un problème important de pression pour acheminer l'eau au village. Il fut impossible de prendre des échantillons de l'eau puisque le réservoir était vide lors de notre passage au village.

**Figure 2-6 : Réservoir municipal d'Aguas Agrias vu de la rue (site n° 21).**

#### 2.1.2.2 *Sources alternatives potentielles d'Aguas Agrias*

Cette section présente les divers points d'échantillonnage pour l'évaluation de la Fuente Agria (site n° 19) comme source alternative d'approvisionnement en eau de la communauté. Ce point d'échantillonnage est l'endroit montré par les villageois comme étant la source alternative à privilégier pour le village. La source résurgente est située au pied d'une pente abrupte faisant environ 30 m de dénivelé sur 16 m pour la première étape (Figure 2-7). Ensuite, il reste environ 150 m de distance avant la première maison du village avec une pente beaucoup plus faible. Il y a un chemin d'accès à la source qui se poursuit au Rio Manares à l'endroit où les femmes font le lavage. Une végétation dense entoure la source.

**Figure 2-7 : Site n° 19 d'Aguas Agrias nommé Fuente Agria; la source alternative du village.**

#### 2.1.2.3 *Point 17 : Arbre aux fourmis*

Le débit a été mesuré à cet endroit pour quantifier l'impact de l'apport en eau de la source Fuente Agria juste avant l'entrée du Rio Manares, avant la piscine (Figure 2-8).

**Figure 2-8 : Site en amont de la piscine, Aguas Agrias (site n° 17).**

#### 2.1.2.4 *Point 16: Piscine du Rio Manares*

Cet endroit est situé à l'aval de la Fuente Agria et de l'arbre aux fourmis (Figure 2-9). Une mesure de débit a été effectuée à cet endroit pour quantifier l'impact de l'apport en eau de la

source Fuente Agria. À ce point, il est également possible de quantifier les apports de l'eau souterraine dans la piscine.

**Figure 2-9 : En aval de la source et juste après un élargissement de la rivière nommé piscine, Aguas Agrias.**

#### 2.1.2.5 *Sites d'échantillonnage de macro-invertébrés benthiques à Aguas Agrias*

Les sites de prélèvement des organismes benthiques dans la communauté d'Aguas Agrias ont la particularité de suivre le Rio Manares. Leur distribution spatiale vise à souligner la présence ou l'absence de changements dans l'organisation des communautés benthiques selon la distance par rapport à la Fuente Agria. Le site Rio Manares-B (Point n° 14) est le site de prélèvement le plus en aval, à la jonction avec le Rio Negro, ce dernier étant plus riche que le Manares. Les plantes qui s'y trouvent sont essentiellement des macrophytes émergentes, réparties ici et là sur les berges du Rio Manares. La végétation terrestre est dense : l'étage arbustif domine (Figure 2-10a). Le site Rio Manares-M (Point n° 15) est le site intermédiaire. Il se caractérise lui aussi par la présence de macrophytes émergentes dans son chenal. En ce qui concerne la végétation terrestre, l'étage arbustif y est nettement moins dominant bien qu'encore présent. On y note aussi une plantation de bananiers dont le réseau d'irrigation se déverse dans la rivière. L'eau du Rio Manares commence à devenir trouble (Figure 2-10b). Le site Rio Manares-F (Point n° 18) est le site de prélèvement le plus en amont. Il se situe environ à une centaine de mètres de la Fuente Agria, là où son chenal dépasse deux mètres de largeur. Les habitants de la communauté y font leur lessive et s'y baignent (Figure 2-10c).

A)

B)

C)

**Figure 2-10 : Site [14] d'Aguas Agrias nommé : A) Rio Manares-B; B) Rio Manares-M; et C) Rio Manares-F.**

## 2.2 Portrait des communautés

Un questionnaire oral a été soumis à chaque famille durant la durée du séjour. Chaque fois, deux personnes du groupe rencontraient la famille et passaient en revue le questionnaire, tout en approfondissant certains commentaires et en filmant les échanges. Ce questionnaire regroupe 14 catégories qui ont d'une à plusieurs sous-questions. Le questionnaire dans son ensemble est présenté en annexe 2.

## 2.3 Matières en suspension – filtration membranaire

Les matières en suspension dans l'eau du lac Nicaragua ont été mesurées à l'aide d'une pompe à vide manuelle avec des filtres Millipore de type APFB de 1 µm. Ce type de filtre a été choisi puisqu'il permet la séparation des matières dissoute et particulaire. Le filtrat était récolté ainsi que le filtre préalablement pesé pour ensuite être séché dans un séchoir domestique. À l'INRS-ETE, les filtres ont été séchés de nouveau, puis pesés. La figure 2-11 montre le montage reproduit sur le terrain. Les matières en suspension sont exprimées en mg/L.

**Figure 2-11 : Montage de filtration membranaire sous vide.**

## 2.4 Physico-chimie et analyse inorganique

L'ensemble du matériel pour l'analyse des métaux traces et des cations majeurs (embouts de pipettes, pots d'échantillonnage et dialyseurs) subissait un trempage pendant 24 h dans 10 % d'$HNO_3$ (v/v), puis était rincé cinq fois à l'eau déionisée et deux fois à l'eau ultrapure (~ 18 Mohms cm). Le matériel était ensuite séché sous une hotte à flux laminaire. Le matériel pour l'analyse des anions était neuf, rincé sept fois à l'eau ultrapure, puis séché sous une hotte à flux laminaire. Le matériel pour l'analyse du carbone organique dissous (COD) subissait un trempage dans du NaOH (0,05 M) pendant 24 h, puis était rincé à l'eau ultrapure et séché sous une hotte à flux laminaire. Les membranes en polysulfone (PS) de 0,2 µm utilisées pour les dialyseurs subissaient un trempage dans de l'eau ultrapure pendant sept jours en changeant l'eau chaque jour. Une quantité de 40 µL d'HCl 1N était injectée dans chaque pot d'échantillonnage de 4 ml du COD et du carbone inorganique dissous (CID). Une quantité de 160 µL d'$HNO_3$ (concentrée) était insérée dans les bouteilles en polyéthylène de haute densité de 16 ml, utilisées pour l'échantillonnage des métaux et cations majeurs. Sous une hotte à flux laminaire et en les manipulant avec des gants, les huit cellules de 4 ml des dialyseurs étaient remplies avec de l'eau ultrapure. La membrane en PS était ensuite déposée sur les dialyseurs, puis le support de membrane en plastique était vissé (Figure 2-12). Les dialyseurs étaient disposés dans des sacs scellés.

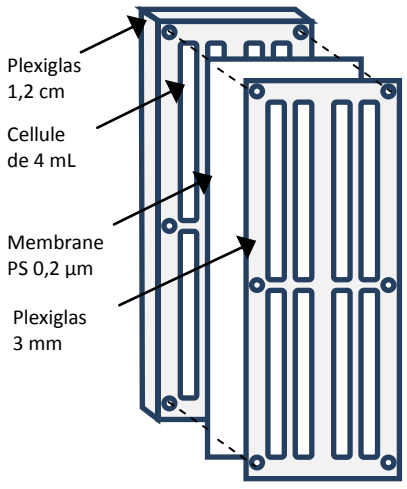


**Figure 2-12 : Schéma d'un dialyseur *in situ*.**

La sonde multiparamétrique (YSI Professional Plus, Hoskin Scientifique) a été calibrée pour la température (avec un thermomètre), la conductivité (avec une solution de KCl à 0,1 M), le pH (avec des solutions étalons de pH 4,00 et 7,00) et pour l'oxygène dissous (avec une eau agitée et laissée en contact avec l'atmosphère pendant 24 h) à l'INRS-ETE. La calibration de ces différents paramètres a été vérifiée tous les trois jours pendant le séjour au Nicaragua.

Trois blancs d'échantillonnage ont été réalisés à des jours différents sur le terrain pour le COD, le CID, les cations majeurs, les métaux traces et les anions.

### *2.4.1 Physico-chimie du lac Nicaragua dans la région de Charco Muerto*

Le site d'analyse est situé à une centaine de mètres au large de la pointe de la péninsule de *Charco Muerto* et est nommé la Pointe [9]. Le pH, l'oxygène dissous, la conductivité et la température étaient mesurés avec la sonde multiparamétrique. Les métaux traces dissous, les cations majeurs, les anions, le carbone inorganique et le carbone organique dissous étaient analysés avec la pose de cinq dialyseurs pendant cinq jours dans l'épilimnion du lac, à environ trois mètres de profondeur, sur une profondeur totale de neuf mètres. Les dialyseurs étaient attachés sur une corde reliée à une brique à une extrémité et à un flotteur à l'autre extrémité. Pendant ces cinq jours d'exposition, les éléments dissous ont diffusé à travers la membrane de 0,2 µm des dialyseurs et leurs concentrations dans la solution interne, initialement nulles, se sont équilibrées avec celles du lac. Pour chaque dialyseur, après les cinq jours d'exposition, 1 ml d'une première cellule du dialyseur était prélevée pour l'analyse du CID avec une seringue de 2,5 ml. Les 4 ml d'une deuxième cellule étaient prélevés avec une pipette pour l'analyse des anions. Les 4 ml d'une troisième cellule étaient prélevés avec une pipette pour l'analyse du COD. Les 4 ml des quatre cellules suivantes (16 ml) étaient prélevés avec une pipette pour l'analyse des métaux traces et des cations majeurs. La dernière cellule et les 3 ml restants de la première cellule étaient utilisés pour mesurer le pH. En tout, 16 ml d'eau non filtrée du lac étaient prélevés en double au site d'immersion des dialyseurs pour l'analyse des concentrations totales en métaux traces. Le pH, l'oxygène dissous, la conductivité et la température étaient de nouveau mesurés. La température et l'oxygène dissous ont aussi été mesurés en fonction de la profondeur.

Les échantillons de COD et de CID étaient acidifiés à 1 % de HCl et les échantillons de métaux et de cations majeurs étaient acidifiés à 1 % de $HNO_3$ en raison de l'acide préalablement inséré dans chacun des contenants d'échantillonnage avant le séjour au Nicaragua. Les échantillons étaient conservés à température ambiante avant d'être analysés à l'INRS-ETE.

Enfin, un thermographe a été déposé pendant cinq jours aux sites sud [6] et nord [11] de la péninsule afin de déterminer les variations de température dans l'eau du lac. Les thermographes utilisés ont permis de mesurer la température horaire avec une précision de 0,2 $^{o}$C.

### *2.4.2 Éléments inorganiques dans l'eau de consommation*

À *Charco Muerto*, comme pour les analyses microbiologiques, l'eau de quatre familles a été analysée avant et après filtration dans chacun de leurs filtres. Les mesures ont été répétées sur trois jours. L'eau avant filtration correspond à celle des sites sud [6] et nord [11]. Le pH, l'oxygène dissous, la conductivité et la température étaient mesurés dans l'eau avant filtration avec la multisonde. Les concentrations totales en métaux traces, en cations majeurs et en anions avant et après filtration dans les cinq filtres ont été mesurées.

L'eau des deux sources alternatives potentielles Ojo [1] et Blanca [2] a été échantillonnée pour l'analyse des métaux traces totaux.

À Aguas Agrias, le premier site d'analyse était la source alternative potentielle d'eau potable d'origine souterraine nommée la Fuente Agria [19]. Le pH, l'oxygène dissous, la conductivité et la température étaient mesurés avec la multisonde sur trois jours. Des échantillons pour la mesure du carbone organique (CO), du carbone inorganique (CI), des anions, des métaux traces totaux et des cations majeurs étaient aussi prélevés sur trois jours. Le CO et le CI étaient échantillonnés sans filtration préalable, car les expériences à Charco Muerto ont montré que ces concentrations étaient les mêmes à l'intérieur et à l'extérieur des dialyseurs. De plus, il n'était pas possible de poser des dialyseurs à cet endroit.

Les métaux traces totaux ont aussi été mesurés sur trois jours dans l'eau actuellement consommée par les habitants d'Aguas Agrias, à la sortie du robinet de la maison de Leonarda [20].

Les échantillons étaient conservés à température ambiante avant d'être analysés à l'INRS-ETE.

### *2.4.3 Éléments traces dans les poissons consommés à Charco Muerto*

Un contact a été établi avec les pêcheurs de *Charco Muerto* afin de pouvoir leur acheter des poissons qu'ils mangent fréquemment (*cf.* Section 1.5). Trois individus ($n$ = 3) parmi cinq espèces de poisson ont été récoltés, ci-après dénommés massamichi, mojarra noir et pâle, *Amphilophus citrinellus* et sabalete. Le poids total et la longueur (du museau à la fourche de la

queue) ont été mesurés. Des échantillons du muscle du dos antérieur, du foie et des œufs (lorsque disponibles) des poissons ont été récoltés.

Les échantillons de poissons ont été insérés dans des tubes à centrifugation de 1,5 ml. Les échantillons ont été séchés entre 35 et 45 $^{o}$C pendant deux jours à la CIRA/UNAN afin d'éviter la perte de mercure volatile. De retour à l'INRS-ETE, ils ont été séchés de nouveau à froid au lyophilisateur. Environ 15 à 30 mg de tissu sec ont été pesés précisément à l'aide d'une balance Sartorius (précision de 0,01 mg) et mis dans un pot de 15 ml en polyéthylène de haute densité. Les 100 µL d'$HNO_3$/mg de tissu ont été ajoutés pour une période de deux jours, ensuite 40 µL de $H_2O_2$/mg de tissu pendant une journée et le volume a été complété à 0,5 ml/mg de tissu avec de l'eau ultrapure, donnant une matrice de 20 % d'$HNO_3$. Avant l'analyse, les échantillons ont été dilués par un facteur deux afin d'obtenir une matrice de 10 % d'$HNO_3$.

### *2.4.4 Analyse des éléments inorganiques dans l'eau et les poissons*

#### 2.4.4.1 *Méthodes d'analyse des éléments inorganiques dans l'eau et les poissons*

Les concentrations en métaux traces et cations majeurs des différents échantillons d'eau et de poissons récoltés sur le terrain ont été mesurées par ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Absorption Emission Spectrometry) (Vista Ax, CDD Simultaneous ICP-AES, Varian). Des échantillons standards et certifiés ont été analysés. Les métaux traces analysés étaient Al, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Re, Sb, Sc, Sn, Sr, Ti, Tl, U, Zn et Zr. Les cations majeurs analysés étaient Ca, K, Mg et Na. Les éléments non métalliques As, Se, S et Si ont aussi été mesurés. Le Hg dans la chair des poissons a été analysé directement dans les échantillons séchés à l'aide du Direct Mercury Analyser-80 (DMA-80). La mesure du CID a été effectuée par chromatographie gazeuse (GC Varian 3800) et la mesure du COD par TOC-V-CPH (Total Organic Carbon; combustion catalytic oxidation) (Shimadzu VCPH). La mesure des anions a été effectuée par chromatographie ionique (ICS-2000, Ion Chromatography System, Dionex). Les anions mesurés étaient Br, Cl, F, $NO_2$, $NO_3$, $PO_4$ et $SO_4$. La mesure du phosphore total a été effectuée par spectrophotométrie UV-VIS à la longueur d'onde de 885 nm.

Les concentrations en éléments inorganiques mesurées dans l'eau consommée et dans l'eau des sources alternatives potentielles des deux communautés ont été comparées avec les recommandations les plus récentes de l'OMS. Pour évaluer le risque posé par la consommation de poissons, les concentrations en contaminants dans ces derniers doivent être considérées

avec la consommation journalière de poissons par les habitants de Charco Muerto. Celle-ci a été évaluée comme décrite dans la section qui suit.

#### 2.4.4.2 *Évaluation de la consommation journalière de contaminants venant des poissons*

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) émet des normes maximales de consommation journalière de plusieurs contaminants. Ces unités sont généralement en µg de contaminants par unité de poids corporel (kg) par jour (µg/kg/jour). Le poids moyen utilisé pour un adulte est de 60 Kg; ce qui correspond à un faible poids pour une femme (140 livres) et la consommation journalière est de 12 g de chair de poisson sèche (c.-à-d. environ 60 g de filet frais). Cette valeur de consommation de poissons est basée sur un sondage fait auprès des villageois et calculée comme l'indique le tableau suivant.

**Tableau 2.4-1 : Poids moyen d'une Mojarra (repas type), sa proportion de muscle (Kabahenda et Husken, 2009) et le poids muscle correspondant en poids humide. La relation entre le poids sec et humide de 1/5 (CRESP, 2006), le nombre de repas de poissons consommés par les villageois et la quantité de chair (en poids sec) correspondante pour une semaine.**

| | Moyenne (*n* = 10) |
|---|---|
| Poids moyen total Mojarra (g PF) | 226 |
| Proportion de muscle (%) | 40 |
| Poids de muscle (g PF) | 90 |
| Poids sec (1/5; PS) | 18 |
| 4,5 repas par semaine | 81 |
| Quantité de poisson/jour (g PS) | 12 |

## 2.5 Contamination par les pesticides organochlorés

### *2.5.1 Dans l'eau*

Afin de réaliser l'analyse des pesticides organochlorés (α-HCH, β-HCH, δ-HCH, lindane, pp-DDE, pp-DDD, pp-DDT, époxyde d'heptachlore, chlordane heptachlore, aldrine, dieldrine, endrine, endosulfane-I, endosulfane-II) dans le lac Nicaragua, deux échantillons d'eau ont été prélevés. Le premier prélèvement a été réalisé au sud [6] et le deuxième au nord [12] de la péninsule de Charco Muerto (Figure 2-1). Des contenants en verre opaque d'un litre exempts de toute contamination et recouverts d'une feuille d'aluminium empêchant tout contact de l'eau

avec le bouchon en plastique ont été utilisés. Une quantité de 100 ml d'hexane a été ajoutée à chaque échantillon, qui a ensuite été transporté dans la glace jusqu'au laboratoire où ils ont été conservés à 4 $^{o}$C jusqu'au moment de l'analyse. Les analyses ont été effectuées en collaboration avec le laboratoire de toxicologie organique du CIRA/UNAN.

Le volume de chaque échantillon a été mesuré puis transféré dans des ampoules de deux litres. Ensuite, une première extraction a été réalisée avec de l'hexane en agitant l'échantillon dans 100 ml de solvant pendant deux minutes et en laissant les deux phases se diviser. La phase organique a ensuite été décantée dans un ballon de 500 ml en la faisant passer à travers un lit de $Na_2SO_4$. Pour chaque échantillon, la phase aqueuse a ensuite été récupérée pour être soumise à deux extractions liquides avec du dichlorométhane dans les mêmes conditions que la première extraction effectuée avec l'hexane. Les deux extraits de dichlorométhane ont été concentrés dans un volume d'environ 1 ml à l'aide d'un évaporateur rotatif, puis combinés avec les extraits d'hexane. Pour éliminer les composés sulfurés pouvant interférer avec les analyses, la méthode du sulfite de tétrabutylammonium (TBA) a été appliquée aux extraits selon des indications de l'agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA), Méthode 3660B (US EPA, 1996a).

Une fois les extraits concentrés de nouveau à l'aide de l'évaporateur rotatif, les pesticides organochlorés ont été dosés par chromatographie en phase gazeuse avec détection à capture électronique (CG-DCE). Les concentrations des pesticides de type organochloré contenus dans les échantillons ont été calculées en comparant les surfaces des pics des produits de l'échantillon à celles obtenues avec des solutions étalons de concentrations connues. Des solutions contrôles, des ajoutés dosés d'une solution d'hexachlorobenzène (HCB) ainsi que des duplicatas des échantillons ont été utilisés comme contrôles de qualité des analyses. Les valeurs des critères d'acceptabilité pour ces contrôles étaient dans l'intervalle des valeurs acceptables établies par le système de qualité du laboratoire de contaminants organiques du CIRA/UNAN.

### *2.5.2 Dans les poissons*

Les analyses des pesticides organochlorés dans les poissons consommés par les habitants de Charco Muerto ont été réalisées sur les mêmes poissons récoltés pour l'analyse des métaux traces (*cf*. Section 2.4.3). Ces poissons ont été disséqués afin de préparer quatre échantillons composites de muscle et un échantillon composite de foie. Ces échantillons ont ensuite été placés sur la glace pour le transport jusqu'au laboratoire, puis conservés à -20 $^{o}$C jusqu'au

moment des analyses. Les analyses ont été effectuées en collaboration avec le laboratoire de toxicologie organique du CIRA/UNAN.

Pour ces analyses, les échantillons ont d'abord été coupés et broyés à l'aide d'un ciseau et d'un mortier afin de faciliter le contact du matériel biologique avec les solvants durant l'étape d'extraction. Ensuite, deux extractions de huit heures avec de l'hexane puis du dichlorométhane ont été réalisées en utilisant la méthode de Soxhlet selon les indications de l'US EPA (Méthode 3540C; US EPA, 1996b). Les extraits obtenus avec le dichlorométhane ont été concentrés dans environ 1 ml à l'aide d'un évaporateur rotatif, puis combinés avec les extraits d'hexane. Ensuite, une étape de purification a été réalisée à l'aide de la chromatographie en colonne afin d'obtenir les fractions correspondantes aux pesticides organochlorés. Les extraits des fractions obtenues ont été concentrés puis analysés. L'élimination des composés sulfurés et le dosage par CG-DCE des pesticides organochlorés ont été effectués selon les indications précisées pour les échantillons d'eau. Les critères d'acceptabilité des contrôles de qualité ont donné des valeurs acceptables comme celles obtenues pour les échantillons d'eau. La consommation journalière de poissons par les habitants de Charco Muerto évaluée dans la section 2.4.4 a été utilisée pour évaluer le risque posé par les pesticides organochlorés via la consommation de poissons avec les normes de la FAO.

## 2.6 Contamination microbiologique

Une campagne d'échantillonnage a été menée pour estimer la contamination bactériologique globale de l'eau consommée par les deux communautés et l'efficacité des filtres. Les microorganismes ciblés étaient les entérobactéries, les coliformes totaux et *E. coli*.

À Charco Muerto, l'eau de quatre familles a été analysée avant (aux sites sud [6] et nord [11]) et après filtration dans chacun de leurs filtres. Les mesures ont été répétées sur trois jours. Les deux sources alternatives potentielles, Ojo [1] et Blanca [2] ont aussi été analysées. À Aguas Agrias, l'eau de la source alternative Fuente Agria [19] a été analysée sur une journée. L'eau arrivant du réservoir municipal à la maison de Leonarda [20] a été analysée avant et après filtration dans un filtre en terre cuite sur une journée. Un contrôle a été réalisé sur le terrain avec de l'eau ultrapure.

Cette section présente les deux méthodes qui ont été utilisées pour déterminer la présence de bactéries dans les eaux étudiées. La première méthode était plutôt à titre indicatif afin d'avoir un

portrait de base de la situation et la deuxième a permis de déterminer si la quantité de colonies dépassait les normes de l'OMS ou non.

### *2.6.1 Petrifilmtm 3M$^{tm}$*

Un Petrifilm$^{tm}$ 3M$^{tm}$ est essentiellement un milieu de culture sélectif permettant la croissance d'un microorganisme précis. La surface du milieu de croissance est protégée par un film de plastique pour réduire les risques de contamination durant la manipulation et l'incubation. L'utilisation du Petrifilm permet d'éliminer l'étape de confirmation du microorganisme recherché ainsi que le temps nécessaire à la préparation des milieux de croissance. Si la bactérie est présente dans un échantillon, il va y avoir formation de colonies sur le milieu sélectif. Par ailleurs, la quantité de colonies qui poussent sur la gélose détermine le nombre de microorganismes présents dans l'échantillon.

L'utilisation du Petrifilm est très simple. Il suffit de soulever la feuille protectrice et d'inoculer 1 ml de l'échantillon à analyser. Il existe une panoplie de milieux sélectifs servant à isoler différents microorganismes (3M$^{tm}$ Microbiology, 2004) ainsi que diverses méthodes. Dans notre cas, deux types de milieux sélectifs ont été utilisés : entérobactérie et *E. coli*/coliformes. L'incubation des entérobactéries était de 24 h et celle *d'E. coli*/coliformes était de 24 et 48 h à température ambiante mesurée entre 27 et 35 $^{o}$C (3M$^{tm}$ Microbiology, 2001; Figure 2-13). Avec les Petrifilms *E. coli*/coliformes, la présence de colonies bleues représente une contamination par *E. coli* (3M$^{tm}$ Microbiology, 2001). Les coliformes totaux sont calculés en additionnant les colonies bleues aux colonies rouges avec présence de gaz (3M$^{tm}$ Microbiology, 2001). Il y a présence d'entérobactéries si les colonies donnent lieu à une formation de gaz et/ou une zone décolorée qui les entoure (3M$^{tm}$ Microbiology, 2006). La zone décolorée jaunâtre correspond à la formation d'acide extracellulaire produite par les entérobactéries. Dans les trois cas, le dénombrement se réalise uniquement dans la région du milieu sélectif, car les colonies qui croissent à l'extérieur de ce milieu ne sont plus influencées par la spécificité du milieu.

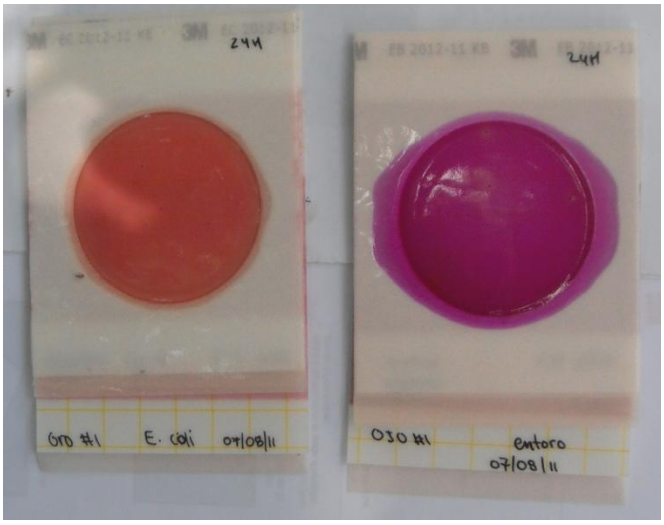


**Figure 2-13 : Les Petrifilms *E. coli*coliformes et entérobactéries préalablement inoculés et incubés durant 24 h.**

### *2.6.2 Nombre le plus probable*

La méthode du nombre le plus probable (NPP) est utilisée pour estimer la quantité de bactéries d'un échantillon initial en fonction de résultats positifs ou négatifs. Ces résultats sont ensuite comparés au tableau approprié de la méthode pour obtenir l'estimation la plus probable de la quantité de bactéries de l'échantillon. Dans le cadre du présent projet, cette technique a été appliquée au département de microbiologie à l'UNAN, car elle nécessitait de l'équipement scientifique difficilement accessible sur le terrain d'échantillonnage. La méthode du nombre le plus probable (NPP) est décrite par APHA (2005) pour la détermination des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants, des *enterococcus* et des *streptococcus*. La méthode NPP est très utile lorsque le degré de contamination est inconnu; elle permet de couvrir un spectre très large d'une concentration de contaminant recherché.

La méthode du nombre le plus probable consistait en dilutions séquentielles à partir d'un échantillon initial. Par la suite, chaque échantillon était transféré dans des aliquotes contenant un milieu de croissance puis soumis à une première incubation. Les échantillons étaient ensuite inoculés dans un nouveau milieu de croissance sélectif au microorganisme ciblé et incubés pour la deuxième fois. Finalement, la présence ou l'absence de microorganismes était observée dans chaque échantillon. Le résultat était comparé avec une charte pour obtenir l'estimation de la concentration de contaminants dans l'échantillon initial (Figure 2-14).

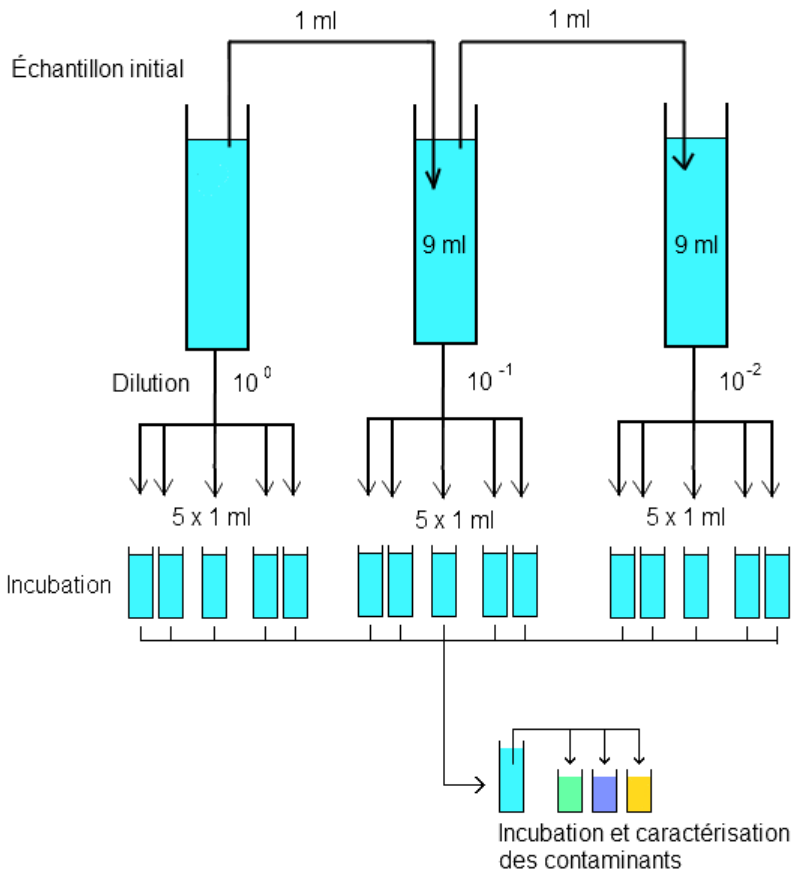


**Figure 2-14 : Schéma de la méthode du nombre le plus probable avec cinq aliquotes de chacune des trois concentrations pour la détermination des coliformes totaux, des coliformes thermorésistants et d'*E. coli*.**

Pour déterminer la présence de coliformes totaux, de coliformes thermotolérants et d'*E. coli*, les aliquotes inoculées contenaient un milieu à base de lauryl sulfate et ont subi une première incubation de 24 à 48 h à 35 °C. Pour les coliformes totaux, la deuxième incubation s'est faite en présence du milieu vert brillant à 35 °C durant 24 à 48 h. La présence de coliformes totaux était confirmée en cas de formation de gaz durant la deuxième incubation. Pour les coliformes thermotolérants, la seconde incubation, dans un bain-marie, s'est déroulée en milieu EC durant 24 h à 44,5 °C. Il y a présence de coliformes thermorésistants s'il y a une augmentation de turbidité avec une formation de gaz. Finalement, pour *E. coli*, la seconde incubation s'est effectuée avec un bain-marie dans un milieu EC-MUG à 44,5 °C pendant 24 h. Une augmentation en turbidité et fluorescence aux rayons UV indique la présence d'*E. coli*. Le contrôle de qualité a été effectué avec *E. coli* ATCC 25922 (contrôle positif) et *S. aureus* ATCC 25923 (contrôle négatif).

Pour la détermination de *streptococcus* et d'*enterococcus*, la première incubation a été réalisée en milieu de croissance à base de bouillon d'azoture de dextrose pendant 24 à 48 h à 35 °C. Après la première incubation, des plaques de Petri contenant une gélose BEA (Bile Esculine Azide) ont été inoculées par les échantillons et ont été incubées durant 24 h à 35 °C. Les colonies démontrant une couleur café à noir sont des *streptococcus* fécaux.

Les colonies de *streptococcus* étaient transférées dans un bouillon de cerveau et de cœur contenant 6,5 % de NaCl et étaient ensuite incubées pendant 24 h à 45 °C. Les échantillons démontrant une augmentation en turbidité indiquent la présence d'*enterococcus*. Le contrôle de qualité a été effectué avec *Enterococcus faecalis* ATCC 11700 (contrôle positif) et *E. coli* ATCC 25922 (contrôle négatif). Le calcul du nombre le plus probable de bactéries par 100 ml a été réalisé à l'aide d'une table de probabilités, sachant que les cinq tubes ont été essayés avec chaque dilution.

## 2.7 Débits des sources d'eau

Les mesures de débit ont été effectuées à l'aide d'un moulinet électronique, de modèle 2000 portable flowmeter de FLO-MATE. La méthode du point unique de la norme internationale ISO 748 a été utilisée. Cette méthode a été choisie puisque les canaux étaient peu profonds et la vitesse variait peu. Elle consiste à décortiquer le canal en diverses sections et à prendre la vitesse à 60 % de la hauteur d'eau au-dessous de la surface à chacune des sections. Le débit est la somme de l'aire des sections multipliées par la vitesse. Tout dépendant de la largeur des canaux, ils ont été divisés entre 7 et 18 sections.

Le débit de la Fuente Agria a aussi été mesuré à l'aide d'une deuxième méthode. La vitesse moyenne de l'eau a été mesurée en chronométrant le temps nécessaire à une feuille pour parcourir une distance donnée. La mesure a été répétée 20 fois. Cette vitesse est représentative puisque l'eau était basse. Cette méthode peut avoir tendance à surestimer le débit puisque la vitesse à la surface est normalement plus élevée que la vitesse moyenne.

## 2.8 Caractérisation des communautés benthiques

### *2.8.1 Échantillonnage des macro-invertébrés*

Un site d'échantillonnage était défini par une section d'environ 100 mètres de longueur. À chaque site ont été réalisés le relevé des coordonnées GPS, les relevés d'informations sur le site (éclairement, présence de poissons, permanence de l'eau, température de l'eau, turbidité), un calcul de la largeur moyenne et un schéma descriptif du faciès et des berges.

Après avoir défini les différents habitats présents sur le site en fonction du couple vitesse-profondeur, du substrat, de la présence de débris ligneux ou de macrophytes, huit lieux d'échantillonnage ont été sélectionnés : au moins un par habitat, et si moins de huit habitats étaient représentés sur la section, le reste était réparti selon l'importance des habitats dominants. L'échantillonnage des invertébrés était réalisé aux huit lieux à l'aide d'un filet troubleau de 250 µm de maille. En milieu lentique, une section d'1/20 de m² en amont du filet posé au fond du cours d'eau était remuée à la main ou au pied selon la profondeur. En milieu lotique, une section de 50 cm de long et de la largeur du filet était remuée par des mouvements vifs destinés à remettre les sédiments en suspension. Les gros éléments, tels que les branches ou les galets, étaient nettoyés dans le filet puis rejetés à l'eau. Les éléments restant dans le filet avaient été conservés dans de l'alcool à 70° dans des sacs plastiques de type *Ziploc.*

Les échantillons étaient ensuite triés sous la loupe, les invertébrés trouvés étaient placés dans de l'alcool à 70° dans des flacons de plastique et transportés ainsi jusqu'au Québec. La détermination finale a été réalisée sous une loupe binoculaire à l'aide de livres spécialisés (ROLDÀN PÉREZ, 1988, TACHET *et al.*, 2000) jusqu'à la famille.

### *2.8.2 Traitements statistiques*

Dans un premier temps, les communautés ont été comparées entre elles à l'aide d'un test de Kruskall-Wallis, les conditions de normalité et d'homoscédasticité ne pouvant être vérifiées. L'objectif est de vérifier si nos échantillons sont issus d'une même population ou non, avec pour hypothèse nulle que les échantillons proviennent d'une même population.

Les indices de biodiversité (diversité α) suivants ont ensuite été appliqués à chaque site :

- l'indice de Shannon $H'=-\sum p_i * \log_2 p_i$ (avec $p_i$ = proportion relative d'un taxon) et l'équitabilité de Piélou $E=H'/H_{max}$. L'indice de Shannon, sensible aux espèces rares, est

d'autant plus petit que les individus appartiennent tous à un nombre réduit de taxons, et maximal si les individus sont également repartis entre les familles. L'équitabilité, variant de 0 à 1, est maximale lorsque les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et minimale quand une seule espèce domine tout le peuplement.

- l'indice réciproque de Simpson $1/D=1/(1-\sum p_i^2)$, sensible aux espèces abondantes, sera d'autant plus grand que la diversité l'est.

- l'indice de Hill permet l'association des deux indices précédents grâce la formule : $Hill = (1/D)/e^{H'}$ (avec *1/D* = indice réciproque de Simpson et $e^{H'}$ = exponentiel de l'indice de Shannon). Plus l'indice de Hill s'approche de la valeur 1, plus la diversité est faible.

Pour évaluer la qualité des eaux, le Family Biotic Index (HILSENHOFF, 1988) a été utilisé, se basant sur des valeurs de polluotolérance des invertébrés selon la formule $FBI=\sum(n_i)(a_i)/N_t$ (avec $n_i$ le nombre d'individus de l'échantillon, $a_i$ la tolérance à la pollution de la famille et $N_t$ le nombre total d'individus) (Tableau 2.8-1) et le %EPT, qui représente le pourcentage relatif d'éphéméroptères (E) – plécoptères (P) – trichoptères (T), ordres réputés les plus sensibles aux pollutions.

**Tableau 2.8-1 : Classes et significations du Family Biotic Index (Hilsenhoff, 1988).**

| Family Biotic Index | Qualité de l'eau | Degré de pollution organique |
|---|---|---|
| 0,00-3,75 | Excellente | Pas de pollution organique |
| 3,76-4,25 | Très bonne | Légère pollution organique possible |
| 4,26-5,00 | Bonne | Pollution organique possible |
| 5,01-5,75 | Correcte | Pollution organique probable |
| 5,76-6,50 | Assez pauvre | pollution organique substantielle |
| 6,51-7,25 | Pauvre | Pollution organique importante |

La diversité β, c'est-à-dire la diversité interéchantillons, a été évaluée grâce à l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis : deux sites auront des compositions d'autant plus différentes que l'indice s'approche de 1. Enfin, une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) permettra de

visualiser les sites les plus similaires à partir de la matrice de distance de l'abondance transformée en log(x+1).

# 3. Résultats et discussions

Il a été choisi de regrouper les résultats en fonction des communautés puisque leurs problématiques de départ sont différentes et que, de cette façon, il est plus facile d'obtenir un portrait plus global de la situation dans chacune des communautés. Seuls les résultats sur les communautés d'invertébrés benthiques sont donnés pour les deux communautés ensemble, afin de mieux appréhender les résultats obtenus.

## 3.1 Charco Muerto

### *3.1.1 Portrait descriptif de la communauté*

Cette coopérative a été fondée en 1984 et a joint l'UCA en 2009. Elle comporte maintenant 22 membres, soit pratiquement une personne par famille. Elle est officiellement nommée Claudia Chamorro #2 en l'honneur de cette activiste sandiniste dont la famille a marqué la vie politique nicaraguayenne. Le nom Charco Muerto vient plutôt des marais situés en rivages et qui, durant la saison sèche, ne communiquent pas avec le lac; ils sont donc appelés « marais morts ».

En ce qui a trait aux familles de Charco Muerto, il faut savoir qu'elles sont toutes parentes. Le couple fondateur s'y est installé il y a plus de 60 ans, alors qu'il travaillait pour le propriétaire de ces terrains. Le gouvernement sandiniste leur a octroyé les droits de propriété de ces terres dans les années 1980.

Un sondage a été effectué dans chacune des familles de la communauté afin d'obtenir un portrait succinct des habitudes de vie, de compléter les connaissances de la région étudiée et aussi afin d'évaluer la relation et les connaissances des habitants de Charco Muerto par rapport à divers aspects environnementaux. Les résultats présentés ici sont une compilation des différentes réponses obtenues auprès des membres de la coopérative.

#### 3.1.1.1 *Statistiques familiales*

**1. Combien de personnes vivent dans la communauté?**

Un peu plus de 20 familles ont été recensées, mais le nombre exact demeure inconnu, puisque certaines familles étaient absentes durant notre passage.

**2. Quel est leur âge? Combien de femmes et d'hommes?**

Sauf exception de quelques jeunes familles récemment installées, les adultes de cette communauté ont plus de 40 ans. Il y a plusieurs jeunes autour de la vingtaine, très peu d'adolescents (13 à 16 ans) et une majorité de jeunes sous les dix ans. Il y a un peu plus d'hommes que de femmes selon les recensements faits dans les familles rencontrées, mais sans que l'écart ne soit important.

**3. Quelles sont les principales activités économiques?**

La majorité des familles possèdent quelques parcelles de terre où elles cultivent du maïs, des fèves rouges ainsi que du riz pour leur consommation personnelle. La coopérative possède aussi quelques parcelles où sont cultivés des fruits et des fèves rouges, dont les produits sont destinés à être vendus à Granada.

Les différentes familles pêchent plusieurs fois par semaine pour leur consommation personnelle. Néanmoins, deux des membres de la communauté pêchent aussi afin de vendre leurs prises dans les communautés voisines.

Chaque famille possède des animaux qui ne sont pas destinés à la vente, sauf dans de rares cas. Les animaux de consommation ou de produits de consommation sont : les porcs, les poulets, les dindons et les chèvres. Ils ne constituent pas la source d'alimentation principale de ces gens. Il y a aussi des animaux domestiques tels que les ânes (transport) et les chiens (protection), et une famille possède un cheval. Les animaux sont libres d'aller et venir sur le territoire de la communauté.

Sauf quelques exceptions, tous les membres de la communauté font partie intégrante du projet de tourisme rural. Les travaux sont de natures diverses : journée de corvées communes à l'occasion, cuisine, entretien des lieux et guides. Ce projet de tourisme rural a été créé dans le but d'augmenter et de diversifier les sources de revenus pour la famille. Le projet est supporté par l'UCA et les membres reçoivent différentes formations pour les aider dans la réalisation de leur projet.

#### 3.1.1.2 *Usage de l'eau*

**1. Quels sont les usages pour lesquels vous avez besoin d'eau?**

L'eau est utilisée pour la consommation, la cuisine, le lavage de la vaisselle et des vêtements, ainsi que pour l'hygiène personnelle.

**2. Pour chacun des usages, d'où provient l'eau utilisée?**

En ce qui a trait à l'eau consommée et utilisée dans la cuisson des aliments, les gens utilisent de l'eau filtrée. Pour tout le reste, l'eau provient directement du lac Nicaragua où les familles vont chaque matin remplir divers récipients pour subvenir à leurs besoins pour la journée.

Une seule famille récolte l'eau de pluie, qu'elle filtre et utilise pour la consommation et la cuisine.

**3. Est-ce que vous appliquez un traitement? Si oui, lequel?**

Seulement deux familles ajoutent du chlore à leur eau, sans toutefois respecter la dose recommandée.

**4. Utilisez-vous de l'eau embouteillée parfois? Si oui, pour quelles raisons?**

La majorité des familles dit acheter de l'eau embouteillée pour les enfants de moins d'un an, et ce, depuis la dernière épidémie de choléra il y a 18 ans. Elles mentionnent que ce sont les activités de sensibilisation de l'ONG Vision Mondiale qui les ont amenés à prendre conscience de la vulnérabilité des jeunes enfants face à divers pathogènes.

**5. Avez-vous un filtre? Si oui, de quel type?**

Toutes les familles ont des filtres installés dans leurs maisons. Ce sont des filtres constitués de sable fin, de sable grossier et de pierre active (voir description 2.1.2). Vision Mondiale distribue maintenant les filtres en terre cuite (voir description 2.1.1), tels que celui possédé maintenant par deux familles, dont l'une ayant aussi la première génération de filtre.

**6. À quelle fréquence lavez/changez-vous le filtre? Et comment le lavez-vous?**

Les deux familles utilisant un filtre en terre cuite disent le brosser délicatement et le rincer tous les jours.

Par contre, pour le premier type de filtre, les réponses sont variables quant à la périodicité de lavage qui varie d'un à trois mois. À chacun des lavages le sable fin est changé par du sable prélevé sur la plage. Le sable grossier est, quant à lui, changé par du sable prélevé dans le lac Nicaragua non loin de la rive, et la pierre active n'a jamais été changée. Chaque couche est lavée et rincée en utilisant de l'eau du lac et du chlore, jusqu'à ce que l'eau de rinçage soit à nouveau claire et non odorante.

#### 3.1.1.3 *Historique de l'usage de l'eau*

**1. Depuis quand avez-vous les filtres?**

Les filtres de première génération ont été distribués il y a près de dix ans. Certains des récipients de ces filtres se sont brisés avec le temps et les gens en ont transféré le contenu dans un nouveau récipient.

Quant aux filtres en terre cuite, ils ont été distribués tout récemment. Une des familles en a acquis un il y a trois mois et l'autre en août dernier, peu avant notre départ.

**2. Que faisiez-vous avant d'avoir les filtres?**

Les gens prenaient l'eau directement du lac pour la consommation (y compris celle des jeunes enfants) et la cuisson des aliments.

**3. Avez-vous noté une différence dans la qualité de l'eau depuis que vous la filtrez? Couleur, odeur, saveur?**

Toutes les familles s'entendent pour dire que la filtration a modifié l'eau qu'elles consomment. Elles décrivent celle-ci comme étant moins turbide, exempte de mauvaises odeurs et ayant un goût différent.

**4. Cela a-t-il eu des conséquences sur votre santé?**

Les familles sont unanimes et précisent qu'elles ont beaucoup moins de maux intestinaux depuis qu'elles utilisent les filtres. De plus, elles mentionnent que le nombre d'enfants malades a diminué et la mortalité infantile liée à des problèmes intestinaux a fortement diminué, jusqu'à être presque absente.

**5. Pourquoi avez-vous décidé d'utiliser les filtres?**

En raison de la grande campagne de sensibilisation sur l'eau potable réalisée par Vision Mondiale à l'échelle du pays il y a dix ans. De plus, cet organisme parraine les enfants du village et ce sont ses membres qui ont apporté les filtres, en plus de leur expliquer comment les utiliser et les entretenir.

#### 3.1.1.4 *Qualité de l'eau*

**1. Êtes-vous satisfaits de la qualité de l'eau du lac Nicaragua (odeur, couleur, saveur)?**

Les gens semblent satisfaits dans l'ensemble, mais ils mentionnent qu'ils sont conscients que l'eau du lac est probablement contaminée et cela les inquiète. De plus, ils se questionnent sur la qualité de l'eau, puisque des usines de traitement de l'eau existent pour des agglomérations de plus grande importance.

**2. La qualité de l'eau du lac change-t-elle durant l'année? Cela a-t-il un impact sur votre santé?**

Tous mentionnent que durant la saison des pluies (environ de septembre à janvier), les rivières et marais débordent dans le lac et sa qualité change. Ils observent que les eaux sont plus colorées, plus jaunâtres et qu'elles ont parfois une odeur nauséabonde.

Ils ne notent pas d'impacts majeurs sur leur santé, mais mentionnent que les gens qui ne sont pas habitués à boire leur eau se plaignent souvent de douleurs intestinales durant cette période, alors que cela ne semble pas les affecter à d'autres moments de l'année.

#### 3.1.1.5 *Historique de la qualité de l'eau*

**1. Depuis combien de temps habitez-vous Charco Muerto?**

Au moins un des membres de la famille habite cette péninsule depuis sa naissance. Exception faite du couple fondateur, les autres familles y habitent depuis 20 à 35 ans.

**2. Avez-vous noté une différence dans la qualité de l'eau durant toutes ces années?**

Personne ne mentionne avoir vu une différence de la qualité de l'eau au cours des années, sauf pour ce qui est des améliorations attribuables à la filtration de l'eau.

**3. Est-ce que le niveau d'eau du lac a changé?**

Toutes les familles disent observer que les étés sont plus secs et les hivers plus pluvieux. Ils le remarquent par le fait qu'il y a de plus en plus d'années consécutives où les récoltent agricoles estivales et hivernales sont perdues. Auparavant, il arrivait de perdre une des deux récoltes annuelles de temps à autre, mais presque jamais les deux. Les problèmes majeurs surviennent toutefois lorsque le phénomène climatique *El Niño* se produit. À ce moment les hivers sont aussi secs que les étés et ne permettent pas de récoltes abondantes, en plus de maintenir plus bas le niveau du lac.

**4. Avez-vous noté des différences dans le nombre de tempêtes, d'averses (quantité, intensité)?**

Il y a plus de tempêtes et de pluie, en quantité, depuis les dernières années. Il arrive de plus en plus que se perde la récolte de fèves rouges durant l'hiver, car les semences sont soit lessivées durant les pluies, soit pourrissent en raison de la trop grande humidité dans le sol.

#### 3.1.1.6 *Alimentation*

**1. Quels sont les aliments de base? Quels sont les aliments que vous mangez plus occasionnellement?**

Le riz, les fèves rouges et le maïs constituent les aliments de base de l'alimentation des différentes familles. Les repas du matin, du midi et du soir comportent généralement du riz et des fèves. Le poisson est consommé régulièrement.

De temps à autre, les habitants consomment du poulet, de la chèvre et très rarement de la viande rouge à cause son prix trop important.

**2. De ces aliments, lesquels produisez-vous et sinon, où vous les procurez-vous?**

La plupart des aliments sont produits ou récoltés à Charco Muerto même. Sinon, les habitants achètent ou échangent ce qui manque contre d'autres produits au marché de Granada. En ce qui a trait au poulet, les familles achètent celui-ci et ne mangent que ceux qu'ils possèdent en de rares occasions.

**3. Combien de fois à la semaine mangez-vous du poisson? Quelles sont les espèces les plus consommées?**

Les habitants expliquent que durant le temps du carême (mars-avril), la pêche est très abondante et ils consomment du poisson trois à quatre fois par semaine, voire presque tous les jours pour certaines familles. Durant la saison la plus basse, soit juillet à novembre, ils mangent du poisson environ deux fois par semaine.

Les espèces les plus consommées sont la Majorra, la Machaca, le Savalete ainsi que le Guapote (certains de ces poissons sont décrits à la section 2.5.3.1).

**4. Est-ce que vous consommez les viscères? La tête?**

Les viscères sont jetés, mais le poisson est généralement cuisiné avec la tête. Les gens mangent la chair contenue dans la tête ainsi que les yeux cuits des poissons.

**5. Est-ce que toute la famille mange du poisson?**

Tous les membres de la famille, incluant les enfants, mangent du poisson.

#### 3.1.1.7 *Pêche*

**1. Quand pêchez-vous? Toute l'année?**

Les familles pêchent toute l'année, mais le temps du carême (mars-avril) et la période après les semences sont des moments de l'année où les activités de pêche sont plus intensives. De façon générale, les filets sont relevés ou mis à l'eau très tôt le matin, c'est-à-dire avant même le lever du soleil (entre 3h30 et 4h00 du matin).

**2. Où pêchez-vous? Près de la côte ou au large?**

La plupart des familles qui n'ont pas de bateau pêche sur les rives du lac ou dans l'eau jusqu'à hauteur d'homme. Celles qui possèdent un bateau pêchent généralement dans les environs de la péninsule et quelques fois plus au large jusqu'à l'île Zapatera.

La pêche se pratique avec deux types de filets : un type qui se suspend dans la colonne d'eau et l'autre qui est tiré depuis la rive et qui se referme comme une poche. La pêche à la ligne est aussi pratiquée.

**3. Savez-vous ce que mangent les poissons que vous pêchez?**

Ils mangent des petits poissons et des herbes. Les pêcheurs mentionnent que c'est ce qu'ils observent dans les viscères des poissons.

**4. Où vivent ces poissons? Où se retrouvent-ils dans la colonne d'eau?**

Ils vivent dans la colonne d'eau pour certains, alors que d'autres vivent dans les rochers en bordure du rivage. Ils mentionnent que les poissons voyagent entre la côte et le large pour se nourrir.

#### 3.1.1.8 *Historique de la pêche*

**1. Est-ce que vous croyez que la quantité de poissons est la même depuis que vous habitez Charco Muerto?**

Les pêcheurs mentionnent qu'ils pêchent beaucoup moins de poissons qu'auparavant. Les quantités ont diminué et certains mentionnent l'existence de lois pour protéger certaines espèces à des moments spécifiques de l'année. Lorsqu'on leur demande si ces lois sont respectées, tous répondent qu'eux les respectent, mais qu'il n'en est pas de même pour tous les pêcheurs des autres communautés.

**2. Est-ce que vous pêchez les mêmes types de poissons?**

Même s'ils continuent de pêcher la Mojarra, les habitants disent qu'il y en a beaucoup moins qu'auparavant. Il en est de même pour le Savalete et le Guapote qui se font de plus en plus rares.

**3. Avez-vous observé une disparition ou une diminution d'espèces? Une apparition d'espèce?**

Les gens ont noté l'apparition de diverses espèces de tilapias dans les dernières années, de même qu'un poisson nommé le Pez diablo (*Hypostomus plecostomus*) (Figure 3-1). Ce dernier est réputé pour détruire les plantes de fond, augmenter la turbidité des eaux, détruire ou manger les œufs des autres espèces, briser les filets de pêche en plus d'être impropre à la consommation humaine. Il est aussi réputé pour avoir causé la fin de la pêche artisanale et réduit le tourisme dans certaines régions du Mexique (MENDOZA *et al*., 2007).

**Figure 3-1 : Le Pez diablo est tué lorsque pris par les pêcheurs, puisque c'est une espèce exotique envahissante qui peut entraîner d'importants changements dans les communautés piscicoles.**

Il fut aussi mention de quelques poissons pour lesquels il a été impossible d'établir une correspondance avec un nom scientifique ou une quelconque référence dans la littérature. Il est probable que les noms de ces poissons étaient en jargon de la région et ne correspondaient pas au nom commun de l'espèce.

#### 3.1.1.9 *Agriculture*

**1. Quels types de cultures faites-vous?**

Il a déjà été mentionné que les familles cultivent du riz, des fèves rouges ainsi que du maïs. Elles possèdent aussi quelques arbres à fruits.

**2. Utilisez-vous des herbicides, pesticides, fongicides ou engrais? Si oui, lesquels?**

De nombreux produits sont utilisés. Ils utilisent des engrais, des herbicides, des pesticides ainsi que des fongicides divers.

**3. Avez-vous besoin d'arroser vos cultures?**

Il n'y a pas ni irrigation, ni arrosage des cultures. Historique de l'agriculture.

**4. Que cultiviez-vous avant?**

Les mêmes aliments qu'aujourd'hui sont cultivés.

**5. Cultivez-vous plus qu'avant (en quantité ou superficie de terres agricoles)?**

Comme il y a plus de familles qu'auparavant, les habitants mentionnent qu'il y a un peu plus de terres cultivées qu'avant, mais que de façon générale, cela a toujours été de l'agriculture de subsistance.

**6. Jusqu'où ruisselle l'eau en provenance des champs après un épisode pluvieux?**

Les habitants ne pensent pas que cette eau se rende jusqu'au lac, mais disent qu'elle s'infiltre plutôt sous terre. De plus, ils essaient de mettre ces produits lorsqu'il n'y a pas de signe de pluie à venir. Une seule famille semble croire qu'en cas de pluies intenses l'eau puisse s'écouler jusqu'au lac.

#### 3.1.1.10 *Animaux*

**1. Que mangent-ils? Où boivent-ils?**

Tel que mentionné précédemment, les animaux sont en liberté et mangent donc ce qu'ils trouvent et boivent l'eau du lac. En ce qui a trait aux porcs et aux chiens, ils reçoivent des restes de table parfois mélangés à l'eau de cuisson ou de rinçage.

**2. Utilisez-vous leurs fèces pour en faire de l'engrais?**

La réponse de l'ensemble des familles est non, puisque les animaux sont libres. Le fait qu'ils fassent leurs besoins un peu partout implique cependant qu'ils peuvent aussi uriner ou déféquer près ou dans l'eau du lac Nicaragua.

#### 3.1.1.11 *Eaux usées*

**1. Que faites-vous avec l'eau que vous utilisez pour laver la vaisselle, les vêtements et celle utilisée pour votre hygiène personnelle?**

L'eau utilisée dans la cuisine est évacuée à l'arrière de celle-ci par un tuyau jusqu'à des buissons ou du moins, dans la direction opposée à la cuisine et à l'habitation principale.

Les gens se lavent et nettoient leurs vêtements dans le lac, très souvent près de l'endroit où ils récoltent l'eau pour leurs consommations.

**2. Avez-vous des toilettes? Comment les entretenez-vous?**

La plupart des familles disposent d'une toilette sèche composée d'un trou creusé à même le sol. Une fois ce trou rempli, il est comblé et un nouveau trou est creusé un peu plus loin.

Le centre communautaire est maintenant doté de deux toilettes écologiques qui sont munies d'un réservoir dont le niveau est maintenu par un tuyau de déversement percé sur près de quatre mètres et qui achemine les surplus de façon à fertiliser une aire de 12 $m^2$ selon les instructions accompagnant les toilettes (Figure 3-2). Celles-ci sont lavées régulièrement avec de l'eau seulement et aucun autre produit chimique n'y est normalement utilisé.

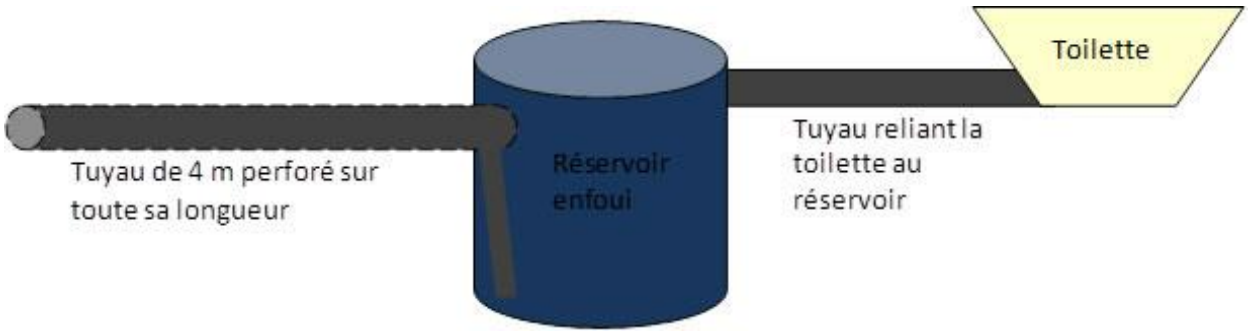


**Figure 3-2 : Représentation schématique des toilettes écologiques utilisées au centre communautaire de Charco Muerto.**

3.1.1.12 *Déchets*

**1. Séparez-vous les déchets? Si oui, de quelle façon et qu'en faites-vous ensuite?**

Les bouteilles de plastique sont séparées et l'UCA vient les récolter lorsque la quantité est suffisante.

La plupart des déchets organiques consommables par les porcs et les chiens sont donnés à ceux-ci.

Tous les autres déchets, incluant les piles, sont rassemblés et enfouis dans le sol, souvent derrière les maisons.

3.1.1.13 *Les raisons de notre présence*

**1. Pourquoi êtes-vous intéressés par le thème de l'eau?**

La plupart des gens ont mentionné être préoccupés par la qualité de l'eau du lac Nicaragua et par les impacts qu'une eau de mauvaise qualité peut avoir sur leur santé, mais surtout sur celle de leurs enfants. Ils sont conscients de l'importance de l'eau.

**2. Quelles sont vos attentes face à ce projet?**

Les attentes sont presque toutes les mêmes, à savoir : 1) avoir des précisions sur la qualité de l'eau du lac et des sources alternatives; et 2) selon les résultats, mettre en place un système de distribution de l'eau qui pourrait assurer aux familles de Charco Muerto et des communautés sœurs, la distribution de l'eau en continu directement dans les maisons.

### *3.1.2 Concentrations des matières en suspensions dans le lac Nicaragua*

Les concentrations en MES du lac, mesurées deux fois au site nord et une fois au site sud de la péninsule, sont présentées dans le tableau 3.1-1. Bien qu'il n'existe pas de relation précise pour convertir les MES en unité de turbidité, TCHOBANOGLOUS *et al*. (2004) proposent une relation qui peut être utilisée dans le cas d'une eau brute ayant sédimenté tel un lac. La relation est présentée par l'équation ci-dessous.

$$MES_f = \frac{[MES]\ {}^{mg}\!/_{L}}{UNT} \quad (1)$$

Où le $MES_f$ est le facteur de conversion variant entre 2,3 et 2,4 et *UNT* sont les unités néphélométriques de turbidité.

**Tableau 3.1-1 : Matière en suspension du lac Nicaragua.**

| Site d'échantillonnage | MES (mg/L) | Turbidité UNT |
|---|---|---|
| Site nord | 5,0 | 2 |
| Site nord | 8,8 | 4 |
| Site sud | 2,9 | 1 |

Donc, en utilisant cette relation, il est possible de conclure que l'eau du lac Nicaragua est au-dessus des normes de l'OMS quant à la turbidité, qui suggèrent une eau en deçà de 1 UNT (OMS, 1996). Il en convient donc de conclure que les habitants de Charco Muerto sont fortement encouragés à filtrer l'eau du lac afin de la rendre le plus près des normes possible et d'obtenir une apparence plus agréable pour l'utilisation domestique.

### *3.1.3 Caractéristiques physico-chimiques du lac Nicaragua*

L'ensemble des résultats de cette section sont ceux de l'eau échantillonnée à la pointe de la péninsule, dans les dialyseurs et directement dans le lac, sauf pour les résultats des thermographes positionnés aux sites sud et nord de la péninsule de Charco Muerto. Cependant, il est à noter qu'il n'y a pas de différence significative entre les caractéristiques physico-chimiques, les concentrations en anions et les concentrations en métaux traces totales mesurées à la pointe et aux sites nord et sud de la péninsule ($p > 0,05$, Tukey Kramer). Les valeurs de pH mesurées dans les dialyseurs n'étaient pas significativement différentes de celles mesurées dans le lac à la pointe, au site nord et au site sud ($p > 0,05$, Tukey Kramer). Les caractéristiques physico-chimiques du lac Nicaragua sont données dans le tableau 3.1-2.

**Tableau 3.1-2 : Caractéristiques physico-chimiques du lac Nicaragua mesurées à la pointe de la péninsule de Charco Muerto.**

| Paramètre | Moyenne ± écart type (n=5) |
|---|---|
| pH | 8,6 ± 0,4 |
| Conductivité (µS/cm) | 241 ± 8 |
| COD (mg/L) | 3,6 ± 0,2 |
| CID (mg/L) | 0,89 ± 0,06 |
| P total (mg/L) | 0,047 ± 0,009 |
| Ca (mg/L) | 11,2 ± 0,4 |
| Mg (mg/L) | 6,4 ± 0,1 |
| Na (mg/L) | 20,1 ± 0,2 |
| K (mg/L) | 5,2 ± 0,2 |

Les profils verticaux en oxygène dissous et en température sont illustrés dans la figure 3-3. On remarque que le lac n'est pas stratifié en température, mais qu'il y a une baisse graduelle des concentrations en oxygène. Les lacs tropicaux peuvent parfois présenter des baisses de concentrations en oxygène sans qu'il ait de changement en température (L. Hare, communication personnelle). Le lac Nicaragua présente donc une baisse des [$O_2$] au littoral (environ 7 m), mais il était impossible d'aller plus au large pour observer les tendances plus en profondeur. Il est donc difficile de statuer sur son état mictique. Il est fort probable que les [$O_2$] continuent de diminuer vers les plus grandes profondeurs (73 m). En ce qui concerne la légère augmentation de [$O_2$] observée autour de 2 m de profondeur, elle est probablement due à un

phénomène couramment observé dans les lacs qui résulte de la production d'oxygène par les organismes photosynthétiques. Ensuite, la concentration en oxygène dissous diminue du fait de la difficulté à recharger la colonne d'eau en oxygène et de sa consommation par les organismes aquatiques pour la respiration et la décomposition de la matière organique.

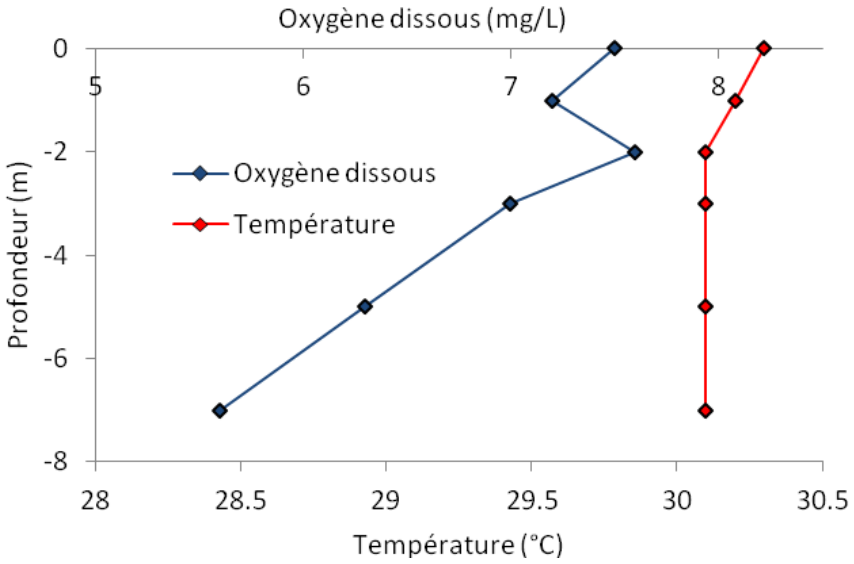


**Figure 3-3 : Profils verticaux de la température et de l'oxygène dissous dans le lac Nicaragua.**

Les résultats des thermographes posés aux sites sud et nord de la péninsule sont présentés à la figure 3-4. Bien que la différence soit non significative ($p$ = 0,025, Mann-Whitney U-test), la température de l'eau semble légèrement plus variable, tant dans les maximums que dans les minimums du côté nord de la péninsule. Le côté nord est plus exposé à l'action du vent et, par conséquent, des vagues; tandis que le côté sud est protégé par la péninsule elle-même. Cela pourrait expliquer les écarts observés dans les variations journalières de température. Par contre, les patrons de température observés suivent un cycle diurne semblable, avec une différence journalière moyenne de 2,36 $^{o}$C entre les maximums et minimums. Il est intéressant de constater qu'en milieu tropical, les variations diurnes de températures sont beaucoup moins prononcées que dans nos latitudes. La température moyenne durant la période d'étude était de 31,21 $^{o}$C du côté nord et 31,37 $^{o}$C du côté sud.

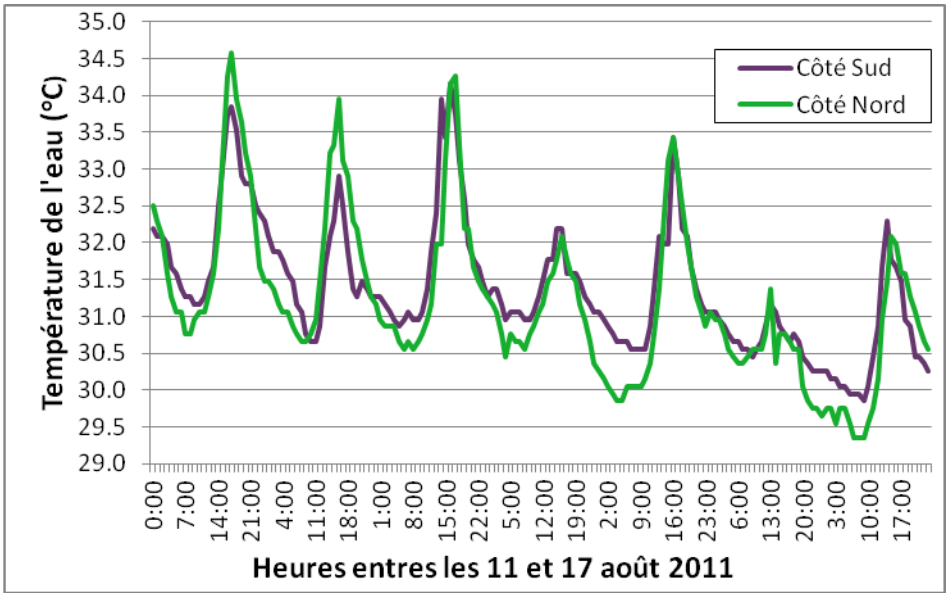


**Figure 3-4 : Température de l'eau (°C) aux deux principaux points de prise d'eau dans le lac Nicaragua pour la communauté de Charco Muerto.**

Les concentrations en anions dans le lac Nicaragua sont données dans le tableau 3.1-3. Les mêmes mesures, à l'exception du CID, du COD et des phosphates, ont été réalisées par le CIRA en 1993 et en 1994 (données du CIRA non publiées). Dans l'ensemble, les concentrations en cations majeurs, en anions et les autres paramètres physico-chimiques sont du même ordre de grandeur. Seules les concentrations en nitrates et en fluorure mesurées dans notre étude sont notablement plus élevées. Les concentrations en F mesurées par le CIRA étaient comprises entre 0,22 et 0,37 mg/L, et celles en $NO_3$ étaient comprises entre < 0,05 et 0,27 mg/L.

**Tableau 3.1-3 : Concentrations en anions dans le lac Nicaragua. Moyennes ± écarts types (n=5).**

| Anion | Concentration (mg/L) |
|---|---|
| F | 1,42 ± 0,17 |
| Cl | 18,08 ± 0,07 |
| $NO_2$ | 0,66 ± 0,12 |
| Br | < 0,3 |
| $SO_4$ | 8,06 ± 0,76 |
| $NO_3$ | 2,72 ± 0,17 |
| $PO_4$ | < 2,5 |

Le tableau 3.1-4 présente les concentrations en métaux traces et en autres éléments non métalliques (As, S, Se et Si) totaux et dissous. La fraction en élément dissous est donnée dans la dernière colonne. Les concentrations précédées du signe inférieur (<) correspondent aux limites de détection de l'ICP-AES. La mention « N/A » signifie « non applicable ». Parmi les métaux traces, seuls Al, Fe, Mn et Ti ne sont pas présents totalement sous formes dissoutes dans le lac Nicaragua, ce qui est une caractéristique bien définie de ces quatre métaux. Ils ont, en effet, une forte tendance à se lier à la matière en suspension et/ou à (Co) précipiter.

**Tableau 3.1-4 : Concentrations en métaux traces et autres éléments non métalliques totaux et dissous dans le lac Nicaragua. Moyennes ± écarts-types.**

| Élément | Concentration totale (mg/L) (n=2) | Concentration dissoute (mg/L) (n=5) | % dissous |
|---|---|---|---|
| Al | 0,15 ± 0,03 | 0,016 ± 0,008 | 11 ± 6 |
| As | < 0,003 | < 0,003 | n.a |
| Ba | 0,043 ± 0,005 | 0,044 ± 0,000 | 102 ± 1 |
| Be | < 0,0003 | < 0,0003 | N/A |
| Bi | < 0,005 | < 0,005 | N/A |
| Cd | < 0,0002 | < 0,0002 | N/A |
| Co | < 0,001 | < 0,001 | N/A |
| Cr | < 0,0006 | < 0,0006 | N/A |
| Cu | < 0,0009 | < 0,0009 | N/A |
| Fe | 0,14 ± 0,03 | 0,012 ± 0,007 | 9 ± 5 |
| Hg | < 0,002 | < 0,002 | N/A |
| Li | 0,092 ± 0,016 | 0,089 ± 0,010 | 97 ± 11 |
| Mn | 0,033 ± 0,009 | 0,0029 ± 0,0025 | 9 ± 8 |
| Mo | < 0,001 | < 0,001 | N/A |
| Ni | < 0,0006 | < 0,0006 | N/A |
| P | 0,047 ± 0,009 | 0,0060 ± 0,0016 | 13 ± 10 |
| Pb | < 0,004 | < 0,004 | N/A |
| S | 3,26 ± 0,26 | 3,45 ± 0,02 | 106 ± 1 |
| Sb | < 0,006 | < 0,006 | N/A |
| Se | < 0,01 | < 0,01 | N/A |
| Si | 1,44 ± 0,44 | 1,59 ± 0,02 | 111 ± 1 |
| Sn | < 0,004 | < 0,004 | N/A |
| Sr | 0,088 ± 0,008 | 0,094 ± 0,001 | 106 ± 1 |
| Ti | 0,0045 ± 0,0015 | 0,0006 ± 0,0002 | 12 ± 5 |
| Tl | < 0,011 | < 0,011 | N/A |
| U | < 0,030 | < 0,030 | N/A |
| Zn | < 0,0005 | < 0,0005 | N/A |
| Zr | < 0,002 | < 0,002 | N/A |

### *3.1.4 Contaminants inorganiques dans l'eau consommée*

Il est important de rappeler qu'aucune différence significative n'a été observée entre les caractéristiques physico-chimiques, les concentrations en anions et les concentrations en métaux traces totales mesurées à la pointe et aux sites nord et sud. L'eau étant cependant filtrée avant d'être consommée, il est nécessaire de considérer les concentrations de l'eau après filtration. L'efficacité des filtres en sable et en terre cuite pour la rétention de chacun des éléments inorganiques a été calculée avec l'équation 2.

$$Efficacité\,(\%) = \frac{[M]_{avant\ filtration} - [M]_{après\ filtration}}{[M]_{avant\ filtration}} \times 100 \qquad (2)$$

Pour tous les anions et pour la plupart des cations inorganiques, dont les concentrations sont au-dessus de la limite de détection de l'ICP-AES, le filtre a une efficacité égale à zéro (résultats non montrés). Les seuls éléments pour lesquels les filtres ont une efficacité différente de zéro sont présentés dans la figure 3-5. Une efficacité négative pour un élément signifie que le filtre en relargue ($[M]_{après\ filtration} > [M]_{avant\ filtration}$).

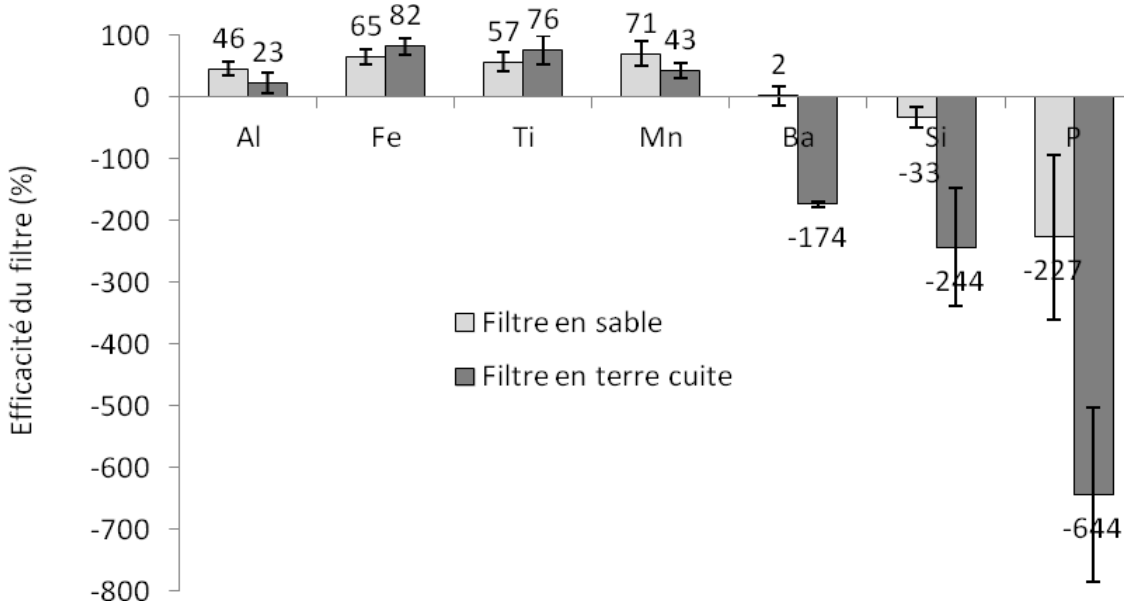


**Figure 3-5 : Efficacité des filtres en sables (moyennes ± écarts-types, n = 12) et en terre cuite (moyennes ± écarts-types, n = 3). Les valeurs exactes sont présentées au niveau de chaque colonne.**

Pour l'Al, le Fe, le Ti et le Mn, l'efficacité des deux types de filtres est positive. Ce sont les seuls métaux traces qui ne sont pas complètement dissous dans l'eau du lac : leurs fractions dissoutes sont environ égales à 10 % (*cf*. Tableau 3.1-4). La rétention relativement efficace de ces métaux par les filtres est donc probablement due à l'adsorption de ces métaux sur le matériel composant les filtres et à la rétention d'une partie de la fraction particulaire.

Le Si et le P sont des éléments tous deux fortement relargués par les filtres. Il semble que plus de Si et de P sont relargués par les filtres en terre cuite que par les filtres en sable. Ce relargage est dû au fait que ces deux éléments sont des constituants du sable et de la céramique. Du Ba est relargué par le filtre en terre cuite, mais pas par le filtre en sable. Le Ba est couramment utilisé comme un composant de la terre cuite. L'ajout de carbonate de baryum à la composition de la terre cuite permet de prévenir l'efflorescence; un dépôt salin à la surface des maçonneries lors de l'évaporation de l'eau en contact (SCHRIENER, 1997).

Les valeurs des concentrations en éléments inorganiques dans l'eau filtrée par les deux types de filtres (c.-à-d. l'eau consommée par les habitants) sont comparées aux valeurs recommandées par l'OMS pour l'eau potable (Tableau 3.1-5). Seuls les éléments possédant une norme de l'OMS sont présentés. Les concentrations pour l'eau consommée sont une moyenne des concentrations à la sortie des deux types de filtres sur les trois jours ($n$ = 15), sauf pour le Ba dont les moyennes des concentrations à la sortie des filtres en sable (S) ($n$ = 12) et en terre cuite (TC) ($n$ = 3) sont données séparément en raison de la différence d'efficacité notable entre ces deux filtres.

**Tableau 3.1-5 : Concentrations des éléments inorganiques consommés par les habitants de Charco Muerto (moyennes ± écarts types) et valeurs recommandées par l'OMS.**

| Élément | Eau consommée (mg/L) | Valeur OMS (mg/L) | Référence (N° de rapport OMS) | Remarque |
|---|---|---|---|---|
| Al | 0,11 ± 0,02 | 0,2 | WHO/SDE/WSH/03.04/53 | |
| As | < 0,003 | 0,01 | WHO GDWQ (1993) | Valeur provisoire |
| Ba | 0,045 ±0,006 (S)<br>0,11 ± 0,01 (TC) | 0,7 | WHO/SDE/WSH/03.04/76 | |
| Be | < 0,0003 | 0,012 | WHO/HSE/WSH/09.01/5 | Valeur basée sur la santé |
| Cd | < 0,0002 | 0,003 | WHO/SDE/WSH/03.04/80/Rev/1 | |
| Cr | < 0,0006 | 0,05 | WHO/SDE/WSH/03.04/04 | Valeur provisoire |
| Cu | < 0,0009 | 2 | WHO/SDE/WSH/03.04/88 | |
| Hg | < 0,002 | 0,006 | WHO/SDE/WSH/05.08/10 | |
| Mn | 0,009 ±0,005 | 0,4 | WHO/SDE/WSH/03.04/104/Rev/1 | Valeur basée sur la santé |
| Mo | 0,0011 | 0,07 | WHO/SDE/WSH/03.04/11/Rev/1 | Valeur basée sur la santé |
| Ni | < 0,0006 | 0,07 | WHO/SDE/WSH/05.08/55 | |
| Pb | < 0,004 | 0,01 | WHO/SDE/WSH/03.04/09/Rev/1 | |
| Sb | < 0,006 | 0,02 | WHO/SDE/WSH/03.04/74 | |
| Se | < 0,01 | 0,04 | WHO/HSE/WSH/10.01/14 | Valeur provisoire |
| U | < 0,030 | 0,03 | WHO/SDE/WSH/03.04/118 | Valeur provisoire |
| Zn | < 0,0005 | 3 | WHO/SDE/WSH/03.04/17 | Valeur pour l'acceptabilité |
| F | 1,42 ± 0,17 | 1,5 | WHO/SDE/WSH/03.04/96 | |
| $NO_2$ | 0,66 ± 0,12 | 3 | WHO/SDE/WSH/07.01/16 | |
| $NO_3$ | 2,72 ± 0,17 | 50 | WHO/SDE/WSH/07.01/16 | |

Remarque : La valeur pour le Zn est une valeur pour l'acceptabilité de la qualité de l'eau. Au-delà de 3 mg/L de Zn, l'eau tend à devenir opalescente, développe un film graisseux lorsque mise à ébullition et a un goût astringent. Les valeurs basées sur la santé sont données par l'OMS pour un élément lorsqu'une norme pour la qualité de l'eau n'est pas jugée nécessaire en raison de la trop faible concentration de celui-ci dans les eaux naturelles pour poser un problème sanitaire. Une valeur provisoire est donnée lorsqu'il existe des incertitudes scientifiques relativement importantes autour de celle-ci.

À l'exception du fluorure, la concentration de chaque élément à la sortie des différents filtres est en dessous de la valeur guide de l'OMS. La concentration en fluorure (1,42 ± 0,17 mg/L) est

égale à la valeur de la norme (1,5 mg/L). Les concentrations en F dans des eaux douces non polluées sont généralement comprises entre 0,01 et 0,3 mg/L et entre 1,2 à 1,5 mg/L dans les eaux de mer non polluées (CARMAGO, 2003). La concentration en F dans le lac Nicaragua est donc relativement élevée. Les fortes teneurs en fluor dans l'environnement sont généralement d'origines naturelles, bien que des origines anthropiques peuvent parfois prévaloir (ex. : la combustion du charbon ou la production et l'usage de fertilisants phosphatés). L'une des principales sources de fluor dans l'atmosphère et les eaux naturelles est l'activité volcanique, par libération de fluor magmatique, généralement sous la forme de fluorure d'hydrogène par dégazage volcanique (D'ALESSANDRO, 2006). L'intense activité volcanique présente au Nicaragua explique donc très probablement les fortes concentrations en F observées.

À une concentration en F dans l'eau au-delà de 1,5 mg/L, il existe un risque accru de fluorose dentaire. Il s'agit d'une déficience de la minéralisation de l'émail dentaire due à l'exposition au F pendant le développement des dents. La norme de 1,5 mg/L de F proposée par l'OMS n'est cependant pas fixe : il est nécessaire de l'adapter en prenant en considération les conditions locales. Il est, selon l'OMS, essentiel de considérer la prise en charge de F par d'autres sources (ex. : par l'air et par la nourriture) ainsi que d'avoir des informations précises sur la quantité d'eau consommée par jour par les personnes concernées. Lorsque la consommation de fluorure dépasse 6 mg/jour, il serait approprié de considérer une valeur standard locale à une concentration plus basse que 1,5 mg/L.

La contribution par l'eau est généralement la plus importante, mais la contribution par la nourriture peut dans certains cas ne pas être négligeable. Des fruits et du poisson sont consommés par les habitants de Charco Muerto*,* mais la contribution de ces aliments à l'exposition au fluorure est en général négligeable en raison de leurs faibles teneurs en fluorure : 0,1 – 0,4 mg/kg pour les fruits et rarement supérieure à 0,2 mg/Kg pour les poissons (MURRAY, 1986). La base de la nourriture des habitants de Charco Muerto est les riz et les fèves rouges. Une étude menée au Brésil a montré que le riz et les fèves préparés avec une eau contenant 0,7 mg/L de F voyaient leurs concentrations en fluorure augmenter de 100 à 200 fois (CASARIN *et al*., 2007). Il a été estimé que la consommation journalière de riz et de fèves ainsi cuisinés pouvait contribuer à environ 29 % de la dose limite pour le risque de fluorose dentaire chez des enfants de 20 à 30 mois. La nourriture peut donc aussi contribuer de façon non négligeable à l'exposition au F à Charco Muerto. L'air n'est généralement pas considéré comme un vecteur important d'exposition aux fluorures (MURRAY, 1986). Toutefois,

le grand nombre de volcans au Nicaragua pourrait contribuer à une exposition non négligeable par l'air (DELMELLE *et al*., 2003; D'ALESSANDRO, 2006).

Le risque de fluorose dentaire est donc très présent à Charco Muerto. La période de plus grande sensibilité est chez les enfants de 20 à 30 moins, période de développement de l'émail dentaire. Les enfants de Charco Muerto boivent de l'eau embouteillée jusqu'à l'âge d'environ un an. Une recommandation que nous pouvons donc faire est de continuer à donner aux enfants de l'eau embouteillée jusqu'à l'âge d'environ trois ans minimum. Les maladies plus graves liées au fluor, comme la fluorose osseuse, ne se manifestent qu'à des concentrations supérieures à 3 mg/L.

Aucune des concentrations en métaux traces mesurées pour les deux sources, Ojo et Blanca, n'est au-dessus des normes de l'OMS pour l'eau potable (résultats non montrés). Il n'y a cependant pas de données disponibles quant aux anions.

### *3.1.5 Pesticides organochlorés dans l'eau*

Selon les résultats obtenus au laboratoire du CIRA, les concentrations de chaque pesticide organochloré étaient en dessous de la limite de détection (Annexe 3). Les normes de potabilité de l'eau de l'OMS pour l'aldrine, le dieldrine et l'époxyde d'heptachlore sont de 0,03 µg/L, mais atteignent 1 µg/L pour le DDT et 2 µg/L pour le lindane (WHO, 2006). Il est important de dire que les valeurs de limites de détections sont en dessous de ces concentrations restreintes, ce qui nous permet de conclure que ces pesticides organochlorés ne représentent pas un risque pour la communauté par l'eau consommée.

Bien que notre échantillonnage ponctuel reflète les conditions chimiques à un moment précis, ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus lors des études menées par le CIRA dans le lac Nicaragua (CIRA/UNAN, 1992-2003) où le compartiment environnemental le plus affecté par les pesticides organochlorés était celui des sédiments et non l'eau du lac. Ainsi, les eaux de la zone du lac Nicaragua où se situe la communauté de Charco Muerto ne semblent pas être affectées par ces contaminants.

### *3.1.6 Étude des poissons consommés*

#### 3.1.6.1 *Métaux traces dans les poissons*

Les concentrations des divers éléments traces ne présentent pas de différences significatives ($p > 0,05$ ; sauf pour le Hg) entre les différentes espèces de poissons consommées par les

villageois. Donc, une moyenne a été réalisée sur les concentrations d'éléments traces des différents tissus (chair, foie et œufs) de l'ensemble des poissons (15 poissons, 5 espèces, n = 3/espèce; Figure 3-6).

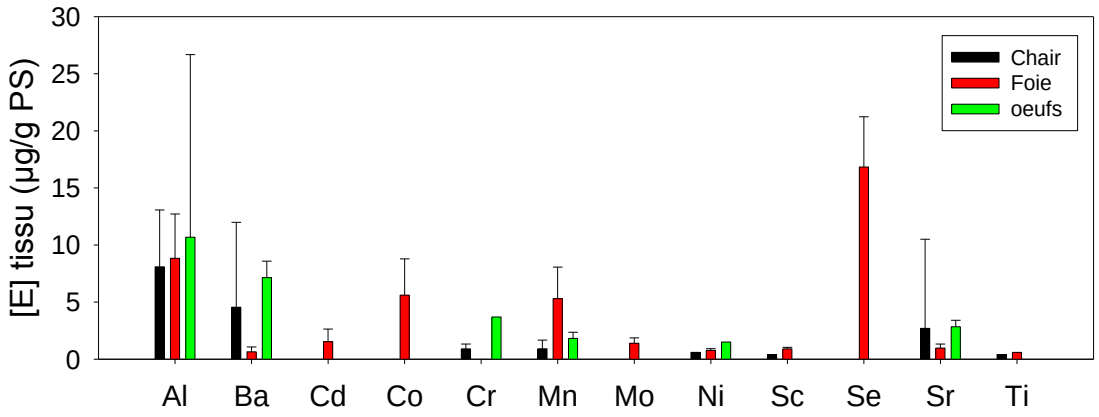


**Figure 3-6 : Concentrations moyennes (µg/g poids sec ; *n* = 1-15) de divers éléments traces dans trois tissus (chair, foie, œufs) des cinq espèces de poisson récoltées dans le lac Nicaragua.**

Pour certains métaux, le nombre d'échantillons est inférieur à 15, car les valeurs étaient sous la limite de détection de l'ICP-AES; ce fut le cas principalement pour la chair. Les concentrations étaient plus élevées dans le foie. Ce constat a largement été démontré par plusieurs études puisque le foie est un organe de prédilection pour l'accumulation d'éléments toxiques (ROZMAN et KLAASEN, 2001). Il est intéressant de noter que certains contaminants dans les œufs (Al, Ba, Cr, Ni, Sr) sont présents en concentrations égales ou supérieures à celles dans le foie ou la chair, ce qui indique un transfert efficace des métaux de la génitrice vers les œufs. Seulement cinq échantillons d'œufs de Mojarra sont ici analysés. Malheureusement, les estomacs des poissons étaient vides, il n'a donc pas été possible d'observer de quoi se nourrissait chaque espèce. Plusieurs poissons avaient des œufs matures, ce qui peut expliquer pourquoi ils ne se nourrissaient pas puisqu'il est connu que de nombreuses espèces de poissons cessent de se nourrir durant la période de reproduction active. Peu de données de toxicité relative à la concentration interne d'éléments traces sont disponibles. Par conséquent, il n'est pas possible de statuer sur l'état de santé de ces poissons.

Dans le cas des concentrations en Hg total dans la chair, le Sabalete *(Brycon guatemalensis)* présente une concentration supérieure ([Hg] = 1,20 ± 0,7 µg/g PS ; $n = 2$ ; $p < 0,05$) aux autres espèces et le Massamichi (*Amphilophus longimanus*) a une concentration en Hg significativement inférieure aux autres espèces (0,05 ± 0,01 µg/g PS; $n = 4$ ; Figure 3-7). Il est

important de noter que selon plusieurs études, le Hg dans la chair de poisson est généralement entièrement sous forme de méthylmercure (PNUE, 2001). La concentration maximale de Hg dans les poissons selon la US EPA (2001) est de 0,30 µg/g de poids humide (PH) pour la consommation humaine et la valeur moyenne chez les cinq espèces est de 0,33 ± 0,47 µg/g de poids sec, ce qui signifie environ cinq fois moins lorsque ces données sont présentées en poids humide (CRESP, 2006), c'est-à-dire 0,07 ± 0,01 µg/g PH. La concentration de mercure moyenne chez tous les poissons est donc en dessous des concentrations maximales recommandées par l'US EPA (2001). La concentration de Hg obtenue chez le Sabalete en poids humide est de 0,25 ± 0,15 µg/g, ce qui est très proche de la concentration maximale recommandée. La concentration obtenue pour *A. citrinellus* est de 0,05 ± 0,004 µg/g PH (*n* = 2), ce qui est comparable (0,07 ± 0,14 µg/g PH) aux concentrations moyennes de 33 individus *A. citrinellus* échantillonnés dans le lac Managua par McCRARY *et al*. (2006). Les concentrations maximales de *A. citrinellus* (0,26 ± 0,31 µg/g PH; *n* = 7 ; McCRARY *et al*., 2006) dans un site plus contaminé correspondent aux valeurs maximales moyennes des Sabalete (0,25 ± 0,15 µg/g). Ces données de [Hg] similaires entre les poissons des deux lacs sont intéressantes d'un point de vue écotoxicologique, puisque les concentrations en mercure dans l'eau sont très élevées dans le lac Managua, étant donné l'historique de contamination de celui-ci comparativement au lac Nicaragua (McCRARY *et al*., 2006).

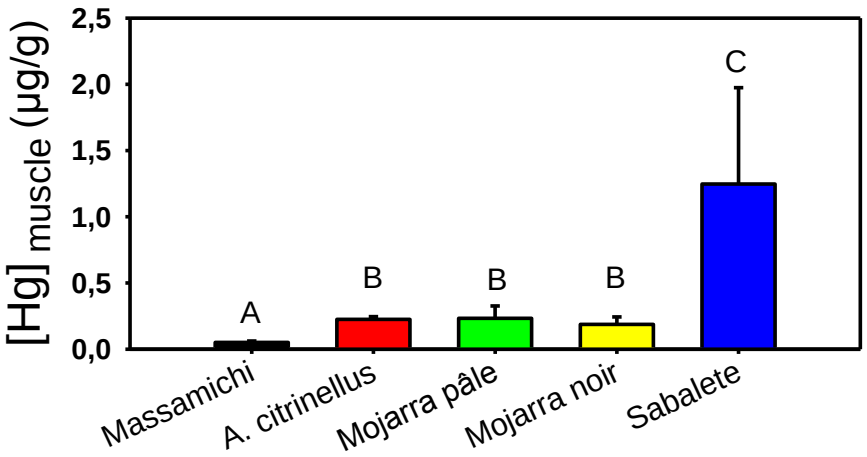


**Figure 3-7 : Concentrations de Hg total (µg/g poids sec) dans la chair de différentes espèces de poissons du lac Nicaragua, Nicaragua, consommés par les villageois de Charco Muerto. Les lettres différentes présentes des différences significatives (*p* < 0,05).**

Afin de mieux représenter l'exposition des villageois, il s'agit de comparer les normes maximales des quantités d'éléments traces avec l'exposition réelle en tenant compte de la

quantité de poissons qu'ils consomment ainsi que leur poids corporel. Les concentrations dans la chair ont servi à effectuer les calculs de consommation journalière de certains éléments (Tableau 3.1-6) par les villageois de Charco Muerto en considérant qu'ils consomment environ 60 g de poissons frais (12 g secs) et qu'un adulte pèse en moyenne 60 kg. Il est évident que leur consommation d'éléments traces ne vient pas seulement des poissons, mais cette évaluation donne une bonne idée de la contribution de cette source d'exposition.

**Tableau 3.1-6 : Consommation journalière (µg/Kg Poids Corporel/jour) de chaque élément à la limite de détection, selon la consommation réelle de poisson et selon la norme. Analyses faites à l'ICP-AES et au DMA-80 pour le Hg. N.d. : norme non disponible. <L.D. : En dessous de la limite de détection.**

| Consommation (µg/Kg/jour) | Al | Ba | Cd | Co | Cr | Cu | Hg | Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| À la lim. de dét. (ICP-AES) | 0,28 | 0,05 | 0,03 | 0,09 | 0,08 | 0,11 | | 0,04 |
| Réelle des villageois | 1,03 | 0,59 | <L.D. | <L.D. | 0,12 | 0,18 | 0,05 | 0,12 |
| Normes de la FAO/WHO | 1000 | N.d | 1 | N.d. | N.d. | 500 | 0,23 | N.d. |
| Références | FAO/WHO 2007 | | FAO/WHO 2003 | | | FAO/WHO 1970 | FAO/WHO 2007 | |

| Consommation (µg/Kg/jour) | Mo | Ni | Sc | Se | Sr | Ti | Zn | Pb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| À la lim. de dét. (ICP-AES) | 0,12 | 0,08 | 0,06 | 1,25 | 0,02 | 0,06 | 0,3 | **1,4** |
| Réelle des villageois | <L.D. | 0,08 | 0,05 | <L.D. | 0,35 | 0,05 | 18,6 | |
| Normes de la FAO/WHO | N.d. | N.d | N.d. | 6,7 | N.d. | N.d. | 750 | **1** |
| Références | | | | FAO/WHO 2002 | | | FAO/WHO 2002 | FAO/WHO 1972 |

Les valeurs de consommation journalière à la limite de détection sont présentées pour avoir une idée si l'ICP-AES avait une limite de détection suffisamment basse. Lorsque la consommation journalière à la limite de détection est inférieure à la norme de la FAO (dans la majorité des cas), l'appareil a une sensibilité suffisante. Dans le cas du plomb, la consommation journalière à la limite (1,4 µg/Kg/jour) est supérieure à la limite de la FAO (1 µg/Kg/jour), nous devrions donc analyser de nouveau le Pb, mais avec l'ICP-MS qui est plus sensible. Un autre exemple était le mercure qui, à la limite de détection de l'ICP-AES, donnait une consommation de 0,23 µg/Kg/jour alors que la norme était aussi de 0,23 µg de Methyl-Hg/Kg/jour. C'est pourquoi nous avons refait les analyses avec le DMA-80.

Pour la majorité des métaux, les valeurs de consommation journalière sont bien en deçà des normes de la FAO pour les adultes. Dans le cas du Hg, si nous considérons que près de 100 % du mercure de la chair est sous forme de méthylmercure, les villageois sont à 1/5 de la dose

maximale recommandée. Par contre, s'ils mangeaient que du Sabalete, la consommation journalière passerait à 0,16 µg/Kg/jour, soit plus de la moitié de la norme de la FAO/WHO.

Dans le cas du sélénium, la consommation à la limite de détection (1,25 µg/Kg/jour) est aussi inférieure à la dose maximale recommandée de 6,7 µg/Kg/jour pour les adultes. Par contre, pour les femmes enceintes, la recommandation d'ingestion de sélénium est à 0,5 µg/Kg/jour, ce qui est largement inférieur au maximum pour les adultes. Les concentrations dans le foie des perchaudes (*Perca flavescens*) sont seulement 1,25 fois supérieures à celles de la chair (Dominic Ponton, INRS-ETE, résultats non publiés), donc des concentrations de 17 ± 4 µg/g P.S. ($n$ = 11) dans le foie des poissons du lac Nicaragua (Figure 3.1-6) représenteraient des concentrations approximatives dans la chair de 13,6 µg/g qui sont légèrement au-dessus de la limite de détection de l'ICP-AES (9,7 µg/g). Il suffirait que la chair ait une concentration de 1,5 µg de Se/g PS afin que la consommation journalière soit de 0,6 µg/Kg/jour et au-dessus de celle recommandée pour les femmes enceintes et les enfants. Il ne serait pas surprenant que les concentrations dans la chair soient entre 1,5 µg/g et 9,7 µg/g, ce qui entraînerait un dépassement relativement important des recommandations. Le pH élevé du lac pourrait être une des causes de la haute biodisponibilité du sélénium pour les organismes du lac puisque cet anion est davantage sous forme dissoute lorsque le pH augmente (Dominic Ponton ; INRS-ETE ; résultats non publiés). Le sélénium peut donc représenter un risque pour les enfants (normes et poids corporel inférieur) et les femmes enceintes. Donc, pour évaluer l'exposition de celles-ci, il faudrait refaire les analyses à l'ICP-MS.

#### 3.1.6.2 *Pesticides organochlorés dans les poissons*

Pour évaluer le risque d'exposition de la communauté aux pesticides organochlorés par la consommation de poisson, les valeurs de quantité de résidus de pesticides estimée ingérable par jour (*Estimated Daily Intake, EDI*) de chaque pesticide sont comparées avec la dose respective journalière admissible (DJA). L'EDI est calculé en tenant compte de la concentration du contaminant dans l'aliment multiplié par la quantité d'aliment consommée dans un jour et divisé par le poids moyen de la population à étudier (FAO/WHO, 1998). D'un autre côté, la DJA est fondée sur tous les intrants connus au moment de l'évaluation du produit par la réunion conjointe FAO/OMS sur les résidus de pesticides. On entend par DJA d'un pesticide, la quantité de contaminants pouvant être ingérée quotidiennement par une personne durant toute sa vie sans causer d'effets néfastes sur la santé.

Les concentrations des pesticides organochlorés pour tous les échantillons composites sont en dessous des limites de détection (Annexe 3). En outre, si la limite de détection des pesticides organochlorés (1 µg/kg) est prise comme la valeur de concentration pour notre estimation d'EDI de chaque pesticide (0,67 ng/kg par jour), les valeurs sont notamment en dessous des valeurs de DJA selon les normes de FAO/WHO (1998). Les valeurs de DJA pour l'aldrine, le dieldrine et l'époxyde d'heptachlore sont de 0,1 µg/kg par jour et pour le DDT et le lindane, de 10 µg/kg et 8 µg/kg par jour respectivement (FAO/WHO, 1998). L'examen comparatif de ces estimations montre la validité de cette évaluation du risque d'exposition de la communauté aux pesticides organochlorés par la consommation de poissons.

Ces résultats suggèrent que les pesticides organochlorés ne semblent pas représenter un risque pour les habitants de Charco Muerto, ce qui pourrait être attribuable au fait que les principales sources de contamination en pesticides organochlorés dans le lac Nicaragua se trouvent loin de la zone où la communauté réalise ses activités de pêche (CIRA/UNAN, 1992-2003).

En revanche, en réalisant une analyse des effets des produits organiques utilisés par les membres de la communauté pour leurs activités agricoles, on a constaté la présence de deux produits agrochimiques pouvant causer des effets toxiques. L'application non régulée des produits tels que l'Alfosato (glyphosate comme principal constituant) et le 2-4D amine pourrait entraîner des dommages à l'écosystème, immédiatement et sur le long terme. En ce qui concerne le glyphosate et ses sels, notamment les sels d'isopropylamine, ils peuvent devenir toxiques pour l'homme ainsi que pour les organismes aquatiques (WHO, 1994). En effet, ils sont considérés par communauté européenne comme des produits irritants et dangereux pour l'environnement (SANCO, 2002). De plus, il existe pour cette substance un rapport de l'US EPA pour la *Reregistration Elegibility Decision* (RED), établi dans le cadre de la réévaluation des pesticides aux États-Unis (US EPA, 1993). D'un autre côté, le 2-4D amine et ses dérivés sont des produits toxiques pour les êtres humains, pour les organismes aquatiques et, à un moindre degré, pour les plantes et les oiseaux. Pour ces raisons, un stockage adéquat et une application régulée de ce produit sont fortement recommandés par l'EPA (US EPA, 2005).

### *3.1.7 Microbiologie dans l'eau*

#### 3.1.7.1 *Résultats avec la méthode des Petrifilms*

Il est rappelé que la limite inférieure de détection des Petrifilms est de 15 unités formatrices de colonies par millilitre (UFC/mL). Les échantillons nécessitant un décompte bactérien plus précis ont aussi été analysés par la méthode du nombre le plus probable (NPP). D'après le Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP) du **Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs** (MDDEP), l'eau doit être exempte de coliformes thermotolérants et contenir moins de dix coliformes totaux par 100 mL (MDDEP, 2011).

Les résultats suivants correspondent aux dénombrements de colonies de coliformes totaux, d'*E. coli* et d'entérobactéries, après 24 h ou 48 h d'incubation sur Petrifilms, dans l'eau avant (sites nord et sud) et après filtration au travers des différents sites étudiés dans le village de Charco Muerto. Les résultats sont présentés pour les trois jours d'échantillonnage, sauf pour les colonies d'*E. coli* après 48 h d'incubation sur Petrifilms, qui sont présentés pour deux jours d'échantillonnage.

Dans le tableau 3.1-7, on note que la concentration en coliformes totaux avant les filtres est plus élevée que la norme d'eau potable du RQEP (MDDEP, 2011). Les coliformes totaux sont retrouvés naturellement dans l'environnement. Cette forte prolifération peut s'expliquer en partie par la température élevée du lac Nicaragua qui atteint presque la température optimale d'incubation des coliformes totaux. Les concentrations en coliformes totaux dans l'eau augmentent après passage dans les filtres en sable 1, 2 et 3. L'efficacité des filtres 4 et 5 pour la rétention des coliformes totaux n'est pas significativement appréciable. En se fiant uniquement aux résultats sur Petrifilms, le filtre en terre cuite démontre une meilleure efficacité d'enlèvement bactériologique.

**Tableau 3.1-7 : Dénombrement des colonies de coliformes totaux après 24 h d'incubation pour trois périodes d'échantillonnage.**

| Provenance | Type de filtration | Coliformes totaux (UFC/mL) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Jour 1 | Jour 2 | Jour 3 |
| Blanc | - | <LD | - | - |
| Lac Nic. (nord) | - | - | 15 | <LD |
| Lac Nic. (sud) | - | - | 50 | <LD |
| Eau après filtre 1 | sable | $>10^6$ | 72 | 53 |
| Eau après filtre 2 | sable | $>10^6$ | $>10^6$ | $>10^6$ |
| Eau après filtre 3 | sable | <LD | $>10^6$ | $>10^6$ |
| Eau après filtre 4 | terre cuite | 29 | <LD | <LD |
| Eau après filtre 5 | sable | <LD | <LD | 56 |

L'eau de consommation doit être exempte d'*E. coli* pour satisfaire les normes du RQEP (MDDEP, 2011). La limite inférieure de détection des Petrifilms pour *E. coli* est trop élevée pour observer des résultats statistiquement significatifs. Avec une limite de détection de 15 UFC/mL, il est impossible de déterminer si la quantité d'*E. coli* est acceptable dans l'eau consommée. La méthode du NPP est donc nécessaire pour déterminer avec plus de précision s'il y a présence ou absence d'*E. coli* après filtration ainsi que pour démontrer une différence d'efficacité entre les deux types de filtres.

Dans le cas des résultats d'*E. coli* après 48 heures d'incubation sur les mêmes échantillons d'eau, tous les résultats des Petrifilms sont sous la limite de détection de 15 UFC/mL, encore une fois. À noter qu'il est impossible de confirmer la présence ou l'absence d'*E. coli*. Par conséquent, il est également impossible de déterminer si la quantité d'*E. coli* est acceptable dans l'eau consommée. Donc, pour déterminer la potabilité de l'eau d'un point de vue bactériologique ainsi que l'efficacité des différents types de filtres, la prochaine étape logique est la méthode du NPP.

La concentration en entérobactéries dans l'eau de consommation n'est pas normée par la RQEP, mais cette dernière offre un indice de l'évolution de la qualité bactérienne de l'eau. Il est observé que le dénombrement bactérien d'entérobactéries dans l'eau augmente grandement

après les filtres 1, 3, 4 et 5. L'eau après le filtre 2 ne démontre pas de changement significatif avec l'eau brute (Tableau 3.1-8).

**Tableau 3.1-8 : Dénombrement des colonies d'entérobactéries après 24 h d'incubation.**

| Provenance | Type de filtration | Entérobactéries Jour 1 (UFC/mL) | Jour 2 (UFC/mL) | Jour 3 (UFC/mL) |
|---|---|---|---|---|
| Blanc | - | <LD | - | - |
| Lac Nic. (nord) | - | - | 66 | 84 |
| Lac Nic. (sud) | - | - | 85 | 76 |
| Eau après filtre 1 | sable | $>10^6$ | $>10^6$ | $>10^6$ |
| Eau après filtre 2 | sable | 59 | 79 | 73 |
| Eau après filtre 3 | sable | <LD | $>10^6$ | $>10^6$ |
| Eau après filtre 4 | terre cuite | 16 | <LD | <LD |
| Eau après filtre 5 | sable | $>10^6$ | $>10^6$ | $>10^6$ |

Le tableau 3.1-9 présente les concentrations en coliformes totaux, en *E. coli* et en entérobactéries dans l'eau de la rivière Blanca, et dans l'eau de la source Ojo avant et après filtration. Ces résultats ont été obtenus après 24 h d'incubation sur Petrifims pour un seul échantillon par site.

**Tableau 3.1-9 : Dénombrement bactérien des sources d'eau alternatives potentiellement potable.**

| Provenance | Type de filtre | Coliformes totaux (UFC/mL) | *E. coli* (UFC/mL) | Entérobactéries (UFC/mL) |
|---|---|---|---|---|
| Blanc | - | <LD | <LD | <LD |
| Rivière Blanca | - | 36 | <LD | 97 |
| Source Ojo | - | <LD | <LD | <LD |
| Ojo après filtration | sable | $>10^6$ | 84 | $>10^6$ |

La rivière Blanca démontre de fortes charges d'entérobactéries et de coliformes totaux. L'accumulation de ces microorganismes est influencée par plusieurs facteurs, notamment la taille du bassin versant, la largeur, la longueur et la vitesse de la rivière ainsi que les mammifères occupant la région. Une autre possibilité qui pourrait amplifier leur concentration dans les deux cas est la température moyenne de l'eau. Celle-ci est près de la température optimale de croissance, favorisant grandement leur prolifération (MATSUMURA, 1989;

MAGALLONA, 1994). La source souterraine Ojo présente des résultats intéressants. Cependant, cette source est loin du village et très difficilement accessible. La filtration de l'échantillon Ojo démontre clairement que la filtration de sable contamine l'échantillon initial.

#### 3.1.7.2 *Résultats avec la méthode du nombre le plus probable (NPP)*

Les deux sites de prélèvement d'eau du lac au nord et au sud de la péninsule ont été analysés par la méthode du nombre le plus probable (Tableau 3.1-10). Le site de prélèvement sud est beaucoup plus contaminé en bactéries que celui du nord. Les échantillons récoltés à la suite des filtrations domestiques proviennent de l'eau de la zone de prélèvement du nord. Premièrement, pour l'eau de la zone sud, les charges en coliformes totaux, en *E. coli* et en entérococcus dépassent les normes du RQEP (MDDEP, 2011). Pour la zone du nord, tous sauf *E. coli* dépassent les normes. À cet endroit, *E. coli* n'a pas été détecté par la méthode du NPP. La filtration à l'aide du filtre en terre cuite a augmenté toutes les concentrations en microorganismes et, par conséquent, augmente les *E. coli* au-dessus de la norme du RQEP. La filtration à l'aide d'une colonne de sable augmente beaucoup plus les concentrations bactériennes. Bref, les résultats démontrent que la filtration de sable est plus néfaste que celle par terre cuite.

**Tableau 3.1-10 : Dénombrement bactérien par la méthode du NPP de l'eau brute et de l'eau dite potable.**

| Type de filtration | Coliformes totaux (NPP/100mL) | Coliformes thermotolérants (NPP/100mL) | *E. coli* (NPP/100mL) | Entérococcus (NPP/100mL) |
|---|---|---|---|---|
| Sans filtration (sud) | 790 | 49 | 33 | 79 |
| Sans filtration (nord) | 130 | 7,8 | <1,8 | 4,5 |
| Filtration par terre cuite (nord) | 790 | 790 | 4,5 | 11 |
| Filtration de sable (nord) | 160 000 | 160 000 | 2 300 | 230 |

Cette étude microbiologique amène à plusieurs points de conclusion. Il semble que l'eau du côté nord de la péninsule semble abriter moins de microorganismes que l'eau du côté sud. La filtration de cette eau, que ce soit au travers d'un filtre en sable ou en terre cuite, augmente la concentration bactérienne dans l'eau de consommation. La filtration par terre cuite démontre cependant un relargage moins important que la filtration par sable. Enfin, la source Ojo présente la meilleure qualité microbiologique de toutes les eaux testées. Il apparaît clair que les filtres ne sont pas suffisamment bien entretenus par les villageois de Charco Muerto.

## 3.2 Aguas Agrias

### *3.2.1 Portrait descriptif de la communauté*

La coopérative Miguel Castro Siles, du nom d'un autre héros de la révolution nicaraguayenne, a été fondée en 1992 au nord du Nicaragua. Suite aux violences qui éclatèrent dans le nord du pays et qui opposent le mouvement pro Somoza de la *contras* aux sandinistes, les membres de cette coopérative fuirent au sud du pays. Ils joignirent la UCA en 1993. Aujourd'hui, la coopérative est surnommée Aguas Agrias pour l'aigreur de ses eaux.

Même si à l'origine elles sont issues du même village, les familles d'Aguas Agrias ne sont pas toutes parentes. Au contraire d'autres coopératives de la UCA, les habitants d'Aguas Agrias ne possèdent toujours pas les titres de propriété des terres où ils sont installés. Afin de faire valoir leurs droits de propriété, les membres de la coopérative ont même créé une réserve naturelle afin de protéger la faune et la flore de la région. Cela implique que malgré leurs activités agricoles, une partie des terrains est réservée à la conservation et ils se sont aussi engagés à ne pas semer ou planter des espèces étrangères à cette région du pays. À ce jour, la coopérative est toujours en processus juridique pour obtenir les droits de propriété et cela devient de plus en plus urgent face aux acquéreurs étrangers intéressés par les ressources de cette réserve naturelle.

Voici les résultats du sondage effectué dans cette communauté.

#### 3.2.1.1 *Statistiques familiales*

**1. Combien de personnes vivent dans cette communauté?**

Seize familles habitent la communauté d'Aguas Agrias.

**2. Quel est leur âge? Combien de femmes et d'hommes?**

Les familles sont nettement plus jeunes que celles de Charco Muerto puisque la plupart des parents ont moins de 40 ans et une grande majorité ont entre 20 et 30 ans. Il y a beaucoup d'adolescents (13-16 ans) et de jeunes en bas âge (moins de 10 ans).

**3. Quelles sont les principales activités économiques?**

Les activités économiques, exception faite de la pêche, sont les mêmes que pour la communauté de Charco Muerto (Section 3.1.1). De plus, deux familles ont aussi des vaches laitières qui permettent de faire du fromage et qui servent à la consommation de viande à l'occasion. Ici aussi les animaux sont libres d'aller et venir à leur guise.

#### 3.2.1.2 *Usages de l'eau*

**1. Quels sont les usages pour lesquels vous avez besoin d'eau?**

L'eau est utilisée pour la consommation, la cuisine, laver la vaisselle, les vêtements ainsi que pour l'hygiène personnelle.

**2. Pour chacun des usages, d'où provient l'eau utilisée?**

En ce qui a trait à l'eau consommée et utilisée dans la cuisson des aliments, les gens utilisent de l'eau filtrée. Pour tout le reste, l'eau provient directement de l'eau distribuée à partir du réservoir.

Par contre, pour le lavage corporel et des vêtements, beaucoup de famille continue d'aller directement à la rivière.

**3. Est-ce que vous appliquez un traitement? Si oui, lequel?**

Quelques familles ajoutent un peu de chlore dans leur réservoir à la maison.

**4. Utilisez-vous de l'eau achetée parfois? Si oui, pour quelles raisons?**

Très rarement. Seulement si l'eau vient à manquer pour une longue période, quand ils reçoivent des touristes ou si l'eau est mauvaise sur une longue période.

**5. Avez-vous un filtre? Si oui, de quel type?**

Toutes les familles ont un filtre en terre cuite.

**6. À quelle fréquence le lavez/changez-vous? Et comment le lavez-vous?**

Les familles mentionnent qu'ils le brossent régulièrement et lavent aussi le récipient régulièrement. L'entretien varie d'un brossage journalier à un lavage en profondeur tous les deux à trois mois.

#### 3.2.1.3 *Historique de l'usage de l'eau*

**1. Depuis quand avez-vous les filtres?**

Les filtres en terre cuite ont été distribués assez récemment. Il n'y a que depuis quelques années (environ cinq ans) qu'ils les utilisent.

**2. Que faisiez-vous avant d'avoir les filtres?**

Les gens prenaient l'eau directement de la Fuente Agria ou du réservoir.

**3. Avez-vous noté une différence dans la qualité de l'eau depuis que vous la filtrez? Couleur, odeur, saveur?**

Ils disent que la couleur blanchâtre disparaît et que le goût s'améliore. Par contre, certaines personnes mentionnent qu'en la laissant reposer quelques heures, ils obtiennent le même résultat. Quant à celle du réservoir, cela ne semble pas avoir un impact important, à part une faible amélioration du goût selon certains.

**4. Cela a-t-il eu des conséquences sur votre santé?**

Les familles sont unanimes et précisent qu'ils ont beaucoup moins de maux intestinaux depuis qu'ils utilisent les filtres. Ils ont l'impression que l'eau a un meilleur goût.

**5. Pourquoi avez-vous décidé d'utiliser les filtres?**

Ils utilisent les filtres parce qu'ils leur sont donnés par Vision Mondiale via la UCA.

#### 3.2.1.4 *Qualité de l'eau*

**1. Êtes-vous satisfaits de la qualité de l'eau du service de distribution? De la source en contrebas de la communauté?**

Les gens semblent satisfaits de l'eau qui arrive du réservoir. Ils mentionnent que ce sont surtout les coupures dans le service qui les inquiètent et les dérangent. Certains ont aussi mentionné que parfois, l'eau avait un drôle de goût, mais que c'était plutôt rare.

Pour ce qui est de la source en contrebas de la communauté, c'est surtout la distance à parcourir qui en freine l'utilisation.

#### 3.2.1.5 *Historique de la qualité de l'eau*

**1. Depuis combien de temps habitez-vous Aguas Agrias?**

Les gens se sont installés sur ces terres depuis il y a une vingtaine d'années.

**2. Avez-vous noté une différence dans la qualité de l'eau de la Fuente Agria durant toutes ces années?**

Comme ils ont eux-mêmes créé, en quelque sort, le ruisseau en élargissant ses bords et en nettoyant la source de la végétation qui la recouvrait, ils ont pu noter une amélioration au niveau de la transparence de l'eau. La quantité, quant à elle, leur paraît la même.

**3. Avez-vous noté des différences dans le nombre de tempêtes, d'averses (quantité, intensité)?**

Les mêmes remarques qu'à Charco Muerto ont été formulées.

#### 3.2.1.6 *Alimentation*

**1. Quels sont les aliments de base? Quels sont les aliments que vous mangez plus occasionnellement?**

Le riz, les fèves rouges et le maïs constituent les aliments de base de l'alimentation des différentes familles. Les repas du matin, du midi et du soir comportent généralement du riz et des fèves, ainsi que du fromage de vache.

Pour ce qui est de la viande, ils consomment surtout du poulet et du porc, et parfois de la vache lorsque ceux qui en possèdent en vendent. Quelques fois par mois, ils consomment aussi du poisson acheté aux communautés riveraines.

**2. De ces aliments, lesquels produisez-vous et sinon, où vous les procurez-vous?**

La plupart des aliments sont produits ou récoltés à Aguas Agrias même. Sinon, ils achètent ou échangent ce qui manque contre d'autres produits au marché de Granada.

#### 3.2.1.7 *Agriculture*

**1. Quels types de culture faites-vous?**

Il a déjà été mentionné que les familles cultivent du riz, des fèves rouges ainsi que du maïs. Elles possèdent aussi plusieurs arbres à fruits, dont de nombreux manguiers et avocatiers. Elles cultivent aussi plusieurs variétés de légumes, mais en quantités très minimes.

**2. Utilisez-vous des herbicides, pesticides, fongicides ou engrais? Si oui, lesquels?**

Ils utilisent à peu près les mêmes produits que la communauté de Charco Muerto, mais la liste de ceux-ci est moins longue. Ils mentionnent aussi être au courant que ces produits sont mauvais pour l'environnement et qu'ils essaient de trouver des solutions alternatives.

**3. Avez-vous besoin d'arroser vos cultures?**

Il n'y a pas d'irrigation des cultures ni d'arrosage.

#### 3.2.1.8 *Historique de l'agriculture*

**1. Que cultiviez-vous avant?**

Les mêmes aliments qu'aujourd'hui.

**2. Cultivez-vous plus qu'avant (en quantité ou superficie de terres agricoles)?**

Ils mentionnent qu'ils cultivent plus de riz et de fèves rouges qu'avant. Ils ont aussi replanté plusieurs arbres fruitiers sans réussir à cultiver des manguiers.

**3. Jusqu'où va l'eau qui coule des champs après la pluie?**

Ils mentionnent que l'eau en provenance des champs en bordure du ruisseau s'écoule dans celui-ci. Par contre, dans les autres cas, ils pensent que l'eau de pluie pénètre simplement le sol.

#### 3.2.1.9 *Animaux*

**3. Que mangent-ils? Où boivent-ils?**

Tel que mentionné précédemment, les animaux sont en liberté et mangent donc ce qu'ils trouvent et boivent l'eau qu'ils trouvent. Les vaches boivent à même le ruisseau, mais elles sont localisées en aval de l'endroit où les gens se lavent et prélèvent l'eau de la Fuente Agria.

Les déchets organiques sont généralement donnés aux cochons, aux chiens et aux volailles.

**4. Récoltez-vous leurs fèces pour en faire de l'engrais?**

La réponse de tout le monde est non et on note ici aussi la possibilité que les animaux puissent contaminer la source d'eau.

#### 3.2.1.10 *Eaux usées*

**1. Que faites-vous avec l'eau que vous utilisez pour laver la vaisselle, les vêtements et celle utilisée pour votre hygiène personnelle?**

L'eau utilisée dans la cuisine est évacuée à l'arrière de celle-ci par un tuyau assez court ou tombe directement à l'arrière de la cuisine.

En ce qui a trait aux vêtements et à l'hygiène corporelle, certaines familles se lavent et nettoient leurs vêtements à même l'eau du ruisseau située en contrebas de la communauté. D'autres familles ont des douches et une roche, très souvent près de la maison, où les membres de la famille peuvent se laver et nettoyer leurs vêtements. L'eau est aussi évacuée librement en direction opposée à la maison.

**2. Avez-vous des toilettes? Comment les entretenez-vous?**

Ici aussi ce sont principalement les toilettes sèches qui sont utilisées.

#### 3.2.1.11 *Déchets*

**1. Séparez-vous les déchets? Si oui, de quelle façon et qu'en faites-vous ensuite?**

La plupart des déchets organiques consommables par les cochons et les chiens sont donnés à ceux-ci dans des récipients situés à l'arrière de la cuisine. Certains déchets organiques sont aussi donnés aux poulets et canards.

Tous les autres déchets des différentes familles, incluant les piles, sont jetés au fond d'un puits. Ce puits avait été creusé en pensant qu'il y avait de l'eau à cet endroit, ce qui ne fut pas le cas. Les gens mentionnent que lorsqu'il sera plein, il sera comblé et un autre trou sera creusé pour tous les déchets des membres de la communauté.

#### 3.2.1.12 *Les raisons de notre présence*

**1. Pourquoi êtes-vous intéressés par le thème de l'eau?**

Les familles sont préoccupées par les coupures d'eau qui les empêchent de vaquer à leurs tâches habituelles et obligent les femmes à parcourir de longues distances sur un terrain avec

un bon dénivelé pour approvisionner leurs familles en eau. Le projet est d'ailleurs une initiative des femmes de la communauté. Les gens veulent aussi s'assurer d'avoir accès à une eau de qualité s'ils utilisent la Fuente Agria comme source d'eau potable. Ils doutent que des tests de la qualité de cette eau aient été réalisés.

**2. Quelles sont vos attentes face à ce projet?**

L'attente principale des habitants de cette communauté est de savoir si l'eau de la Fuente Agria qu'ils ont identifiée est potable ou non et s'il est possible de l'utiliser pour approvisionner les différentes familles en eau durant l'année.

### *3.2.2 Caractéristiques physico-chimiques et inorganiques dans l'eau d'Aguas Agrias*

Les caractéristiques physico-chimiques de la Fuente Agria sont données dans le tableau 3.2-1. On observe des différences marquées entre l'eau de cette source et celle du lac Nicaragua. Ces différences sont dues au fait que l'on a affaire à une eau d'origine souterraine et à une eau de surface respectivement. Ainsi, la conductivité est environ deux fois plus élevée dans la Fuente Agria, ce qui correspond à des concentrations en Ca et Mg remarquablement plus importantes. Ceci est typique d'une eau souterraine dont la composition chimique est majoritairement acquise lors de son séjour dans le sol, par dissolution des roches traversées, notamment des calcaires. Cette forte capacité à la dissolution s'explique par les propriétés acides des eaux souterraines.

**Tableau 3.2-1 : Caractéristiques physico-chimiques de la Fuente Agria.**

| Paramètre | Moyenne ± écart type (n=3 |
|---|---|
| pH | 5,93 ± 0,01 |
| Température (°C) | 28,5 ± 0,1 |
| Conductivité (µS/cm) | 469 ± 5 |
| Oxygène dissous (mg/L) | 4,0 ± 0,2 |
| COD (mg/L) | 0,5 ±0,1 |
| CID (mg/L) | 9,4 ± 2,4 |
| Ca (mg/L) | 41,9 ± 0,61 |
| Mg (mg/L) | 21,2 ± 0,3 |
| Na (mg/L) | 19,2 ± 0,2 |
| K (mg/L) | 5,5 ± 0,1 |

Le terme « Aguas Agrias » signifie, en espagnol, « eaux aigres ». Le village se nomme ainsi en raison du goût aigre de l'eau de la Fuente Agria directement à sa sortie de terre. Les habitants affirment que s'ils attendent au moins une heure avant de boire cette eau, le goût aigre disparaît. Ils nous ont demandé si nous pouvions fournir une explication à ce phénomène. Une eau aigre correspond nécessairement à une eau acide (à noter que le mot acide est dérivé du latin *acidus* signifiant aigre). Le pH de 5,93 mesuré atteste en effet de l' « acidité » de la source. Une atténuation de cette acidité par un simple contact prolongé avec l'atmosphère laisse à supposer que cette augmentation du pH est le résultat d'un échange gazeux entre l'eau et l'air. Les eaux souterraines sont naturellement riches en $CO_2$ dissous en raison de la dissolution dans les sols du $CO_2$ produit par les végétaux et les colonies bactériennes. Ce dernier étant en équilibre avec l'acide carbonique, une forte concentration en $CO_2$ tend à acidifier l'eau (CHOI *et al*., 1998). L'importante concentration en CID (fraction regroupant le dioxyde de carbone, l'acide carbonique et les anions bicarbonate et carbonate) de 9,4 mg/L mesurée à la Fuente Agria montre que les concentrations en $CO_2$ dissous et en acide carbonique sont en effet élevées. Lorsque l'eau souterraine se retrouve en contact avec l'atmosphère, il y a donc dégazage de $CO_2$ de l'eau vers l'atmosphère en raison de la différence de pression partielle en $CO_2$ entre ces deux compartiments. Nous supposons que ce dégazage est le principal facteur causant l'augmentation du pH et donc l'atténuation du goût aigre. L'eau de la Fuente Agria est

donc naturellement gazéifiée et ceci n'est pas préoccupant pour sa qualité à la consommation. Le choix de laisser dégazer ou non l'eau avant de la consommer est une question de goût.

Les concentrations en anions (Tableau 3.2-2) et en métaux traces ainsi qu'en autres éléments non métalliques totaux (Tableau 3.2-3) sont toutes en dessous des recommandations de l'OMS pour l'eau potable (*cf*. Tableau 3.1-5). Cette source a donc une qualité acceptable concernant ses paramètres inorganiques.

**Tableau 3.2-2 : Concentrations en anions de la Fuente Agria. Moyennes ± écarts-types (n=3).**

| Anion | Concentration (mg/L) | Valeur OMS (mg/L) | Référence (N° de rapport OMS) |
|---|---|---|---|
| F | 0,40 ± 0,05 | 1,5 | WHO/SDE/WSH/03.04/96 |
| Cl | 4,56 ± 0,05 | n.a. | |
| $NO_2$ | 0,28 ± 0,01 | 3 | WHO/SDE/WSH/07.01/16 |
| Br | 0,73 ± 0,37 | n.a. | |
| $SO_4$ | 9,23 ± 1,10 | n.a. | |
| $NO_3$ | 6,72 ± 1,68 | 50 | WHO/SDE/WSH/07.01/16 |

**Tableau 3.2-3 : Concentrations en métaux traces et autres éléments non métalliques totaux de la Fuente Agria. Moyennes ± écarts types (n=3).**

| Élément | Concentration (mg/L) | Valeur OMS (mg/L) | Référence (N° de rapport OMS) | Remarque |
|---|---|---|---|---|
| Al | 0,015 ± 0,004 | 0,2 | WHO/SDE/WSH/03.04/53 | |
| As | < 0,003 | 0,01 | WHO GDWQ (1993) | Valeur provisoire |
| Ba | 0,040 ± 0,001 | 0,7 | WHO/SDE/WSH/03.04/76 | |
| Be | < 0,0003 | 0,012 | WHO/HSE/WSH/09.01/5 | Valeur basée sur la santé |
| Bi | < 0,005 | n.a. | | |
| Cd | < 0,0002 | 0,003 | WHO/SDE/WSH/03.04/80/Rev/1 | |
| Co | < 0,001 | n.a. | | |
| Cr | < 0,0006 | 0,05 | WHO/SDE/WSH/03.04/04 | |
| Cu | < 0,0009 | 2 | WHO/SDE/WSH/03.04/88 | |
| Fe | 0,009 ± 0,004 | n.a. | | |
| Hg | < 0,002 | 0,006 | WHO/SDE/WSH/05.08/10 | |
| Li | < 0,015 | n.a. | | |
| Mn | 0,0012 ± 0,0005 | 0,4 | WHO/SDE/WSH/03.04/104/Rev/1 | Valeur basée sur la santé |
| Mo | < 0,001 | 0,07 | WHO/SDE/WSH/03.04/11/Rev/1 | Valeur basée sur la santé |
| Ni | < 0,0006 | 0,07 | WHO/SDE/WSH/05.08/55 | |
| Pb | < 0,004 | 0,01 | WHO/SDE/WSH/03.04/09/Rev/1 | |
| S | 3,89 ± 0,09 | n.a. | | |
| Sb | < 0,006 | n.a. | | |
| Se | < 0,01 | 0,04 | WHO/HSE/WSH/10.01/14 | Valeur provisoire |
| Si | 45,71 ± 0,89 | n.a. | | |
| Sn | < 0,004 | n.a. | | |
| Sr | 0,154 ± 0,002 | n.a. | | |
| Ti | < 0,0006 | n.a. | | |
| Tl | < 0,011 | n.a. | | |
| U | < 0,030 | 0,03 | WHO/SDE/WSH/03.04/118 | Valeur provisoire |
| Zn | < 0,0005 | 3 | WHO/SDE/WSH/03.04/17 | Valeur pour l'acceptabilité |
| Zr | < 0,002 | n.a. | | |

### *3.2.3 Microbiologie dans l'eau*

#### 3.2.3.1 *Résultats avec la méthode des Petrifilms*

Il est rappelé que, d'après le RQEP émis par le MDDEP, l'eau potable ne doit pas dépasser une limite en coliformes totaux de 10 UFC/100mL (MDDEP, 2011). Le tableau 3.2-4 montre le dénombrement des coliformes totaux, des entérobactéries et des *E. coli* après différents temps d'exposition sur des Petrifims. Cette limite n'est pas respectée pour l'eau récoltée chez Leonarda qui correspond à celle en provenance du réservoir municipal. Après la filtration de cette eau par un filtre en terre cuite, une augmentation importante en coliformes totaux ainsi qu'en entérobactéries est observée. Cette augmentation est causée par un filtre contaminé, inadéquatement nettoyé. Une augmentation significative d'*E. coli* après filtration n'a pas été remarquée. La Fuente Agria, de son côté, n'a démontré aucun compte bactérien au-dessus de la limite de détection. Les analyses par la méthode du NPP ont donc été nécessaires pour déterminer si la Fuente Agria est potable d'un point de vue microbiologique.

**Tableau 3.2-4 : Dénombrement des coliformes totaux, des entérobactéries (après 48 h d'inoculation) et des *E. coli* (après 24 h d'inoculation) avec la méthode des Petrifilms.**

| Provenance | Coliformes totaux (UFC/mL) | *E. coli* (UFC/mL) | Entérobactéries (UFC/mL) |
|---|---|---|---|
| Blanc | <LD | <LD | <LD |
| Eau Leonarda non filtrée | 32 | <LD | 52 |
| Eau Leonarda après le filtre en terre cuite | $>10^6$ | <LD | $>10^6$ |
| *Fuente Agria* | <LD | <LD | <LD |

#### 3.2.3.2 *Résultats avec la méthode du nombre le plus probable*

Dans l'eau récoltée chez Leonarda et à la Fuente Agria, l'exigence du RQEP n'est pas respectée (Tableau 3.2-5). Le RQEP mentionne aussi que l'eau potable doit être exempte de coliformes thermotolérants (incluant *E. coli* et les entérococcus). Or, on observe une présence de coliformes thermotolérants et d'*E. coli*. Par contre, dans les deux cas, la concentration en entérococcus se situe sous la limite de détection. En comparant ces deux eaux, il est possible d'affirmer que l'eau de source présente une meilleure qualité microbiologique que celle en provenance du réservoir municipal, dite « potable ».

**Tableau 3.2-5 : Dénombrement des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants, d'*E. coli* et d'entérococcus avec la méthode NNP.**

| Provenance | Coliformes totaux (NPP/100mL) | Coliformes thermotolérants (NPP/100mL) | *E. coli* (NPP/100mL) | Entérococcus (NPP/100mL) |
|---|---|---|---|---|
| Eau Leonarda non filtrée | 230 | 130 | 130 | <1,8 |
| Fuente Agria | 110 | 17 | 2 | <1,8 |

L'eau actuellement consommée par les habitants d'Aguas Agrias provient d'une nappe située à 1 km sous terre, est pompée dans un réservoir commun et finalement acheminée dans les maisons par un système de tuyauterie. La contamination de l'eau du robinet pourrait provenir du réservoir municipal de 56 $m^3$ ou de fuites dans la tuyauterie.

La Fuente Agria fait surface au pied d'un mini bassin versant. La présence bactérienne pourrait provenir du lessivage du terrain durant les pluies. Directement à la sortie de la source, un bassin de rétention a été construit pour pouvoir recueillir l'eau avec des sceaux. Ainsi, une deuxième source de contamination pourrait provenir du fait qu'il faut poser un pied dans le bassin afin garder l'équilibre tout en prélevant l'eau.

### *3.2.4 Les débits*

Les mesures de débit prises à l'aide d'un moulinet électromagnétique donnent un débit de 2,8 ± 0,6 L/s à la Fuente Agria. Avec la mesure de la vitesse à la surface, le débit mesuré est de 5,5 L/s. La différence entre les deux mesures est probablement due au biais de la deuxième méthode. Le débit mesuré sur la section de l'arbre aux fourmis est de 114 ± 7 L/s. Le débit mesuré entre les deux bassins est de 300 ± 60 L/s. L'incertitude sur la mesure entre les deux bassins est plus élevée étant donné que la vitesse est très basse et le fond était boueux. Cependant, pour empêcher la perche qui permet de prendre les mesures de s'enfoncer dans la boue, une attention particulière a été apportée à la profondeur de celle-ci. En effet, à l'aide de masque de plongé, il a été possible de garder la même grandeur d'enfoncement à chaque mesure. Les mesures de section ont été particulièrement simples à faire puisque les endroits sélectionnés pour la prise de mesure sont des sections droites aux pentes constantes.

Selon l'OMS, il faut 50 L d'eau potable par personne par jour. Aguas Agrias contient 120 habitants. Un débit de 2,8 L/s équivaut à plus de 2 000 L/s par personne et par jour. La Fuente Agria a donc un débit suffisant pour fournir les habitants d'Aguas Agrias. Par contre, il

n'est pas possible de se prononcer sur les impacts d'un prélèvement de cette source sur les cours d'eau en aval. Le Rio Manares est une source importante de revenu touristique pour les habitants d'Aguas Agrias. La source représente 2 % du cours d'eau et moins de 1 % au niveau des bassins. Par ailleurs, les habitants ne prélèveront probablement pas toute la source.

Les variabilités saisonnière et interannuelle des débits de la Fuente Agria et celles du Rio Manares n'ont pas pu être évaluées. Cependant, selon les habitants d'Aguas Agrias, la Fuente Agria a un débit constant au travers de l'année, puisqu'elle provient d'une source souterraine. Les mesures ont été prises à la fin de la saison sèche. Les débits devraient être plus élevés pendant la saison des pluies pour le Rio Manares. Il est entendu que des mesures à long terme seraient préférables pour permettre de poser des conclusions fermes.

## 3.3 Les organismes benthiques à Charco Muerto et à Aguas Agrias

La section des organismes benthiques n'est pas présentée par communauté telle que les résultats précédents puisque pour obtenir un portrait plus intéressant de la situation, il est nécessaire de comparer les six sites d'échantillonnage ensemble. Cela a l'avantage de donner un portrait plus global de la qualité de l'habitat et de comparer les sites entre eux en matière de qualité d'habitats.

Sur les six sites d'étude, 3 222 individus de 45 familles différentes ont été dénombrés et identifiés (Tableau 3.3-1).

**Tableau 3.3-1 : Abondances des familles d'invertébrés aux six sites d'échantillonnage.**

| | | RM_F | RM_M | RM_B | OA | Puerto | Laguna |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Achètes** | Glossiphonidae | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | Achete1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| **Turbellariés** | Turbellaries | 0 | 0 | 1 | 13 | 0 | 0 |
| **Nématodes** | Nematodes | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| **Oligochètes** | Oligochetes | 32 | 25 | 7 | 1 | 5 | 13 |
| **Gastéropodes** | Physidae | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 |
| | Planorbidae | 0 | 0 | 0 | 34 | 0 | 2 |
| | Ampullaridae | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| | Hydrobiidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| | Ancylidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| **Crustacés** | Gammaridae | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 13 |
| | Atyidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | Conchostracae | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| **Odonata** | Protoneuridae | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Calopterygidae | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | Coenagrionidae | 0 | 0 | 4 | 4 | 10 | 1 |
| | Lestidae | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| | Gomphidae | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 |
| | Libellulidae | 0 | 0 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| **Coleoptera** | Dytiscidae | 0 | 0 | 1 | 23 | 0 | 3 |
| | Hydrophilidae | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| | Hydroscaphidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Curculionidae | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Elmidae | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| | Gyrinidae | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Noteridae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| | Coleo1 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | Scirtidae | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 |
| **Heteroptera** | Notonectidae | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 | 0 |
| | Naucoridae | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | Corixidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 |

**Suite du tableau 3.3-1**

| | | RM_F | RM_M | RM_B | OA | Puerto | Laguna |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ephemeroptera** | Baetidae | 0 | 342 | 284 | 2 | 3 | 0 |
| | Caenidae | 0 | 0 | 2 | 49 | 0 | 0 |
| | Leptophlebiidae | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| | Leptohyphidae | 0 | 0 | 9 | 3 | 4 | 0 |
| **Trichoptera** | Philopotamidae | 0 | 0 | 1 | 24 | 4 | 0 |
| | Hydroptilidae | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| | Hydropsychidae | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| | Glossomatidae | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Leptoceridae | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Calamoceratidae | 0 | 0 | 1 | 85 | 0 | 0 |
| **Diptera** | Chironomidae | 19 | 114 | 109 | 1083 | 682 | 63 |
| | Ceratopogonidae | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Culicidae | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Psychodidae | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Le test de Kruskal-Wallis appliqué à la matrice d'abondance des invertébrés (Kruskal-Wallis chi-carré = 72,83, $d_f$ = 43, p-value = 0,003) permet de rejeter $H_0$ et d'accepter l'hypothèse alternative : les échantillons proviennent de populations différentes.

Les résultats des différents indices sont consignés dans le tableau 3.3-2. En matière de richesse spécifique, les stations les plus riches sont RM_B (24 taxons) et OA (22 taxons), les plus pauvres étant RM_F (7 taxons) et RM_M (10 taxons). Globalement, les diversités les plus faibles se retrouveraient à la station Puerto, dominée par les Diptères *Chironomidae* et à RM_M, dominée par les Éphéméroptères *Baetidae*. En revanche, Laguna montre une bonne diversité et une répartition relativement équitable des individus, à l'instar de RM_B. Enfin, pour ce qui est de la qualité de l'eau, RM_F, OA et Puerto présentent des FBI de qualité d'eau très pauvre, les autres, de qualités assez pauvres. RM_F et Laguna n'ont montré aucun individu d'Éphéméroptères, de Trichoptères ou de Plécoptères. Pour les autres, les meilleurs pourcentages reviennent à RM_B et RM_M.

**Tableau 3.3-2 : Indices écologiques appliqués aux sites d'échantillonnage**

| Sites | Abondance | Richesse | Shannon | Équitabilité | Simpson 1/D | Hill | FBI | %EPT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RM_F | 60 | 7 | 1,73 | 0,62 | 1,44 | 0,43 | 7,22 | 0 |
| RM_M | 489 | 10 | 1,21 | 0,36 | 1,25 | 0,54 | 5,87 | 0,70 |
| RM_B | 455 | 24 | 1,85 | 0,40 | 1,30 | 0,36 | 5,63 | 0,69 |
| OA | 1338 | 22 | 1,27 | 0,28 | 1,11 | 0,46 | 7,34 | 0,13 |
| Puerto | 739 | 15 | 0,65 | 0,17 | 1,02 | 0,65 | 7,68 | 0,01 |
| Laguna | 141 | 19 | 2,97 | 0,70 | 1,58 | 0,20 | 6,43 | 0 |

La matrice de similitudes de Bray-Curtis (Figure 3-8) montre que les sites RM_F, RM_M et RM_B présentent des similitudes de compositions faunistiques, mais montre une différence de composition marquée avec OA et Puerto.

| | RM_F | RM_M | RM_B | OA | Puerto |
|---|---|---|---|---|---|
| RM_M | 0,4970 | | | | |
| RM_B | 0,6214 | 0,4731 | | | |
| OA | 0,8366 | 0,7197 | 0,6060 | | |
| Puerto | 0,7105 | 0,5924 | 0,5567 | 0,5330 | |
| Laguna | 0,6560 | 0,6350 | 0,6156 | 0,6996 | 0,6066 |

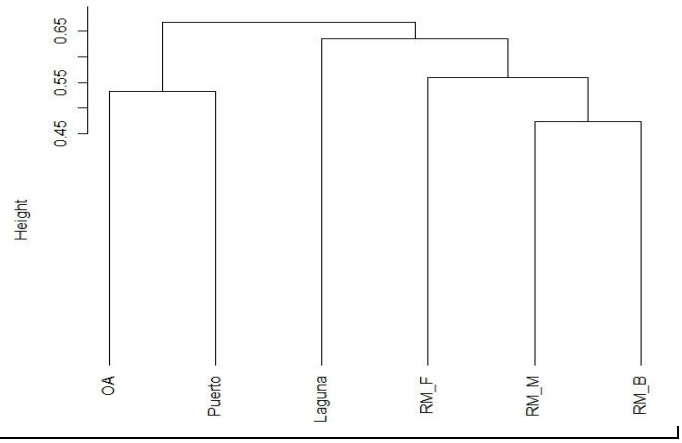


**Figure 3-8: Matrice de distance de Bray-Curtis des logs (abondance+1) (gauche) et arbre de Classification Hiérarchique Ascendante (droite).**

La qualité des eaux a été approximée à proximité des communautés humaines à partir de la structuration des communautés invertébrées benthiques.

Les relevés issus du secteur de Charco Muerto sont les plus difficilement interprétables et comparables. La station OA est la source d'une rivière en aval des champs de la communauté. Malgré les traitements des cultures, la station présente une bonne richesse faunistique et une diversité appréciable. Cependant, son indice de FBI semble très élevé, révélant *a priori* une pollution présente. Faunistiquement proche d'OA, Puerto est une station du lac Nicaragua,

dominée par les *Chironomidae* et présentant un FBI élevé. Cependant, une étendue d'eau telle que le lac Nicaragua possède une dynamique particulière qui ne se retrouve pas dans un lac de taille moindre ou en rivière, telle que la présence de houle et de vagues, qui pourraient influencer la structuration des communautés. La station Laguna, enfin, présente une diversité remarquable, malgré l'absence non expliquée d'Éphéméroptères, Plécoptères et deTrichoptères. Concernant le Family Biotic Index, il faut garder à l'esprit que son application a été développée pour les États-Unis et n'a pas été spécialement adaptée au Nicaragua. De plus, le protocole tel que défini par HILSENHOFF (1998) n'a pas été exactement suivi : seules les zones de vitesse supérieures à 0,3 m/s et sur des substrats de galets, de pierres et de rochers devaient être échantillonnées, et en sélectionnant entre 100 et 200 individus. Ainsi, les valeurs données par l'indice pour les sites d'eau stagnante ou à faible débit, tels que Laguna, Puerto et OA, ou pour les sites présentant moins de 100 individus sont à considérer avec prudence et n'ont été calculées qu'à des fins exploratoires.

Les sites du Rio Manares, dans le secteur d'Aguas Agrias, sont comparables entre eux et les résultats sont assez nets. La source de la communauté d'Aguas Agrias est la station RM_F. Cette source a un pH acide. Les indices de biodiversité vont dans ce sens : une richesse restreinte, un FBI élevé, signe *a priori* d'une pollution ou d'une perturbation et une absence des familles polluo-sensibles (Éphéméroptères, Trichoptères et Plécoptères), à mettre en lien sans doute avec le pH de 5,98 mesuré sur place. La qualité s'améliore doucement en s'éloignant de la source (RM_M). La station RM_B, située après la confluence avec le Rio Negro, montre une richesse élevée et la meilleure qualité de l'étude en plus d'un fort pourcentage EPT.

En conclusion, l'évaluation de la qualité de l'environnement de Charco Muerto, par l'interprétation des trois relevés, est à prendre avec précaution. Pour Aguas Agrias, la communauté d'invertébrés montre une qualité d'eau particulière qui s'améliore en s'éloignant, mais ne peut fournir une quelconque indication concernant la potabilité de l'eau.

# 4. Recommandations et conclusions

## 4.1 Charco Muerto

### *4.1.1 Dans l'eau*

L'eau du lac Nicaragua est au-dessus des normes quant à la turbidité selon l'OMS. Ainsi, les habitants de Charco Muerto sont fortement encouragés à filtrer l'eau du lac afin de la rendre le plus près des normes possible et d'obtenir une apparence plus agréable pour utilisation domestique. Par contre, à l'exception de l'Al, du Ti, du Mn et du Fe, les filtres sont globalement inefficaces pour la rétention des éléments inorganiques analysés. Ces filtres, de toute évidence, ne sont pas conçus pour ce but. Le filtre en terre cuite relargue même du Ba qui est un de ses constituants, mais les concentrations relarguées ne présentent pas de risque pour la santé.

À l'exception du fluorure, les concentrations des métaux et des anions analysés dans l'eau consommée ne présentent aucun risque. Le fluorure, avec une concentration d'environ 1,5 mg/L, peut augmenter le risque de fluorose dentaire, notamment chez les enfants de 20 à 30 mois. La recommandation que nous pouvons formuler est de continuer à donner de l'eau embouteillée aux enfants jusqu'à l'âge de trois ans au lieu d'un an. Cependant, il est important de préciser que le souci majeur de cette maladie est de nature esthétique (dégradation plus ou moins notable de l'apparence de la dentition permanente), la gravité de cette maladie est donc à minimiser.

Les concentrations en métaux traces analysés dans les sources alternatives Ojo et Blanca ne présentent pas risque pour la consommation. Cependant, une analyse des anions reste nécessaire.

Les résultats des analyses de pesticides organochlorés démontrent qu'il ne semble pas exister un risque important pour la communauté dans l'eau de consommation. Il est possible que des sources ponctuelles de contamination provenant des activités agricoles de la communauté locale puissent être plus importantes pendant la saison des pluies et entraîner une augmentation des concentrations de certains contaminants organiques dans les eaux du lac à proximité de la communauté.

Il a été démontré que le site de prélèvement d'eau du côté nord de la péninsule abrite une concentration plus faible en microorganismes que celui du côté sud pendant la période d'échantillonnage effectuée.

La filtration domestique par le sable s'avère non efficace et va même jusqu'à augmenter fortement les concentrations bactériennes. Le nettoyage du filtre en sable est très difficile à effectuer et la pyrite active de tous les filtres n'a pas été changée depuis des années. Donc, l'entretien responsable d'un filtre en sable à Charco Muerto est pratiquement impossible. Il serait donc recommandé de changer tous ces filtres par ceux en terre cuite.

La filtration par terre cuite démontre un relargage microbien moins important que la filtration par le sable, mais elle augmente aussi la teneur en microorganismes de l'eau brute. L'avantage du filtre en terre cuite est sa facilité d'entretien. Il suffit de brosser la surface en présence d'une solution chlorée. Par contre, son désavantage majeur est son très faible débit. Il devrait être utilisé seulement pour l'eau à boire.

Si une filtration est absolument nécessaire pour enlever les matières en suspension, il est recommandé de prélever l'eau brute du côté nord, de la filtrer avec un filtre en terre cuite propre et ensuite de traiter l'eau résiduelle avec une solution chlorée.

#### *4.1.2 Dans les poissons*

Les concentrations de la plupart des métaux analysés dans les poissons ne présentent aucun risque pour les villageois de Charco Muerto et la consommation d'une ou l'autre des espèces ne présente pas de différence. Par contre, une consommation plus fréquente de *Sabalete* pourrait entraîner un risque étant donné que les concentrations de Hg dans ce poisson sont proches des valeurs maximales émises par l'US EPA (2001). L'étude comparative d'accumulation de Hg entre les deux lacs (Managua et Nicaragua) serait intéressante considérant la similarité des concentrations chez les poissons des deux lacs et leur différence historique de contamination en mercure. Le sélénium doit être analysé de nouveau dans la chair des poissons, mais des indications suggèrent que les concentrations risquent d'être à des niveaux supérieurs aux normes pour les femmes enceintes et les enfants.

Il serait recommandé aux femmes enceintes et aux enfants de manger moins de Sabalete (Hg) et de manger du poisson moins fréquemment que les autres adultes (Se).

## 4.2 Aguas Agrias

Aucune recommandation n'est donnée pour les éléments inorganiques dans l'eau pour les habitants d'Aguas Agrias, car ni l'eau du réservoir municipal ni celle de la Fuente Agria n'ont des concentrations en métaux traces et en anions analysées au-dessus des normes de l'OMS pour l'eau potable.

L'eau de la Fuente Agria est acide lorsqu'elle sort du sol en raison de sa forte teneur en $CO_2$ dissous, ce qui lui donne son goût aigre. Les habitants ont fait le choix de laisser dégazer le $CO_2$ pour dissiper ce goût. Aucune norme de santé n'existe sur le pH et nous ne ferons donc pas de recommandation à ce sujet.

L'eau provenant du robinet démontre des teneurs bactériologiques qui surpassent les normes du RQEP. De plus, l'utilisation d'un filtre en terre cuite mal entretenu augmente la concentration bactérienne de l'eau filtrée. Pour satisfaire les normes du RQEP, un traitement de l'eau adéquat à la sortie du robinet devrait être appliqué, afin de réduire la teneur en microorganismes. Ce traitement peut être une filtration par un filtre en terre cuite bien entretenu, un traitement au chlore ou les deux.

Les teneurs en coliformes thermotolérants ainsi qu'en coliformes totaux de la source Fuente Agria dépassent les normes du RQEP. Par contre, ces concentrations sont beaucoup moins élevées que celles de l'eau du robinet. Pour satisfaire les normes du RQEP, un traitement de l'eau à la sortie de robinet devrait être appliqué. Pour remédier à cette problématique, un simple traitement au chlore pourrait être suffisant. De plus, en construisant un petit bassin de rétention en ciment au niveau de la source, il y aurait beaucoup moins de probabilité de contamination de toutes sortes.

Le débit de la Fuente Agria a été évalué comme suffisant afin d'approvisionner la communauté en eau potable, et ce, en saison d'étiage. Cela signifie que la source pourrait fournir assez d'eau à longueur d'année. Par contre, il est certain qu'un prélèvement peut avoir un impact sur les activités récréotouristiques associées au Rio Manares. Les débits pris en aval montrent que d'autres sources fournissent la rivière. Bien que l'impact d'un prélèvement soit négligeable (1 % du débit de la rivière), il en revient aux membres de la communauté de prendre cette décision puisqu'une partie de leur revenu est associée au tourisme.

## 4.3 Perspectives

D'autres alternatives pourraient être envisagées afin d'améliorer la filtration de l'eau ou d'optimiser la méthode pour la recueillir. Par contre, ces solutions diverses seront mentionnées ici sans entrer dans les détails, car elles demandent d'être étudiées en profondeur et certaines d'entre elles pourraient être à l'évaluation lors d'une suite au présent projet.

En ce qui a trait à la filtration, il serait intéressant d'avoir une meilleure idée de l'efficacité des filtres en terre cuite en prenant des mesures sur ceux-ci pendant plusieurs jours puisque trois jours sont insuffisants pour permettre de faire des analyses poussées sur le sujet. Il y aurait aussi la possibilité d'évaluer l'évolution de l'efficacité de filtration depuis la journée de lavage du filtre sur une période donnée afin de faire savoir aux gens à quel moment leur filtre cesse d'être efficace et de mettre l'emphase sur un entretien régulier et adéquat. D'autres méthodes pourraient aussi être envisagées, telles que la circulation de l'eau dans des tubes de plastiques transparents qui permet, lorsque l'eau circule à faible débit, aux rayons UV d'empêcher la formation de bactéries. Bien qu'utilisée en Afrique, il faut voir si cette méthode a déjà été testée en Amérique latine et sinon, voir si c'est possible de l'adapter à ce contexte, principalement en période des pluies.

En ce qui concerne la collecte d'eau, que ce soit dans le lac ou à la rivière, il faut d'abord faire une campagne de sensibilisation tant au niveau de l'hygiène que sur l'impact des activités humaines sur les points de prise d'eau. Le fait de patauger à même la source, de s'y laver, d'y laver ses vêtements ou de nettoyer d'autres objets ou d'y jeter des déchets organiques a des impacts directs sur la qualité de l'eau que les gens ramènent à la maison. Il en va de même pour la présence d'animaux directement sur le site où l'eau est récoltée, notamment des bovidés, qui peuvent aussi contaminer momentanément le site de prise d'eau. Ensuite, d'autres solutions pourraient être envisagées, comme d'utiliser des tuyaux et une pompe à action manuelle pour aller chercher l'eau plus loin de la rive du lac. Le lac demandera une étude plus poussée afin de déterminer l'éloignement optimal, afin de ne pas tomber dans la zone anoxique de ce dernier et de voir si la qualité de l'eau est meilleure ou pas un peu plus loin de la rive. Enfin, une dernière solution qui pourrait être envisagée pour les sites de prise d'eau serait de créer une structure qui recouvre le site, comme une sorte de réservoir, qui permettrait de protéger la source. Cette solution sera notamment possible pour la communauté d'Aguas Agrias.

Finalement, peu importe la ou les solutions qui seront mises de l'avant, c'est aux membres des communautés à qui reviendra la décision finale. Ce rapport sera résumé et traduit en espagnol et un représentant de l'organisme AVES ira dans les communautés discuter des résultats et voir avec eux quel projet veulent-ils mettre de l'avant. AVES s'est engagé à poursuivre le projet avec ces communautés, mais il faut aussi soulever que dans quelques années, il pourrait être intéressant de faire un suivi sur les mesures qui auront été mises en place afin d'en voir l'efficacité et de comparer l'amélioration ou non de la qualité de l'eau potable de ces deux communautés.

# 5. Références bibliographiques


3Mtm Microbiology. 2001. Interpretation guide : Petrifilm™ E.coli/Coliform Count Plate. 6 p. 70-2008-4574-4 (1211) DPI. 3M, St. Paul, Minnesota, U.S.A.

3Mtm Microbiology. 2004. 3Mtm Petrifilm Plates, product listing. 2 p. 70-2088-9790-1 (116.3) DPI. 3M, St. Paul, Minnesota, U.S.A.

3Mtm Microbiology. 2006. Interpretation guide : Petrifilm™ Enterobacteriaceae Count Plate. 6 p. 70-2008-8668-0 (16.25) DPI. 3M, St. Paul, Minnesota, U.S.A.

Ahlgren, I., Chacon, C.R., Garcìa, I., Mairena, K., Rivas A. Zelaya, 1997. Sediment microbial activity in temperate and tropical lakes, a comparison between Swedish and Nicaraguan lakes. Verh. int.Ver. Limnol. 26, 429-434.

Altamirano Espinoza, M. 2009. Niveles de arsénico en agua subterranea, suelo y roca de la subcuenca suroeste del valle de Sébaco-Nicaragua. UC-UNAN-Mgua 7, 49-52.

Apha. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington, DC.

Bakir, F., Damluji, S.F., Amin Zaki, I. 1973. Methylmercury poisoning in Iraq: An interuniversity report. Science 181, 230-241.

Bernard, A., Lauwerys, R.I. 1984. Cadmium in human population. Experientia 40, 143-152.

Bussing, W.A. 1976. Geographic distribution of the San Juan ichthyofauna of Central America with remarks on its origin and ecology. Investigations of the ichthyofauna of Nicaragua lakes. Edited by T.B. Thorston, pp.157-175. University of Nebraska, Lincoln.

Cabral, J.P., Marques, C. 2006. Faecal coliform bacteria in Febros river (northwest Portugal): Temporal variation, correlation with water parameters, and species identification. Environmental Monitoring and Assessment 118, 21-36.

Carmago, J.A. 2003. Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review. Chemosphere 50, 251-264.

Casarin C. V. R. Fernandes D. R. M., Lima-Arsati Y. B. O., Cury J. A., 2007. Fluoride concentrations in typical Brazilian foods and in infant foods. Rev Saúde Pública, 41, 549-556.

Choi J., Hulseapple S. M., Conklin M. H. and Harvey J. W. 1998. Modeling CO2 degassing and pH in a stream-aquifer system. Journal of Hydrology 209, 297–310.

CIRA. 1997. Informe Interno. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos, Managua, Nicaragua.

CIRA/UNAN. 1992- 2003. Excerpts from published and unpublished data on Lake Nicaragua and San Juan River systems. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos, Managua, Nicaragua.

CIRA. 2004. Informe Final: Estudios Básicos Monitoreo Hidrometeorológico y de la Calidad del Agua en la Cuenca del Río San Juan del Proyecto: Formulación de un Plan Estratégico de Acción para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera del PROCUENCA-SANJUAN, Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos, Managua, Nicaragua.

Conkel, D. 1993 Cichlids of North and Central America. T.F.H. Publications, Inc., USA.

CRESP. 2006. Amchitka Radionuclide Data Set. Note on: Wet to Dry Weight Conversions for Biota from Amchitka and Kiska. Consortium for Risk Evaluation with Stakeholder Participation.

D'Alessandro W. 2006. Human fluorosis related to volcanic activity: a review. Environmental Toxicology 10, 21-30.

Delmelle P. Delfosse T. and Delvaux B., 2003. Sulfate, chloride and fluoride retention in Andosols exposed to volcanic acid emissions. Environmental Pollution 126, 445-457.

ENACAL. 2008. Plan de Desarrollo Institucional 2008-2012: Estrategia Sectorial de Agua Propuesta por ENACAL. Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. Managua.

Filtron. 2011. Cuida tu vida/Cuida tu agua. http://www.filtronnica.com/home.htm (Consulté en octobre 2011).

FAO/WHO. 1972. Sixteenth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, World Health Organization Technical Report Series, No. 505. Food and Agricultural Organization/World Health Organization.FAO Nutrition Meetings Report Series, No. 51.

FAO/WHO. 1970. Toxicological Evaluation of some Extraction Solvents and Certain other Substances. Copper and Cupric Sulphate. FAO Nutrition Meetings; Report Series No. 48A. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Geneva.

FAO/WHO. 1998. Pesticide residues in food, maximum residue limits. Codex Alimentarius. 2nd ed. Vol. 2B. Rome. Food and Agricultural Organization/World Health Organization, Geneva.FAO/WHO. 2002. Human Vitamin and Mineral Requirements. Food and Agricultural Organization/World Health Organization. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok, Thailand.

FAO/WHO. 2003. UN Committee recommends new dietary intake limits for mercury. Experts re-evaluate previous risk assessments in light of new data. 1 July 2003, Rome. Food and Agricultural Organization/World Health Organization.

http://www.fao.org/english/newsroom/news/2003/19783-en.html (Consulté le 8/12/11).

FAO/WHO. 2007. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Meeting (67th: 2006: Rome, Italy). Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Food and Agricultural Organization/World Health Organization. WHO technical report series; no. 940.

Fenoglio, S., Badino, G. Bona, F. 2002. Benthic macroinvertebrate communities as indicators of river environment quality: an experience in Nicaragua. Revista de biología tropical 50, 1125-1131.

Guallar, E., Sanz-Gallardo, M. I., Van'T Veer, P., Bode, P., Aro, A., Gómez-Aracena, J. 2002. Mercury, fish oils, and the risk of myocardial infarction. New England Journal of Medicine, 347, 1747-1754.

González, M. 1998. Exposición al arsenic en comunidades rurales de San Isidro, Matagalpa. Informe de la Organización Panamericana de la Salud – Organización Mundial de la Salud y del Centro de Investigaciones y Estudio de la Salud, Escuela de Salud Pública de Nicaragua.

Hassan, A., Velasquez, E., Belmar, R., Coye, M., Drucker, E., Landrigan, P.J., Michaels, D., Sidel, K.B. 1981. Mercury-poisoning in Nicaragua e a case study of the export of environmental and occupational-health hazards by a multinational corporation. International Journal of Health Services 11, 221-226.

- - fert, S., Szadkowski, D. 2002. Arsenic species excretion after controlled seafood consumption. Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences, 778, 263-273.

Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J. N. Am. Benthol. Soc. 7, 65-68.

Hooker, E., N. Chow-Wong, K. Rivas, R. Erikson, I. Ahlgren, G.Ahlgren. 2001. Primary production and estimation of potential fish yield in Lake Nicaragua, Nicaragua. Verh. int.Ver.Limnol. 27, 3589-3594.

Huang, Y.H., Chang, H.C. 2001. Development of a latex agglutination test for rapid identification of Escherichia coli. European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases 20: 97-103.

Iliopoulou-Georgudaki, J., Kantzaris, V., Katharios, P., Kaspiris, P., Georgiadis, T., Montesantou, B. 2003. An application of different bioindicators for assessing water quality: a case study in the rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece). Ecological Indicators 2, 345-360.

INETER. 2006. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Boletín Hidrogeológico.

INSPQ. (2003). Institut national de santé publique du Québec, Groupe scientifique sur l'eau, http://politiquespubliques.inspq.qc.ca (Consulté le 2/12/2011).

Kabahenda, M.K., Hüsken, S.M.C. 2009. Une étude des produits halieutiques de faible valeur commercialisés dans la région du Lac Victoria. Programme régional pour les pêches et le VIH/SIDA en Afrique : investir dans des solutions durables. Rapport de projet du World Fish Center.

Karita, K., Suzuki, T. 2002. Fish eating and variations in selenium and mercury levels in plasma and erythrocytes in free-living healthy japanese men. Biological Trace Element Research 90, 71-81.

Kljaković Gašpić, Z., Zvonarić, T., Vrgoč, N., Odžak, N., & Barić, A. 2002. Cadmium and lead in selected tissues of two commercially important fish species from the adriatic sea. Water Research 36, 5023-5028.

Lacayo, M., Cruz, A., Lacayo, J., Fomsgaard, I., 1991. Mercury contamination in Lake Xolotla´n (Managua). Hydrobiological Bulletin 25, 173-176.

Magallona, E.D. 1994. Impact of pesticides on tropical ecosystems with emphasis on rice production in the Asian countries. In: Widianarko B, Vink K, Van Straalen NM (eds) Environmental toxicology in South East Asia. VU University Press, Amsterdam, pp. 19–31

Mandal, B.K., Suzuki, K.T. 2002. Arsenic round the world: A review. Talanta, 58, 201-235.

Mandaville, S.M. 2002. Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Halifax, p 128.

Matsumura, F. 1989. Biotic degradation of pollutants. In: Bourdeau P, Haines JA, Klein W, Krishna Murti CR. Eds. Ecotoxicology and climate: with special reference to hot and cold climates. Wiley, Chichester, U.K. pp. 79–89.

McCrary, J.K., Castro, M., McKaye K.R. 2006. Mercury in fish from two Nicaraguan lakes: A recommendation for increased monitoring of fish for international commerce. Environmental Pollution 141, 513-518.

Mendoza, R., Contreras, S. Ramìrez, C. Koleff, P., Àlvarez, P. Aguilar, V. 2007. Los peces diablo: especies invasoras de alto impacto. Biodiversitas 2, 16. ISSN: 1870-1760.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2004. Wastewater engineering: treatment and reuse. McGraw-Hill, New York, NY.

MDDEP, 2011. Règlement sur la qualité de l'eau potable. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/parties-1-2-3.htm#31, (Consulté le 2/12/2011 à 11 h 40).

Murray, J.J. 1986. Appropriate Use of Fluorides for Human Health, World Health Organization, Geneva.

Nations Unies pour le développement. 2010. Rapport sur le développement humain 2010. Nations Unies. National Book Network. USA.

Nriagu, J., Becker, C. 2003. Volcanic emissions of mercury to the atmosphere: global and regional inventories. Science of the Total Environment 304,3e12.

OMS. 1996. Guidelines for drinking-water quality, 2e édition, vol. 2: Health criteria and other supporting information. Organisation mondiale de la santé, Genève.

OMS. 2007. Atteindre l'OMD relatif à l'eau potable et à l'assainissement : Le défi rural et urbain de la décennie. Organisation Mondiale de la Santé, ISBN 978 92 4 256325 2

Payne, A.I., 1986.The Ecology of Tropical Lakes and Rivers. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Peña Torrez E., Montenegro S., Pitty J., Matsuyama A., Yasuda Y. 2009. Contaminación por mercurio en Nicaragua el cas de la empresa Pennwalt. Rev. UC-UNAN-Mgua, 7, 2-5.

Picado Pavón F. J. 2009. Mercurio en el Río Sucio – un reflejo de la actividad minera en Santo Domingo-Chontales, Nicaragua. Rev. UC-UNAN-Mgua, 7, 46-48.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement). 2001. Substances Chimiques : Évaluation mondiale du mercure. Genève, Suisse. 306 p.

Ramírez, A. Pringle, C.M. 1998. Structure and Production of a Benthic Insect Assemblage in a Neotropical Stream Structure and production of a benthic insect assemblage in a neotropical stream. J. N. Am. Benthol. Soc. 17, 443-463.

Roldàn Pérez, G. 1988. Guia para el estudio de los macroinvertebrados acuaticos des Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Antioquia, Columbia.

Rozman, K.K., Klaasen, C.D. 2001. Absorption, distribution, and excretion of toxicants. In: Casarett and Doull's. Toxicology. The Basic Science of Poisons. Sixth Edition. Editor: Klaasen, C.D., McGraw-Hill, Medical Publishing Division, New York. pp.105-225.

Salvatierra Suárez, T.C., Caballero Arbizú, Y. 2006. Calidad del agua del Lago de Nicaragua (Nicaragua) en el área de influencia municipal del sur de la Isla de Ometepe: Un aporte de información científico-técnica para el desarrollo de una estrategia de gestión integral para la cuenca del Gran Lago de Nicaragua''. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua CIRA/UNAN. 74 p.

Sanco, C.E. 2002. Review report for the active substance glyphosate. Finalised in the Standing Commitee on Plant Health at its meeting on 29 June 2001 in view of the inclusion of mecoprop in Annexe I of Directive 91/414/EEC. 6511/VI/99-Final. European Commission Directorate-General Health and Consumer Protection (DG SANCO) - Unit E1 Legislation relating to crop products and animal nutrition.

Schmidt-Kloiber, A., Graf, W., Lorenz, A. Moog, O. 2006. The AQEM/STAR taxalist — a pan-European macro-invertebrate ecological database and taxa inventory. In: The Ecological Status of European Rivers: Evaluation and Intercalibration of

Assessment Methods, Developments in Hydrobiology. Furse, M.T., Hering, D., Brabec, K., Buffagni, A., Sandin, L. Verdonschot, P.F.M. Édited by Springer 188, p 325-342, Netherlands.

Schriener A., Triptrap H. 1997. Prévention des efflorescences en terre cuite par ajout de carbonate de baryum. L'industrie céramique et verrière 931, 800-806.

Stevens, M., Ashbolt, N. and Cunliffe, D. 2003. Recommendations to Change the use of Coliforms as Microbial Indicators of Drinking Water Quality. National Health and Medical Research Council, Australia.

Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., Usseglio-Polatera, F. 2000. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. CNRS Éditions, Paris. 587 p.

Tsai, S.M., Wang, T.N., Ko, Y.C. 1999. Mortality for certain diseases in areas with high levels of arsenic in drinkingwater. Arch.Environ. Health. 54, 186–193.

Tundisi, J.G., Forsberg, B.R., Devol, A.M. Zares, T.M., Tundisi, T.M. Dos Santos, A. Zibeiro, J.S. Ardí, E.R. 1984. Mixing patterns in Amazon lakes. Hidrobiología 108, 3-15.

UCA. 2001. Unión de Cooperativas Agropecuarias UCA Tierra y Agua. http://ucatierrayagua.org (Consulté en octobre 2001).

U.S. National Imagery and Mapping Agency. 1972. Carte topographique du Nicaragua à l'échelle 1:50,000, Feuillet 3051III – Isla Zapatera, Serie E751. Données accessibles à l'adresse : http://www.lib.utexas.edu/maps/topo/nicaragua/ (Dernière consultation le 13 novembre 2011).

U.S. EPA. 1993. Reregistration Eligibility Decision (RED) - Glyphosate. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/old_reds/glyphosate.pdf).

U.S. EPA. 1996a. Method 3660B. Sulfur Cleanup. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. (http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3660b.pdf).

U.S. EPA. 1996b. Method 3540C. Soxhlet Method. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-3540C.pdf).

U.S. EPA. 2001. Mercury Update: Impact on Fish Advisories. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

U.S. EPA. 2005. Reregistration Eligibility Decision (RED) for 2,4-D. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/24d_red.pdf.).

Vammen, K., Pitty, J., Montenegro Guillen, S. 2006. Evaluación del proceso de eutrofización del lago Nicaragua, Nicaragua y sus causas en la cuenca. Eutrofización en América del Sur, Consecuencias y Tecnologías de Gerencia y Control, Instituto Internacional de Ecología, Interacademic Panel on International Issues, 35-58.

Viner, A.B., Smith, I.R. 1973.Geographical, historical and physical aspects of Lake George. Proc.R. Soc. Lond. B184, 235-270.

Whitehead, P.J.P. 1985. FAO Species Catalogue. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (Suborder clupeidae). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. FAO Fish. Synop. 125:1-303.

WHO. 1981. IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 18. Arsenic. World Health Organization, Geneva. http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc018.htm (Consulté le 8/12/11).

WHO. 1994: Glyphosate. Environmental Health Criteria, International Programme on Chemical Safety (IPCS). World Health Organization, Geneva. (http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc159.htm).

WHO. 2006: Guidelines for drinking-water quality, third edition, incorporating first and second addenda. Water Sanitation and Health, World Health Organization, Geneva. SBN 92 4 154696 4 (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en)

Yang, G., Wang, S., Zhou, R. & Sun, S. 1983. Endemic selenium intoxication of Humans in China. Am. J. Clin. Nutr., 37: 872-881.

# 6. Annexe 1 : Caractéristiques du Lac Nicaragua[2]

**Lois et organisations vouées à la conservation du lac**

- Loi 626
- Article 97 de la loi 620, loi générale des eaux nationales approuvée en 2007.
- Politique nationale sur les ressources hydriques (officialisée en 2001).
- Centre de recherche sur les ressources aquatiques du Nicaragua (CIRA-UNAN).
- Association des Municipalités du Nicaragua (AMUNIC).
- Commission de développement durable du bassin versant du lac Nicaragua et de la rivière San Juan.
- Comités de développement municipal de San Jorge, Moyogalpa et Altagracia.
- Réseau national des organismes de bassin versant (RENOC).

**Informations générales**

[2]L'information présentée dans ce document à été tirée et traduite de la publication suivante : Thelma Salvatierra Suárez, Yader Caballero Arbizú (2006). ''Calidad del agua del Lago de Nicaragua (Cocibolca) en el área de influencia municipal del sur de la Isla de Ometepe: Un aporte de información científico-técnica para el desarrollo de una estrategia de gestión integral para la cuenca del Gran Lago de Nicaragua''. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua CIRA/UNAN. 74 p.

Traduction de Danaé Pitre

- Le lac Nicaragua fait partie du bassin versant N° 69, tout comme le lac Xolotlán (Managua) et la rivière San Juan.
- Le bassin versant possède une superficie de 41 600 $km^2$ dont 29 000 $km^2$ se retrouvent au Nicaragua et 12 600 $km^2$ au Costa Rica.
- On y effectue la culture du riz, de la canne à sucre, des bananes, etc.
- On fait aussi de l'aquaculture intensive du Tilapia.

**Sources de contamination du lac**

- Réception de sédiments due à la déforestation et l'érosion des sols.
- Réception souterraine et superficielle des eaux contaminées du lac Xolotlán.
- Réception de résidus chimiques agricoles, tels que fertilisants et pesticides.
- Réception de déchets résultant de l'élevage intensif de type bovin, avicole et porcin.
- Réception de déchets résultant de l'aquaculture (Tilapia).
- Réception d'eaux usées non traitées et d'autres déchets industriels et urbains.
- Impact d'un tourisme intensif et non contrôlé.

**Caractéristiques biologiques**

**Phytoplancton**

- Indice de la productivité primaire.
- **Diversité du phytoplancton** : 106 espèces, 39 *Bacillariophyta*, 38 *Chlorophyta*, 15 *Euglenophyta*, 13 *Cyanophyta* et 1 *Dinophyta*.
- **Espèces dominantes** : *Closterium acutum, Oocystis sp., Coelastrum microporum* (Chlorophyta); *Cyclotella sp., Aulacoseira granulata, Synedra cunningtonii* (Bacillariophyta); *Lyngbya contorta, Microcystis pseudofilamentosa, Microcystis aeruginosa, Coelosphaerium*

*Kuetzigianum* (Cyanophyta); *Trachelomonas volvocina* (Euglenophyta) y *Peridinium sp.* (Dinophyta).

- **Abondance du phytoplancton** : 78 % à 98 % de *Cianophyta* avec une majorité de 75 % de *Cylindrospermopsis raciborskii* en poids humide ou de 76 % *Microcystis aeruginosa* en nombre.

- **Chlorophyl-a** : 8,17 à 58,67 µg/L.

**Zooplancton**

- Indice de la productivité secondaire.

- **Diversité du zooplancton :** 10 rotifères, 4 cladocères et 4 quatre copépodes totalisant 18 espèces.

- **Espèces dominantes :** *Diaphanosoma fluviatille* (*Cladocera*)*, Mesocyclops edax,Termocyclops inversus, Arctodiaptomus dorsalis* (*Copepoda*) et *Brachionus patulus* (*Rotifera*).

- **Abondance du zooplancton** : 723 061 ind.m-3 (82 %) de copépodes, 138 994 ind.m-3 (16 %) de rotifères et 22 563 ind.m-3 (3 %) de cladocères totalisant une densité de 884 618 ind.m-3.

**Macrozoobenthos**

- Indice biologique de la qualité de l'eau.

- **Diversité du macrozoobenthos :** 16 arthropodes, 2 anélides, 1 nématode et 1 mollusque totalisant 21 espèces.

- **Espèces dominantes** : *Coelotanypus sp.* et *Chaoborus sp.* (Ordre *Diptera*), *Limnodrilus sp* (anélide).

- **Abondance du macrozoobenthos :** sur une densité totale de 7 760 ind.m-2, 1 442 ind.m-2 (19 %) sont des nématodes et 5 591 ind.m-2 (72 %) sont des arthropodes. Sur les 72 % d'arthropodes, 5 157 ind.m-2 (66 %) sont des chironomides.

**Bactéries**

- Indice de la qualité de l'eau, particulièrement de contamination d'origine fécale.
- ***Escherichia coli* :** < 2 à 1 100 bactéries par 100 ml.
- Guide canadien de la qualité de l'eau : limite de 200 bactéries *E. coli* par 100 ml pour des usages récréatifs.
- **Streptocoques fécaux :** < 2 à 500 NMP par 100 ml.
- **Bactéries entéropathogènes :** présence occasionnelle de *Salmonella spp.*
- **Bactéries saprophytes :** 245 à 123 000 bactéries par 100 ml.

**Caractéristiques physico-chimiques**

**Variables physiques**

- **Transparence** de 0,50 à 0,87 m avec une moyenne de 0,68 m (faible transparence).
- **Température** moyenne de 27,8 à 28,7 °C.
- **pH** entre 7,23 et 8,50.
- **Turbidité** variant de 7,0 à 24,4.
- **La conductivité** varie entre 194,7 et 211 µS/cm et elle est dépendante de la concentration totale en solides dissous et des ions majeurs.
- **Coloration** de l'eau variant de 10 à 15 unités de Pt-Co.

**Variables chimiques**

- La **dureté** varie de 50,49 à 57,92 mg/L, valeurs se trouvant en dessous de la valeur recommandée par CAPRE (400-500 mg/L).
- Les concentrations en $Ca^{2+}$ et en $Mg^{2+}$ sont faibles (< 60 mg/L).
- **L'alcalinité** varie entre 61 et 66 mg/L.
- **Cations majeurs – Potassium :** La concentration maximale en potassium est de 12,92 mg/L, ce qui correspond aux normales pour les eaux naturelles qui varient entre 10-15 mg/L.

- **Cations majeurs – Sodium :** En général, les eaux naturelles possèdent moins de sodium que de potassium. Par contre, dans le lac Nicaragua, il y a plus de sodium que de potassium. On observe des concentrations de sodium variant de 15,60 à 17,00 mg/L.
- **Cations majeurs – Calcium :** Le calcium présente des concentrations normales qui varient de 11,11 à 83,33 mg/L.
- **Cations majeurs – Magnésium :** Le magnésium présente des concentrations allant de 5,29 à 24,66 mg/L. Ces valeurs sont inférieures à la valeur recommandée par CAPRE qui est de 50 mg/L.
- **Anions majeurs ($CO_3$, $HCO_3$, $SO_4$, Cl) :** Toutes les concentrations mesurées sont inférieures aux valeurs recommandées par CAPRE. Le bicarbonate est l'anion le plus concentré avec des concentrations allant de 73,22 à 360,63 mg/L. Ceci cadre tout de même bien avec les normales qui se situent entre 50 et 350 mg/L pour les eaux naturelles.
- **Cation mineur – Bore :** Les concentrations mesurées de bore varient entre 0,20 mg/L et 0,61 mg/L. Ces valeurs respectent donc la norme canadienne de qualité de l'eau pour l'irrigation (0,5 - 6 mg/L), mais sont légèrement supérieures à la limite établie pour la consommation de l'eau (0,30 mg/L).
- **Cation mineur – Fer :** Les concentrations mesurées de bore varient entre 0,18 et 1,01 mg/L. Elles sont donc parfois supérieures à la valeur recommandée par CAPRE et OMS qui est de 0,30 mg/L.
- **Anions mineur – Fluor :** Les concentrations en fluor se trouvent en dessous de la valeur recommandée par CAPRE et l'OMS de 1,5 mg/L. Les concentrations mesurées varient entre 0,06 et 0,37 mg/L, ce qui n'est pas suffisant pour entraîner une réponse toxique au niveau du milieu aquatique.
- **Type hydrochimique :** Prédominance du type bicarbonatée sodique-calcique (HCO3-Na-Ca).
- **Phosphore :** Les concentrations de phosphore total varient de 26 à 90 µg/L. Les concentrations de phosphore dans les eaux non contaminées varient de 10 à 50 µg/L. Lorsque les concentrations en phosphore total sont supérieures à 30 ug/L, le lac est qualifié d'eutrophe. De plus, la concentration en ortophosphate, seule forme pouvant être assimilée par le phytoplancton, est négligeable.
- **Azote inorganique :** Les concentrations en azote varient de 815 à 1 356 µg/L, ce qui correspond également à des conditions eutrophes à hypereutrophes. Les nitrates (NO3),

les nitrites (NO2) et l'ammonium (NH4) sont présents en concentrations négligeables, possiblement en résultat à l'assimilation par le phytoplancton.

- **Silice :** Les concentrations en silice varient de 15,70 à 67,93 mg/L, ce qui est amplement supérieur à la concentration minimale requise (0,5 mg/L) pour les diatomés.
- **Oxygène dissous :** Les profils sont variables d'un endroit à l'autre et ils peuvent être consultés à la figure 3-3. En général, le niveau d'oxygène dissous est relativement bas, mais la nature saumâtre du lac et le mélange continuel permettent de maintenir un niveau acceptable pour la vie aquatique. La température relativement élevée peut également entraîner une diminution des concentrations en oxygène dissous.
- **Matière organique (COD) :** Les concentrations en carbone organique dissous varient entre 3,63 et 6,52 mg/L.
- **Demande biologique en oxygène (DBO) :** Quantité d'oxygène nécessaire pour éliminer la matière organique présente dans le milieu aquatique. Dans le lac, elle varie entre 3,11 et 7,22 mg/L. Cette valeur doit être inférieure à 8 mg/L.
- **Demande chimique en oxygène (DCO) :** Quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder complètement la matière organique. Dans le lac, la DCO varie entre 8,00 et 70,80 mg/L. Dans les eaux non contaminées, les valeurs de DCO varient de 1 à 5 mg/L et peuvent être acceptées jusqu'à 15 mg/L. Puisque la DCO est supérieure à la DBO, une grande partie de la matière organique présente ne sera pas facilement biodégradée.

**Contaminants organiques**

- **Pesticides organochlorés :** Parmi les 15 pesticides analysés dans l'eau, un seul a été trouvé sur quatre des 11 sites; c'est le Dieldrin. La concentration la plus élevée mesurée était 7,29 ng/L, ce qui est supérieur à la limite de 1 ng/L proposée par les Water Quality Standards des États-Unis en 1991. Le Dieldrin est très persistant, mais heureusement ce pesticide est interdit au Nicaragua depuis 1988. Dans les sédiments, plusieurs pesticides ont été détectés tels que le Lindane, l'Heptachlore, l'Alphaendosulfan, le Dieldrin, le pp-DDE et le pp-DDT. Les pesticides les plus fréquemment détectés étaient le Lindane (0,45 à 1,51 µg/kg) et le pp-DDE (0,13 à 1,05 µg/kg). À l'exception du Lindane, les concentrations mesurées dans les sédiments sont en dessous des valeurs admissibles selon les normes canadiennes.

- **Pesticides organophosphorés :** Parmi les pesticides analysés (c.-à-d. Moncap, Naled, Terbufos, Diazinon, Metil-Paration, Malation, Fention, Etil-Paration, DEF, Etion, Gution, Zolone et Co-Ral), aucun n'a été détecté dans l'eau.
- **Carbamates :** Parmi les composés analysés (Aldicarb, Aldicarb Sulfon, Metomil, Carbofuran et Carbaryl) trois composés ont été détectés (Aldicarb, Carbofuran et Carbaryl) avec des concentrations variant entre 15,21 et 720,69 µg/L. Les concentrations d'Aldicarb et de Carbofuran étaient supérieures à la valeur maximale admissible pour la consommation de l'eau (10 ug/L) proposée par CAPRE et pour la conservation de la vie aquatique (1 et 1,8 ug/L respectivement) selon les normes canadiennes.
- **Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :** Parmi les 12 hydrocarbures analysés, des résidus d'acétylène (< 0,047-0,723 ug/L), de naphtalène (< 0,050-0,575 ug/L), d'acénaphtène (< 0,044-0,064 ug/L), de phénanthrène (< 0,015-0,248 ug/L), de fluoranthène (< 0,046-0,432 ug/L), de pyrène (< 0,016-1,038 ug/L) et de chrysène (< 0,022-0,067 ug/L) on été détectés. Le naphtalène et le phénanthrène ont été les plus fréquemment détectés.

# 7. Annexe 2 : Questionnaire aux familles

1) Statistiques familiales

- Combien de personnes vivent dans la communauté?
- Quel est leur âge? Combien de femmes et d'hommes?
- Quelles sont les principales activités économiques?

2) Usages de l'eau

- Quels sont les usages pour lesquels vous avez besoin d'eau?
- Pour chacun des usages, d'où provient l'eau utilisée?
- Est-ce que vous appliquez un traitement? Si oui, lequel?
- Utilisez-vous de l'eau achetée parfois? Si oui, pour quelles raisons?
- Avez-vous un filtre? Si oui, de quel type?
- À quelle fréquence le lavez/changez-vous? Et comment le lavez-vous?

3) Historique de l'usage de l'eau

- Depuis quand avez-vous les filtres?
- Que faisiez-vous avant d'avoir les filtres?
- Avez-vous noté une différence dans la qualité de l'eau depuis que vous la filtrez? Couleur, odeur, saveur?
- Cela a-t-il eu des conséquences sur votre santé?
- Pourquoi avez-vous décidé d'utiliser les filtres?

4) Qualité de l'eau

- La qualité de l'eau du lac change-t-elle durant l'année? Cela a-t-il un impact sur votre santé?

5) Historique de la qualité de l'eau

- Depuis combien de temps habitez-vous Charco Muerto?
- Avez-vous noté une différence dans la qualité de l'eau durant toutes ces années?
- Est-ce que le niveau d'eau du lac a changé?
- Avez-vous noté des différences dans le nombre de tempêtes, d'averses (quantité, intensité)?

6) Alimentation

- Quels sont les aliments de base? Quels sont les aliments que vous mangez plus occasionnellement?
- De ces aliments, lesquels produisez-vous et sinon, où vous les procurez-vous?
- Combien de fois à la semaine mangez-vous du poisson? Quelles sont les espèces les plus consommées?
- Est-ce que vous consommez les viscères? La tête?
- Est-ce que toute la famille mange du poisson?

7) Pêche

- Quand pêchez-vous? Toute l'année?
- Où pêchez-vous? Près de la côte ou au large?
- Savez-vous ce que mangent les poissons que vous pêchez?
- Où vivent ces poissons? Où se retrouvent-ils dans la colonne d'eau?

8) Historique de la pêche

- Est-ce que vous croyez que la quantité de poisson est la même depuis que vous habitez Charco Muerto?
- Est-ce que ce sont les mêmes types de poisson que vous pêchez?
- Avez-vous notez la disparition ou diminution d'espèces? Apparition d'espèces?

9) Agriculture

- Quels types de cultures faites-vous?
- Utilisez-vous des herbicides, pesticides, fongicides, engrais? Si oui, lesquels?
- Avez-vous besoin d'arroser vos cultures?

10) Historique de l'agriculture

- Que cultiviez-vous avant?
- Les mêmes choses qu'aujourd'hui?
- Cultivez-vous plus qu'avant (en quantité ou superficie de terres agricoles)?
- Quels sont les produits que vous utilisiez?
- Jusqu'où va l'eau qui coule des champs après la pluie?

11) Animaux

- Que mangent-ils? Où boivent-ils?
- Récoltez-vous leurs fèces pour en faire de l'engrais?

12) Eaux usées

- Que faites avec l'eau que vous utilisez pour laver la vaisselle, les vêtements et celle utilisée pour votre hygiène personnelle?

- Avez-vous des toilettes? Comment les entretenez-vous?

13) Déchets

- Séparez-vous les déchets? Si oui, de quelle façon et qu'en faites-vous ensuite?

14) Présence

- Pourquoi êtes-vous intéressés par le thème de l'eau?

- Quelles sont vos attentes face à ce projet?

# 8. Annexe 3 : Résultats des analyses faites par le CIRA pour la contamination organique

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**

***Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua***

Hospital Monte España 300 metros al lago. Telefonos (505) 278 6981, 278 6767, 278 6982

Telefax (505) 267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni

Resultados Analíticos de Microbiología

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | Agua Natural |
| FUENTE | Lago |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Lago Sur |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Sur, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | 11°47'945" 085°53'356" |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-12 |
| HORA DE MUESTREO | 08 h 45 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | MB-595 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-12 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-18 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades | Valor Recomendado [2] CAPRE | Valor Guía [3] OPS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COLIFORMES TOTALES | 9221 B[1] | < 1.8 | 7.90E+02 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES | 9221 E[1] | < 1.8 | 4.90E+01 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| *Escherichia coli* | 9221 F[1] | < 1.8 | 3.30E+01 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| ENTEROCOCOS | 9230 B[1] | < 1.8 | 7.90E+01 | NMP/100 ml | No hay referencia | No hay referencia |

Datos de Campo:
pH: 7,17 Unidades de pH
Conductividad: 320μS.cm⁻¹
Temperatura: 30,7 °C

Lic. [illegible]
Especialista - Analista

Lic. Carmen [illegible]
Jefe Lab. Microbiología

Observaciones:
Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:
NMP/100 ml: Número más Probable en cien mililitros de muestra analizada

Referencias:
[1] American Public Health Association (APHA). [illegible] Methods for the Examination of Water and Wastewater. [illegible]
[2] Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). [illegible] Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano. Costa Rica: CAPRE.
[3] Organización Panamericana de la Salud (OPS). [illegible] 2ª Ed. Ginebra. OPS.

Página 1 de 1

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago. Teléfonos (505) 2278 6961, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan-edu.ni

### Resultados Analíticos de Microbiología

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA NUESTRA | Agua Natural |
| FUENTE | Manantial |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Fuente Agria |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Manantial cabecera rio manares, Aguas Agrias |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | No reportadas |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-15 |
| HORA DE MUESTREO | 06 h 15 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | MB-600 |
| FECHA DE RECEPCION | 2011-08-15 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-15 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-22 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades | Valor Recomendado [2] CAPRE | Valor Guía [3] OPS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COLIFORMES TOTALES | 9221 B[1] | < 1.8 | 1.10E+02 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES | 9221 E[1] | < 1.8 | 1.70E+01 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| *Escherichia coli* | 9221 F[1] | < 1.8 | 2.00E+00 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| ENTEROCOCOS | 9230 B[1] | < 1.8 | < 1.8 | NMP/100 ml | No hay referencia | No hay referencia |

Lic. Arsenia Zelaya Noguera
Especialista - Analista

Lic. Carmen Chacón Mayorga
Jefe Lab. Microbiología

**Observaciones:**

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

**Clave:**

NMP/100 ml: Numero más Probable en cien mililitros de muestra analizada.

**Referencias:**

[1] American Public Health Association (APHA). (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Ed. Washington: APHA.

[2] Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). (1993). Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano Costa Rica: CAPRE.

[3] Organización Panamericana de la Salud (OPS). (1988) *Guías para la Calidad del Agua Potable*. 2ª Ed. Ginebra: OPS.

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**
***Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua***
Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan-edu.ni

## Resultados Analíticos de Microbiología

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | Agua Natural |
| FUENTE | Grifo |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Grifo |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Bldón Reserva de una casa, Aguas Agrias |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | No reportadas |
| COORDENADAS | No reportadas |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-15 |
| HORA DE MUESTREO | 07 h 00 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | NB-601 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-15 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-15 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-22 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades | Valor Recomendado [1] CAPRE | Valor Guia [1] OPS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COLIFORMES TOTALES | 9221 B[1] | < 1.8 | 2.30E+02 | NMP/100 ml | Negative | 0 |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES | 9221 E[1] | < 1.8 | 1.30E+02 | NMP/100 ml | Negative | 0 |
| *Escherichia coli* | 9221 F[1] | < 1.8 | 1.30E+02 | NMP/100 ml | Negative | 0 |
| ENTEROCOCOS | 9230 B[1] | < 1.8 | < 1.8 | NMP/100 ml | No hay referencia | No hay referencia |

Lic. Argentina Zeleya Noguera
Especialista - Analista

Lic. Carmen [illegible] Arteaga
Jefe Lab. Microbiología

**Observaciones:**
Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:
NMP/100 ml: Número más Probable en cien mililitros de muestra analizada

Referencias:

[1] American Public Health Association (APHA). (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Ed. Washington: APHA

[2] Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). (1993). Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano. Costa Rica: CAPRE

[3] Organización Panamericana de la Salud (OPS). (1998) Guías para la Calidad del Agua Potable. 2ª Ed. Ginebra: OPS

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 278 6981, 278 6767 ,278 6982
Telefax (505) 267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni

### Resultados Analíticos de Microbiología

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | Agua Natural |
| FUENTE | Manantial |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Fuente Blanca |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Buena Vista |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | 11°49'156" 85°56'329" |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-12 |
| HORA DE MUESTREO | 09 h 16 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | MB-596 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-12 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-18 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades | Valor Recomendado [1]CAPRE | Valor Guía [2]OPS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COLIFORMES TOTALES | 9221 B[3] | < 1.8 | 7.90E+02 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES | 9221 E[3] | < 1.8 | 4.00E+00 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| Escherichia coli | 9221 F[3] | < 1.8 | < 1.8 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| ENTEROCOCOS | 9230 B[3] | < 1.8 | 6.80E+00 | NMP/100 ml | No hay referencia | No hay referencia |

Datos de Campo:
pH: 7,36 Unidades de pH
Conductividad: 197,3µS.cm[-1]

Lic. María Luisa Talavera López
Especialista - Analista

Lic. Claudia Chavarría Mayorga
Jefe Lab. Microbiología

Observaciones:
Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:
NMP/100 ml: Número más Probable en cien mililitros de muestra analizada

Referencias:

[1] American Public Health Association (APHA). (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Ed. Washington: APHA.

[2] Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). (1998). Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano. Costa Rica: CAPRE.

[3] Organización Panamericana de la Salud (OPS). (1988) Guías para la Calidad del Agua Potable. 2ª Ed. Ginebra: OPS.

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 278 6981, 278 6767 ,278 6982
Telefax (505) 267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cirs-unan-edu.ni

### Resultados Analíticos de Microbiología

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | Agua Natural |
| FUENTE | Lago |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Lago Norte |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Norte, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | 11°48'007" 85°53'312" |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-12 |
| HORA DE MUESTREO | 09 h 35 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | MB-597 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-12 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-18 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades | Valor Recomendado [2]CAPRE | Valor Guía [3]OPS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COLIFORMES TOTALES | 9221 B[1] | < 1.8 | 1.30E+02 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES | 9221 E[1] | < 1.8 | 7.80E+00 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| *Escherichia coli* | 9221 F[1] | < 1.8 | < 1.8 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| ENTEROCOCOS | 9230 B[1] | < 1.8 | 4.50E+00 | NMP/100 ml | No hay referencia | No hay referencia |

Datos de Campo:
pH: 7,79 Unidades de pH
Conductividad: 225µS.cm[-1]

Lic. [illegible] Talavera López
Especialista - Análisis

Lic. Carmen Chavarría Rayo
Jefe Lab. Microbiología

Observaciones:
Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:
NMP/100 ml: Número más Probable en cien mililitros de muestra analizada

Referencias:

[1] American Public Health Association (APHA). (2005).Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Ed. Washington: APHA

[2] Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). (1993). Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano Costa Rica. CAPRE

[3] Organización Panamericana de la Salud (OPS). (1998).Normas para la Calidad del Agua Potable. 2da. ed. Ginebra. OPS

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 278 6981, 278 6767 ,278 6982
Telefax (505) 267-8169, apartado postal 4595, correo: ventas.servicios@cira-unan-edu.ni

### Resultados Analíticos de Microbiología

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | Agua Natural |
| FUENTE | Lago |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Lago Norte - Filtro Arena |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Norte, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | 11°48'03" 85°53'31Z" |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-12 |
| HORA DE MUESTREO | 09 h 45 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | MB-898 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-12 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-18 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades | Valor Recomendado [1] CAPRE | Valor Guía [1] OPS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COLIFORMES TOTALES | 9221 B[1] | < 1.8 | 1.60E+05 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES | 9221 E[1] | < 1.8 | 1.60E+05 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| *Escherichia coli* | 9221 F[1] | < 1.8 | 2.30E+03 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| ENTEROCOCOS | 9230 B[1] | < 1.8 | 2.30E+02 | NMP/100 ml | No hay referencia | No hay referencia |

Datos de Campo:
pH: 7,84 Unidades de pH
Conductividad: 237µS.cm$^{-1}$

Lic. María Luisa Talavera López
Especialista - Analista

Lic. Carmen Chavez Mayorga
Jefe Lab. Microbiología

Observaciones:
Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:
NMP/100 ml: Número más Probable en cien mililitros de muestra analizada

Referencias:

[1] American Public Health Association (APHA). (2005).*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Ed. Washington: APHA.

[2] Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). (1993). Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano. Costa Rica: CAPRE

[3] Organización Panamericana de la Salud (OPS). (1998).*Guías para la Calidad del Agua Potable*. 2da Ed. Geneva: OPS

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 278 6981, 278 6767 ,278 6982
Telefax (505) 267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan-edu.ni


CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

**Resultados Analíticos de Microbiología**

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | Agua Natural |
| FUENTE | Lago |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Lago Norte - Filtro Cerámica |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Norte, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | 11°48'007" 85°53'312" |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-12 |
| HORA DE MUESTREO | 09 h 50 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | MB-599 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-12 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-18 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades | Valor Recomendado [2] CAPRE | Valor Guía [3] OPS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COLIFORMES TOTALES | 9221 B[1] | < 1.8 | 7.90E+02 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES | 9221 E[1] | < 1.8 | 7.90E+02 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| *Escherichia coli* | 9221 F[1] | < 1.8 | 4.50E+00 | NMP/100 ml | Negativo | 0 |
| ENTEROCOCOS | 9230 B[1] | < 1.8 | 1.10E+01 | NMP/100 ml | No hay referencia | No hay referencia |

Datos de Campo:
pH: 7,50 Unidades de pH
Conductividad: 229µS.cm⁻¹

Lic. María Luisa Taravera López
Especialista - Analista

Lic. Carmen Chacón Zúñiga
Jefe Lab. Microbiología

Observaciones:
Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:
NMP/100 ml: Número más Probable en cien mililitros de muestra analizada

Referencias:


[1] American Public Health Association (APHA). (2005)Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Ed. Washington. APHA.

[2] Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). (1993). Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano Costa Rica. CAPRE

[3] Organización Panamericana de la Salud (OPS). (1998)Guías para la Calidad del Agua Potable. 2ª Ed. Ginebra. OPS

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**

***Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua***

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, Apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni

## Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | AGUA NATURAL |
| FUENTE | Lago |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Lago Sur |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Sur, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | 11°47'945" N; 85°53'395" OE |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-12 |
| HORA DE MUESTREO | 08 h 45 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | CO-253 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-15 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-29 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| ALFA-HCH | PNUMA, PAC 2008[1] | 0,23 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| BETA-HCH | | 0,21 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| DELTA-HCH | | 0,08 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| GAMMA-HCH (LINDANO) | | 0,22 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| pp-DDE | | 0,15 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| pp-DDD | | 0,09 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| pp-DDT | | 0,14 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| HEPTACLORO | | 0,21 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| HEPTACLORO-EPÓXIDO | | 0,24 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| ALDRÍN | | 0,23 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| DIELDRÍN | | 0,26 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| ENDRÍN | | 0,25 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN I | | 0,26 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN II | | 0,21 | nd | ng.l$^{-1}$ |

Clave:
ld Límite de detección
<ld Valor por debajo del límite de detección
nd Analizado, pero no detectado

Datos de campo
pH: 7,17 Unidades de pH
Temperatura: 30,7 °C
Conductividad eléctrica: 230 µS cm$^{-1}$

Ing. Claudia Gutiérrez L.
Especialista - Analista

MSc. Jorge Cuadra Leal
Jefe Lab. Contaminantes Orgánicos

Referencias:
[1] PNUMA. Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelo, sedimentos y biota). Manual del Programa de Monitoreo. Centro del Proyecto GEF-REPCar PNUMA Programa Ambiental del Caribe Kingston, 2008

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago, Telefonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, Apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni

### Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | AGUA NATURAL |
| FUENTE | Lago |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Lago Sur Filtrada |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Sur, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | 11°42'845" N; 85°53'395" OE |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-12 |
| HORA DE MUESTREO | 08 h 55 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | CC-254 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-15 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-29 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| ALFA-HCH | PNUMA, PAC 2000[1] | 0,23 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| BETA-HCH | | 0,21 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| DELTA-HCH | | 0,08 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| GAMMA-HCH (LINDANO) | | 0,22 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| pp-DDE | | 0,15 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| pp-DDD | | 0,09 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| pp-DDT | | 0,14 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| HEPTACLORO | | 0,21 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| HEPTACLORO-EPÓXIDO | | 0,24 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| ALDRÍN | | 0,23 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| DIELDRÍN | | 0,26 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| ENDRÍN | | 0,25 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN I | | 0,26 | nd | ng.l$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN II | | 0,21 | nd | ng.l$^{-1}$ |

Clave:
lc: Límite de detección
<lc: Valor por debajo del límite de detección
nd: Analizado, pero no detectado

Datos de campo
pH: 7,07 Unidades de pH
Conductividad eléctrica: 262 uS.cm$^{-1}$

Ing. Claudia González L.
Especialista - Analista

MSc. Jorge Cuadra Leal
Jefe Lab. Contaminantes Orgánicos

Referencias:

[1] PNUMA. Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelo, biota, sedimentos y lodos). Manual del Programa de Monitoreo. Sistema de Proyecto GEF-PNUMA-OPS/Cer. PNUMA-Programa ambiental del Caribe. Kingston, 2006.

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, Apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni


### Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | PECES |
| FUENTE | Agua dulce |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Sabalete - músculo |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Cocibolca, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | No reportadas |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-11 |
| HORA DE MUESTREO | 06 h 00 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | CO-258 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-16 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-29 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| ALFA-HCH | CIRA / UNAN 2010* | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| BETA-HCH | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| DELTA-HCH | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| GAMMA-HCH (LINDANO) | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDE | | 1,00 | <ld | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDD | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDT | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| HEPTACLORO | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| HEPTACLORO-EPÓXIDO | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ALDRÍN | | 20,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| DIELDRÍN | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDRÍN | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN I | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN II | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |

Clave:

ld: Límite de detección

<ld: Valor por debajo del límite de detección

nd: Analizado, pero no detectado

Referencias:

* Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Contaminantes Orgánicos, PON - CO - 14

Ing. Claudia González L.
Especialista - Analista

MSc. Jorge Cuadra Leal
Jefe Lab. Contaminantes Orgánicos

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**
***Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua***
Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, Apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni

## Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | PECES |
| FUENTE | Agua dulce |
| IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Sabaleta - Nigado |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Laga Cocibolca, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | No reportadas |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-11 |
| HORA DE MUESTREO | 06 h 00 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | CO-256 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-16 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-29 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| ALFA-HCH | CIRA / UNAN 2010[1] | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| BETA-HCH | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| DELTA-HCH | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| GAMMA-HCH (LINDANO) | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDE | | 1,00 | <ld | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDD | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDT | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| HEPTACLORO | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| HEPTACLORO EPÓXIDO | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ALDRÍN | | 20,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| DIELDRÍN | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDRÍN | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN I | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN II | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |

Clave:
ld: Límite de detección
<ld: Valor por debajo del límite de detección
nd: Analizado, pero no detectado

Referencias:
[1] Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Contaminantes Orgánicos, POE - CO - 14

Ing. Claudia González L.
Especialista - Analista

MSc. Jorge Cuadra Leal
Jefe Lab. Contaminantes Orgánicos

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**
***Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua***
Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, Apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira.unan.edu.ni

## Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | PECES |
| FUENTE | Agua dulce |
| IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Mojarra negra - masculo |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Cocibolca, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | No reportadas |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-11 |
| HORA DE MUESTREO | 08 h 00 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | CO-257 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-16 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-29 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| ALFA-HCH | CIRA / UNAN 2010[1] | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| BETA-HCH | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| DELTA-HCH | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| GAMMA-HCH (LINDANO) | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDE | | 1,00 | <ld | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDD | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDT | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| HEPTACLORO | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| HEPTACLORO-EPÓXICO | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ALDRÍN | | 20,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| DIELDRÍN | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDRÍN | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN I | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN II | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |

Clave:

ld: Límite de detección

<ld: Valor por debajo del límite de detección

nd: Analizado, pero no detectado

Referencias:

[1] Validación Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Contaminantes Orgánicos, PON - CO - 14

Ing. Claudia González L.
Especialista - Analista

MSc. Jorge Cuadra Leal
Jefe Lab. Contaminantes Orgánicos

Página 1 de 1

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, Apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni


### Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | PECES |
| FUENTE | Agua dulce |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Mojarra negra y blanca - músculo |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Cocibolca, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | No reportadas |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-11 |
| HORA DE MUESTREO | 06 h 00 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | CO-258 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-16 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-29 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| ALFA-HCH | CIRA / UNAN 2010[1] | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| BETA-HCH | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| DELTA-HCH | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| GAMMA-HCH (LINDANO) | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| pp-DDE | | 1,00 | <ld | $\mu g.kg^{-1}$ |
| pp-DDD | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| pp-DDT | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| HEPTACLORO | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| HEPTACLORO-EPÓXIDO | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| ALDRÍN | | 20,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| DIELDRÍN | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| ENDRÍN | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| ENDOSULFAN I | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |
| ENDOSULFAN II | | 1,00 | nd | $\mu g.kg^{-1}$ |

Clave:

ld: Límite de detección

<ld: Valor por debajo del límite de detección

nd: Analizado, pero no detectado

Referencias:

[1] Manual de Procedimientos Controles Nº [illegible] de Laboratorio de Contaminantes Orgánicos. PON - CO - [illegible]

Ing. Claudia González L.
Especialista - Analista

MSc. Jorge Cuadra Leal
Jefe Lab. Contaminantes Orgánicos

# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

## *Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua*

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, Apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni


### Resultados Analíticos de Plaguicidas Organoclorados

CLIENTE

EAU NICARAGUA PROJECT

| | |
|---|---|
| MATRIZ DE LA MUESTRA | PECES |
| FUENTE | Agua dulce |
| IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE | Massamechi - músculo |
| LUGAR Y/O COMUNIDAD | Lago Cocibolca, Charco Muerto |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Nandaime, Granada |
| COORDENADAS | No reportadas |
| FECHA DE MUESTREO | 2011-08-11 |
| HORA DE MUESTREO | 06 h 00 |
| CÓDIGO DEL LABORATORIO | CO-259 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2011-08-12 |
| FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS | 2011-08-16 |
| FECHA DEL REPORTE | 2011-08-29 |

| Parámetros | Método | Límite de Detección | Resultados | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| ALFA-HCH | CIRA / UNAN 2010* | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| BETA-HCH | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| DELTA-HCH | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| GAMMA-HCH (LINDANO) | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDE | | 1,00 | <ld | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDD | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| pp-DDT | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| HEPTACLORO | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| HEPTACLORO-EPÓXIDO | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ALDRÍN | | 20,00 | <ld | µg.kg$^{-1}$ |
| DIELDRÍN | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDRÍN | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN I | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |
| ENDOSULFAN II | | 1,00 | nd | µg.kg$^{-1}$ |

Clave:

ld: Límite de detección
<ld: Valor por debajo del límite de detección
nd: Analizado, pero no detectado

Referencias:

Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Contaminantes Orgánicos. POS - CO - 4

Ing. Claudia González L.
Especialista - Analista

MSc. Jorge Cuadra Leal
Jefe Lab. Contaminantes Orgánicos