



TEMA 10

CAMBIO CLIMÁTICO

ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GEE DEVIDO AO TRANSPORTE DE RESÍDUOS EM ESTACOES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO E EMISSÁRIO SUBMARINO NA CIDADE DE SALVADOR-BAHIA-BRAZIL

AN ESTIMATE OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS DUE TO THE TRANSPORTATION OF WASTE FROM SEWAGE PUMPING STATIONS AND SUBMARINE OUTFALLS IN THE CITY OF SALVADOR, BAHIA, BRAZIL

Jamile Oliveira Santos ^{1*}

José Célio Silveira Andrade ²

Márcia Mara de Oliveira Marinho ³

Adalberto Noyola Robles ⁴

Leonor Patricia Guereca ⁴

Abstract

The transport sector is currently the second largest source of greenhouse gas (GHG) emissions in Brazil, second only to changes in land use. The operation of pumping stations for sewage systems generates a significant amount of waste and requires transportation services for its adequate disposal. Therefore, it is important to assess the GHG emissions by operating organizations involved with this activity. Knowledge of these emissions allows a sanitation company to evaluate the logistics involved in transportation and implement improvements, with a view towards low-carbon operations. Thus, this paper estimates the GHG emissions resulting from transporting waste produced at pumping stations, submarine outfall pre-treatment plants and preliminary treatment at wastewater treatment plants in the city of Salvador, Bahia, Brazil, operated by Embasa (Bahian Water and Sanitation Company SA). The transportation of waste at the company being researched is an important source of indirect GHG emissions (scope 3), corresponding to 8.09%, when considering the Metropolitan Region of Salvador.

Keywords: greenhouse gases, transportation of solid waste, Embasa, Brazil.

¹ Unidade de Auditoria Interna, Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A./Programa de Engenharia Industrial (PEI). Universidade Federal da Bahia (UFBA).

² Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia

³ Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia

⁴ Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

* Calle: Escola Politécnica, Aristides Novis, nº 2, 6º Andar Barrio: Federação, EP-UFB. Código Postal: 40.210-630. Ciudad: Salvador, Estado: Bahia, País: Brasil, E-mail: jamiles@ufba.br.

Resumo

O setor de transportes, atualmente, é a segunda maior fonte de emissora de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, atrás apenas de mudanças de uso do solo. A operação de estações elevatórias em sistemas de esgotamento sanitário gera uma quantidade expressiva de resíduos e requer serviços de transporte para destinação adequada. Nesse sentido, torna-se importante avaliar as emissões de GEE associadas a essa atividade por parte dos organismos operadores. O conhecimento dessas emissões permite que a empresa de saneamento avalie a logística envolvida no transporte e implemente melhorias, visando uma operação de baixo carbono. Assim, esse trabalho pretende estimar as emissões de GEE decorrentes do transporte de resíduos produzidos em elevatórias, estações de condicionamento prévio de efluentes submarinos e do tratamento preliminar em estações de tratamento de esgotos sanitários na cidade do Salvador, Bahia-Brasil, operado pela Embasa (Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A). O transporte de resíduos na empresa em estudo é uma fonte emissora importante das emissões de GEE indiretas (escopo 3), atingindo 8.09 % só considerando a Área Metropolitana de Salvador.

Palavras chave: GEE, transporte de resíduos sólidos, Embasa, Brasil.

Introdução

A temática das mudanças climáticas vem mobilizando o governo brasileiro a implementar ações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no país. Nesse sentido, esse governo assumiu voluntariamente o compromisso de reduzir suas emissões de GEE entre 36.1% a 38.9% até o ano de 2020, conforme previsto na lei de mudanças climáticas (Brasil, 2009). Em 2012, o setor de transporte foi responsável por 14% da emissão de GEE no Brasil (SEEG, 2014). A maior parcela dessa emissão está relacionada ao transporte de carga. Conforme dados do Ministério de Ciência e Tecnologia, as emissões de GEE devido ao modal rodoviário, no período entre 1990 e 2005, tiveram um incremento de 72.1%, superior ao incremento total de emissões de GEE do país, que foi de 65.2%. No ano de 2009, o referido modal foi responsável por 92.2% do consumo energético de todo o setor de transporte (MMA, 2011).

A produção de resíduos também gera demandas significativas de transporte. Nesse sentido, cabe avaliar as emissões de GEE associadas ao transporte de resíduos retidos em estações elevatórias de esgoto e em estações de condicionamento prévio e do material retido no tratamento preliminar em estações de tratamento de esgoto. Assim, este trabalho pretende estimar as emissões de GEE devido ao transporte desse material considerando o sistema de esgotamento sanitário da cidade de Salvador-Bahia-Brasil, operado pela EMBASA (Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A).

Estudo de caso

Salvador é a capital do estado da Bahia, situada na região Nordeste do Brasil. O sistema de esgoto de Salvador está subdividido em dois sistemas: principal e independente. O primeiro utiliza os efluentes submarinos do Rio Vermelho e o da estação do Jacuípe para disposição final. Em conjunto, esse sistema tem 160 estações elevatórias de esgoto. O efluente do Rio Vermelho opera com uma vazão de 8.3 m³/s e o de Jaguaribe com uma vazão de 4.9 m³/s. O sistema independente constitui-se de sistemas individuais que compreendem 16 elevatórias e 71 estações de tratamento de esgoto, as quais atendem a conjuntos habitacionais da cidade. (PMSB, 2010). Na figura 1, pode-se visualizar os bairros de Salvador, bem como a localização dos municípios de Simões Filho e Lauro de Freitas:

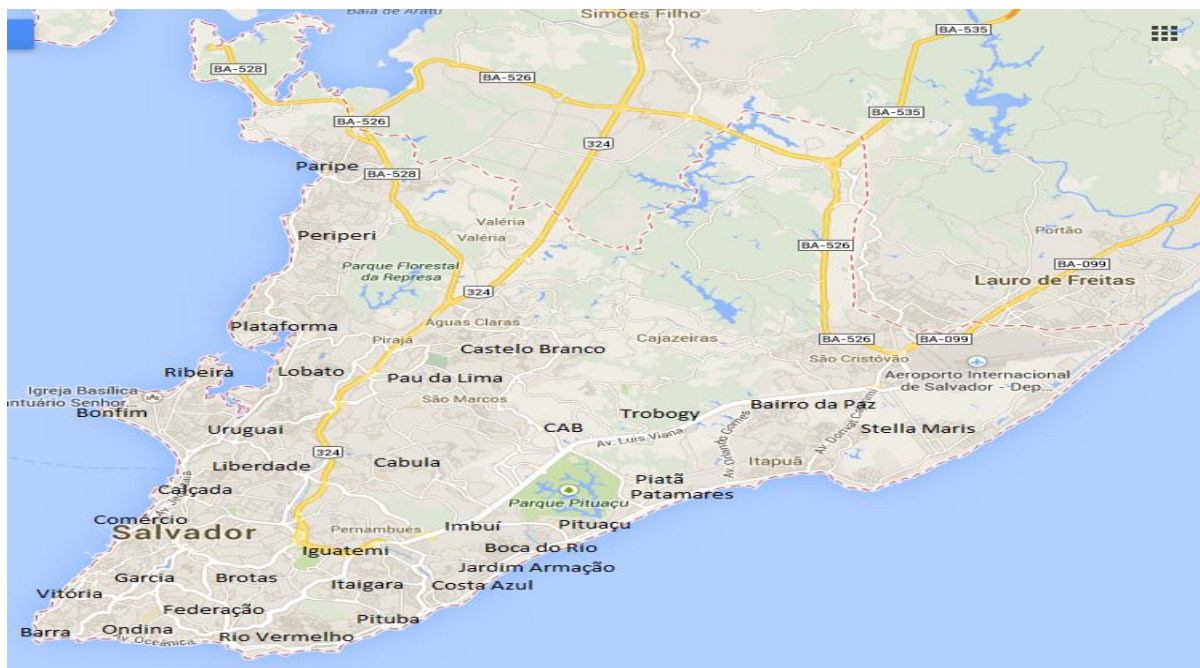


Figura 1. Bairros de Salvador e municípios vizinhos

Fonte: Adaptado de Google maps

Conforme informações do setor responsável pela operação das elevatórias de Salvador e da estação de condicionamento prévio do Rio Vermelho (Divisão de Elevatórias e ECP – METL), os resíduos retidos em estações elevatórias e de tratamento são dispostos em três locais. As unidades localizadas nos bairros de Lobato, Pirajá, Pau da Lima, Cabula e condomínio Vale das Palmeiras direcionam os resíduos para o parque Lobato. Os demais bairros componentes do sistema independente de Salvador encaminham os resíduos para o parque Castelo Branco. O município de Simões Filho apesar de não fazer parte de Salvador, que também é operado por esse setor, armazena seus resíduos em uma estação de tratamento denominada Km 30 (Embasa, 2009). O município de Lauro de Freitas também é atendido por um dos emissários, o do Jaguaribe, e como todas as localidades situadas na orla, direciona os resíduos de elevatórias para a estação de condicionamento prévio-ECP situada no bairro do Rio Vermelho.

A coleta de resíduos nas estações elevatórias é realizada duas vezes ao dia por equipes de campo. Dos pontos de armazenamento parque Castelo Branco, parque Lucaia, ECP e estação de tratamento Km 30, os resíduos são direcionados ao Aterro Metropolitano Centro (AMC). A Embasa possui um convenio com a LIMPURB (Empresa de Limpeza Urbana de Salvador) o qual permite a disposição dos resíduos nesse aterro. A coleta e o transporte dos resíduos é realizado por uma empresa terceirizada pela Embasa. Não foi possível nessa pesquisa especificar características dos veículos utilizados no transporte, tais como a capacidade de carga, idade média, consumo de combustível dentre outros.

Metodologia

Não tendo sido fornecidos dados do número de viagens e nem da capacidade dos caminhões, utilizou-se as especificações disponibilizadas no sitio da empresa prestadora do serviço de transportes (AMARAL, 2014). Portanto, considerou-se que o transporte dos pontos de armazenamento dos resíduos até o aterro metropolitano Centro seria feito por uma carreta basculante com capacidade de 65m³ e que o veículo utilizado para transporte das elevatórias aos parques teria capacidade de 15m³.

Optou-se pela utilização de fatores de emissão relacionados à utilização de combustíveis fosseis. Assim, considerou-se o consumo médio de combustível para um caminhão pesado a diesel o que corresponde a 3.17 km/L. Os fatores de emissão adotados foram os constantes no primeiro inventário nacional de emissões

atmosféricas por veículos automotores rodoviários elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (2011), conforme tabela 1:

Tabela 1 Consumo de combustível e fatores de emissão adotados

Tipo de Veículo	Consumo médio (km/L)	Combustível Utilizado (L)	CO ₂ (kg/l)	CH ₄ (kg/l)	N ₂ O (kg/l)
Caminhão pesado a Diesel	3.17	Óleo Diesel	2.6710	0.0001	0.00014

Fonte: MMA (2011)

A Embasa forneceu um cadastro contendo a localização de todas as estações elevatórias da cidade (METL, 2014) e estações de tratamento de esgotos (MET, 2013). A estimativa das distâncias para transporte das elevatórias aos centros de acondicionamento e destes ao Aterro Metropolitano Centro foi feita utilizando o Google maps. A figura 2 apresenta o trajeto realizado para a coleta dos resíduos nas estações e elevatórias que são atendidas pelo parque Lobato. Não foram obtidos dados sobre o roteiro realizado, bem como a quantidade de veículos disponíveis pela coleta. Desse modo, elaborou-se um roteiro conforme a proximidade das elevatórias. A distância considerada para o referido parque foi de 36.1 km.

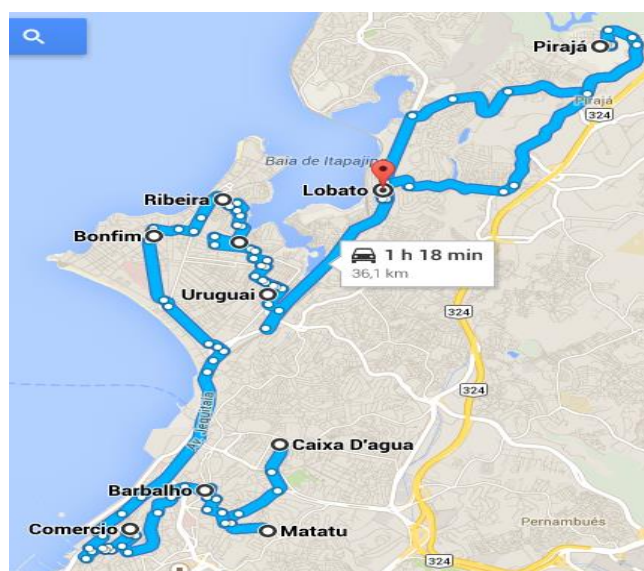


Figura 2. Trajeto parque Lobato.

Fonte: Adaptado de Google maps

A figura 3 apresenta o trajeto realizado para a coleta dos resíduos nas estações e elevatórias que são atendidas pelo parque Castelo Branco. A distância considerada para o roteiro foi de 60.7km.

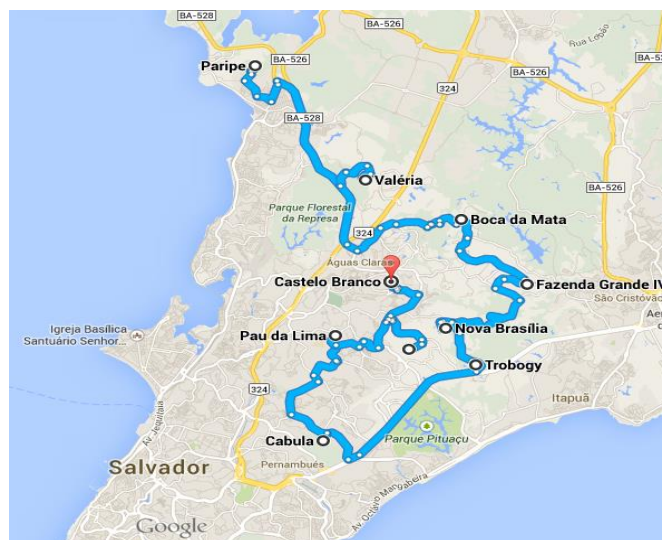


Figura 3. Trajeto parque Castelo Branco
Fonte: Adaptado de Google maps

A figura 4 apresenta o trajeto realizado para a coleta dos resíduos nas elevatórias que são atendidas pelos emissários submarinos (ou seja, fazem parte do sistema principal). A distância considerada para o roteiro foi de 66.2km.

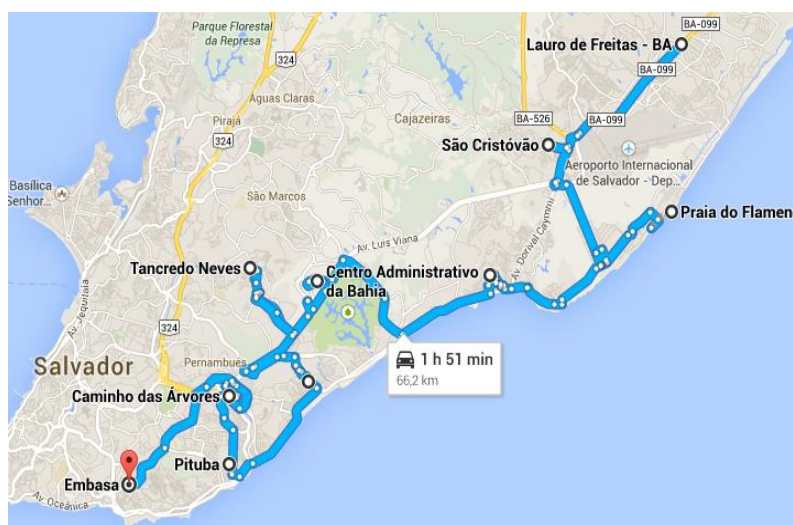


Figura 4. Trajeto Sistema principal (Lauro de Freitas – Rio Vermelho)
Fonte: Adaptado de Google maps

Utilizando a mesma ferramenta, foi estimada a distância entre os parques e o Aterro Metropolitano Centro, cujos resultados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Distâncias dos centros de armazenamento de resíduos ao Aterro Metropolitano Centro (AMC)

Trecho	Distância (km)
Parque Lobato ao AMC	27.9
Parque Castelo Branco ao AMC	24.6
ECP ao AMC	28.5
Km 30 ao AMC	16.8

Conforme a Embasa (METL, 2014), durante o ano de 2011, a quantidade de resíduos retidos nas grades e peneiras e decorrentes da limpeza da caixa de areia e poço de sucção foram os relacionados na tabela 3. Para o ano de 2012, considerou-se que o volume de resíduos foi similar ao ano anterior.

Tabela 3. Quantidade de resíduos gerada em 2012

Unidade	Areia (m3)	Lixo grade (m3)	Lixo peneiras (m3)	Total (m3)
Reversão Iguatemi	3783.00	434.29		4217.29
ECP - Rio Vermelho	3559.76	369.48	416,00	4345.24
Elevatórias Salvador, Lauro de Freitas e Simões Filho	1342.82	1033.98		2376.80

Fonte: METL (2014)

Para estimar as emissões de GEE das elevatórias até os locais de acondicionamento, verificou-se a distância do trecho e conforme informação da Embasa que a coleta é realizada duas vezes ao dia, multiplicou-se a referida distância por 4 para encontrar o valor percorrido diariamente. Para encontrar a distância anual considerou-se 365 dias. Com o valor obtido, verificou-se a quantidade de combustível associada e aplicou-se os fatores de emissão correspondentes. Esse procedimento foi adotado para estimativa das elevatórias até os parques Lobato, das estações de tratamento de esgoto até o parque Castelo Branco e das elevatórias situadas em Lauro de Freitas/Orla Marítima (Itapuã - Ondina) até a ECP.

A estimativa da emissão dos parques até o AMC considerou o volume de resíduos gerados no ano. Considerando que o veículo utilizado transporta a sua capacidade máxima (65 m3) foi estimado o número de viagens realizadas. De posse desta informação, verificou-se a distância percorrida anualmente e o respectivo consumo de combustível. O referido procedimento foi aplicado para os trechos reversão Iguatemi - ECP, ECP-AMC, parque Lobato – AMC e parque Castelo Branco – AMC. Para o trecho estação de tratamento Km 30 – AMC adotou-se um veículo com capacidade de transporte de 15 m3, Como não foi especificada a quantidade de resíduos direcionada a cada parque, distribuiu-se o volume conforme o número de elevatórias constante em cada roteiro. Nos casos em que o número de viagens foi inferior a 11 adotou-se 12, partindo da premissa de que o transporte seja feito no mínimo 1 vez por mês. Na tabela 4 está discriminado o número de elevatórias por parque e o volume adotado para estimativa das emissões:

Tabela 4. Quantidade de resíduos gerada em 2012 por parque

Percurso	Volume (m ³)	Número de elevatorias
Rio Vermelho	1188.40	87
Lobato	682.99	50
Castelo Branco	450.77	33
Simões Filho	54.64	4
Total	2376.80	174

Resultados

A estimativa de emissões de GEE devido ao transporte de resíduos nas elevatórias de Salvador para o ano de 2012 totalizou um montante de 185.73 tCO₂eq conforme tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Emissões de GEE associadas ao deslocamento das elevatórias até os parques para acondicionamento

Percurso	distância (km)	distância no ano (km)	combustível consumido (l)	Emissão CO ₂ (kg)	Emissão CH ₄ (kg)	Emissão N ₂ O (kg)	Emissão CO ₂ eq (t)
Lauro de Freitas	66.2	96652	30489.58	81437.69	6.09	0	81.57
Lobato	36.1	52706	16626.49	44409.38	3.32	0	44.48
Castelo Branco	60.7	44311	13978.23	37335.86	2.79	0	37.39
Simões Filho	11.9	4343	1370.19	3659.78	0.27	0	3.66
Total	174.90	198012	62464.49	166842.71	12.47	0,00	167.10

Tabela 6. Emissões de GEE associadas ao deslocamento dos parques até o Aterro Metropolitano Centro

Percurso	(m ³)	viagens	distância (km)	combustível consumido (l)	Emissão CO ₂ (kg)	Emissão CH ₄ (kg)	Emissão CO ₂ eq (t)
Iguatemi - ECP	4217.29	562	2474.14	784.30	20948.74	1.56	2.09
ECP – AMC (somente resíduos gerados na ECP)	8542.53	262	7307.14	2316.36	61870.14	4.64	6.19
Km 30 – Aterro (Simões Filho)	54.64	12	154.80	490.72	1310.70	0.10	1.31
ECP – AMC*	1188.40	19	528.20	1674.39	4472.31	0.33	4.48
Lobato - AMC	682.99	12	289.20	916.76	2448.68	0.18	2.45
Castelo Branco- AMC	450.77	12	248.40	787.43	2103.22	0.16	2.11
Total	15136.62	879,00	11001.88	6969.96	93153.79	6.97	18.63

* resíduos das elevatórias direcionadas a esse parque

As emissões referentes aos percursos das elevatórias aos parques foram responsáveis pela parcela mais representativa, a principal justificativa deve-se a necessidade de limpeza diária de todas as unidades. Por outro lado, o caminhão adotado para estimar as emissões de transporte dos parques ao aterro possui grande capacidade de carga o que reduz o número de viagens.

O inventário preliminar da Embasa (Santos et al, 2014), apontou que 55% das emissões de GEE da empresa estavam associadas a fontes não controladas diretamente, conforme pode ser visualizado na figura 5. As emissões diretas correspondem às fontes que estão sob controle da empresa e são enquadradas no escopo 1. As indiretas (escopo 2) compreendem as fontes relacionadas às atividades da inventariante, contudo, a mesma não possui gerencia sobre estas (GHG PROTOCOL, 2009). O referido inventário quantificou as emissões diretas referentes ao tratamento de esgoto e combustão móvel (escopo 1), a emissão indireta devido ao consumo de energia (escopo 2) e emissões indiretas devido ao deslocamento de funcionários de sua residência ao trabalho, viagens a negócio e transporte de materiais pelos fornecedores (escopo 3).

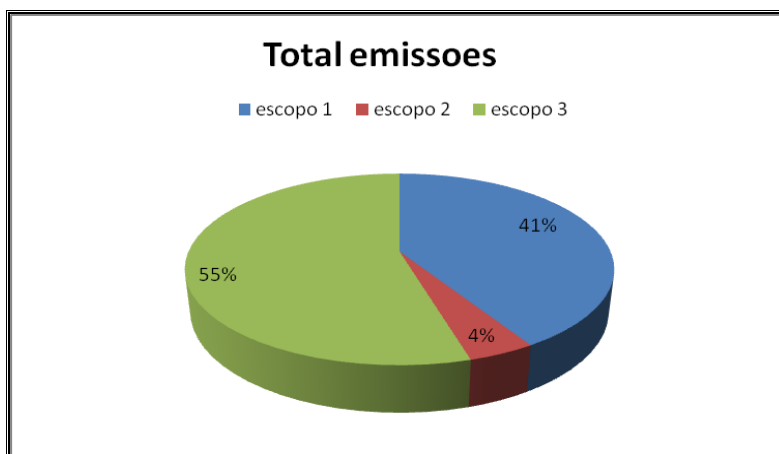


Figura 5. Distribuição das emissões de GEE na Embasa em 2012 conforme Santos et al (2014)

A inclusão da categoria de transporte de resíduos operacionais, sob responsabilidade de terceiros, incrementa o percentual das emissões de GEE de escopo 3 da empresa conforme pode ser visualizado na figura 6. O inventário preliminar totalizava 2.109.987 tCO₂eq, com a inserção dessa nova categoria o montante compreendeu 2.295.717 tCO₂eq. Ressalta-se que o percentual referente ao transporte de resíduos foi superior ao escopo 2 representando 8.09% das emissões da empresa vide figura 7.

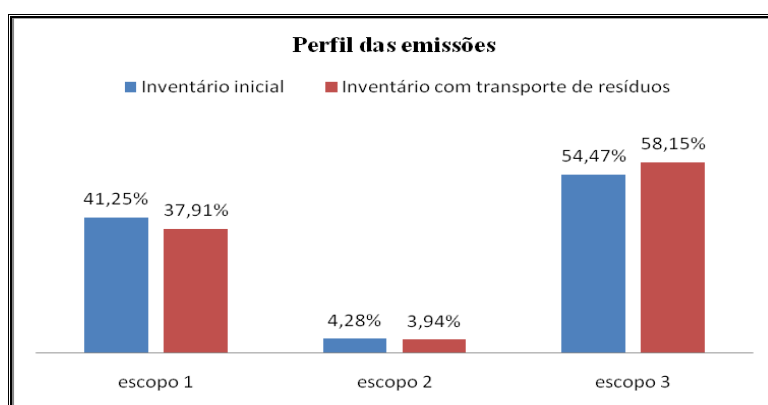


Figura 6. Perfil das emissões de GEE na Embasa

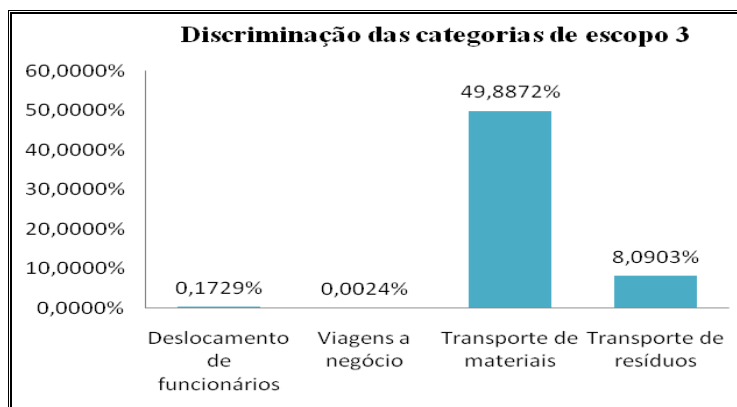


Figura 7. Percentual de emissão por categoria de escopo 3

As principais limitações dessa estimativa referem-se ao desconhecimento da capacidade dos veículos utilizados para o transporte, a qual determina o número de viagens necessárias, da capacidade de acondicionamento e da quantidade exata de resíduo destinada a cada parque (Lobato, Castelo Branco, ECP e Simões Filho).

Conclusão

Verificou-se que o transporte de resíduos na empresa em estudo é uma fonte emissora importante considerando as emissões de GEE indiretas. Ressalta-se que a análise foi feita considerando apenas o sistema de esgotamento sanitário de Salvador o que compreendeu os municípios de Salvador, Lauro de Freitas e Simões Filho. Recomenda-se que a empresa expanda a avaliação aos sistemas situados no interior do estado. Nesse sentido, torna-se necessário levantar a localização das elevatórias, local de estocagem temporária dos resíduos e disposição final. Sugere-se também que a empresa realize uma estimativa dos resíduos gerados em estações de tratamento de água e a emissão e custos associados ao seu transporte.

Agradecimentos. – agradeço a Embasa pela licença para realização desse trabalho, a CAPES pela bolsa de estudos, a FAPESB pela bolsa de iniciação científica e ao Instituto de Engenharia da UNAM (México) pelo aceite para realização de doutorado sanduíche.

Referencias Bibliográficas

- Amaral coleta. Disponível em: <http://www.amaralcoleta.com.br/institucional.php?id=1>. Acesso em: 15 abr. 2014.
- Brasil. Lei n.12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, Edição Extra, p.109-10, 2009.
- Embasa. Parecer Comissão Técnica de Garantia Ambiental n 21/2009 referente à Licença de Alteração do Sistema de Esgotamento Sanitário de Simões Filho.
- GHG PROTOCOL BRASIL. Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/>>. Acesso em 15. Abr.14.
- Google maps. Disponível em: <https://www.google.com/maps/@37.0625,-95.677068,4z>. Acesso em: 15. Mar. 2014.
- MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Primeiro inventário de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários – relatório final. Jan. 2011. Disponível em: < www.mma.gov.br>. Acesso em: 15 abr. 2014.
- METL- Divisão de Elevatórias e ECP, 2014. Distribuição das elevatórias do sistema de esgotamento sanitário de Salvador por bacias. Comunicação por correio eletrônico.
- METL- Divisão de Elevatórias e ECP, 2014. Controle do lixo da grade, areia e lodo da ECP. Comunicação por correio eletrônico.
- MET- Departamento de Operação de ETE e EE 2013. Dados operacionais das estações de tratamento de efluentes dos sistemas independentes de Salvador. Comunicação por correio eletrônico.
- PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico. VOLUME II – Sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Salvador. Prefeitura Municipal do Salvador. Salvador, 2010.
- SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <http://seeg.observatoriodoclima.eco.br/index.php/page/17-Emiss%25C3%25B5es-por-setor>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- Santos, J.O., Andrade, J.C.S., Marinho, M.M.O., Noyola, A., Beretta, M., Torres, Cássia. 2014. An Analysis Of Greenhouse Gas (GHG) Emission Of Supply Chain Activities Of A Brazilian Water And Wastewater Company. Water, Energy and Climate Change Conference. 21 a 23 de abril. Cidade do México.

EMISIONES DE METANO POR EL SECTOR DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: Proceso de lodos activados con digestión anaerobia

METHANE EMISSIONS BY MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT SECTOR: ACTIVATED SLUDGE PROCESS: with anaerobic sludge digestion.

Paredes Figueroa María Guadalupe^{1*}

Güereca Hernández Leonor Patricia²

Luisa T. Molina³

Noyola Robles Adalberto⁴

Abstract.

Wastewater treatment and management have been identified as a major source of methane (CH₄), contributing to climate change. The methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) to estimate CH₄ emissions in this type of infrastructure may not reflect the current situation, leading to erroneous results when preparing inventories of greenhouse gas for this sector. To reduce the error, it is necessary to determine the actual CH₄ emission in wastewater treatment plants in order to obtain specific emission factors for each region or country. Therefore, the aim of this work is to estimate global CH₄ emissions from Wastewater Treatment Plant (WWTP) of activated sludge process with anaerobic digestion, being the process with greater contribution to wastewater treatment in Mexico and Latin America. Based on field measurements directly in the line of biogas and near the digester, results showed that the model of the IPCC overestimated by 100% the methane emissions in relation to the measures in situ. In addition, leakage of methane represented 8 % of the total production. Based on these results, there is a clear need for an accurate quantification of CH₄ emissions in order to provide relevant information for decision making processes, strategic development and long-term actions to mitigate CH₄ emissions generated by WWT sector.

Keywords: Climate change, methane emissions, wastewater treatment.

¹ Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Estudiante de doctorado en Ingeniería Ambiental. Tel.: +52 (55) 56233600 Ext. 8710. E-mail: MParedesF@iingen.unam.mx

² Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador Asociado C. Tel.: +52 (55) 56233600 Ext. 8706. E-mail: LGüerecaH@iingen.unam.mx

³ Molina Center for Energy and the Environment. E-mail: ltmolina@MIT.EDU

⁴ Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Director General. Tel.: +52 (55) 56233600 Ext. 3601. E-mail: ANoyolaR@iingen.unam.mx

* **Autor correspondiente:** Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 3000, México, D.F., C.P. 04510 México. Tel.: +52(55)5623-3600 Ext. 8710 Fax: +52(55)5616-2894. e-mail: MParedesF@iingen.unam.mx

Resumen

El manejo y tratamiento de aguas residuales ha sido identificado como una fuente importante de metano (CH_4), contribuyendo al cambio climático. La metodología del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para estimar las emisiones de metano en este tipo de infraestructura puede no reflejar la realidad, lo que lleva a resultados erróneos al momento de preparar los inventarios de gases de efecto invernadero. Para reducir el error, es necesario determinar la emisión de metano en plantas de tratamiento de aguas residuales reales y obtener los factores de emisión propios para cada región o país. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es estimar las emisiones de CH_4 globales de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de un proceso de lodos activados con digestión anaerobia, el proceso con mayor contribución al tratamiento de aguas residuales en México y en América Latina. Con base en mediciones de campo directamente en la línea de biogás y en las inmediaciones del digestor, se encontró que las estimaciones de metano siguiendo el modelo del IPCC están sobreestimadas en un 100% con relación a las medidas en sitio. Adicionalmente, las fugas de metano representaron el 8% del total producido. Con base en estos resultados, es clara la necesidad de una cuantificación precisa de emisiones de CH_4 con el fin de apoyar la toma de decisiones y el desarrollo correcto de estrategias de mitigación para el sector de PTAR.

Palabras claves: Cambio climático, emisiones de metano, tratamiento de aguas residuales.

Introducción

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) juegan un papel fundamental en el abatimiento de la contaminación del agua. Sin embargo, en algunos casos, dependiendo del proceso seleccionado y las condiciones de operación, pueden ser una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Uno de los principales gases emitidos es el metano (CH_4), que se forma en condiciones anaerobias.

Se estima que el CH_4 producido por las PTAR constituye entre el 8 y el 11% de las fuentes de metano global (Fayez et al., 2011). Si bien las emisiones de CH_4 provenientes de estos sistemas pueden ser menores respecto a otras fuentes, se ha reportado que existen incertidumbres en estas estimaciones, principalmente por la carencia de información confiable en cuanto a las metodologías de estimación basadas en factores de emisión por defecto. Este hecho constituye un limitante para el diseño correcto de estrategias de mitigación. Los sistemas de tratamiento biológicos pueden ser generadores naturales de metano, por lo cual deben ser analizados desde un enfoque global que considere no sólo la operación de la línea de agua, sino también los procesos u operaciones de tratamiento y disposición final de lodos residuales.

Los sistemas anaerobios son procesos de degradación de la materia orgánica por la acción de microorganismos, en ausencia de oxígeno. El principal producto del proceso es el biogás, una mezcla constituida por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2) entre un 30% a un 60%, conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). El metano contenido en el biogás es una fuente de energía renovable, pero también puede ser una fuente importante de contaminación si se libera a la atmósfera, debido a su significativa contribución al efecto invernadero (Meneses, 2011). Las fuentes de emisiones de metano en las PTAR pueden encontrarse en dos líneas principales, la línea de agua y la línea de lodos residuales. En procesos aerobios convencionales, la primera no es por lo general importante, pero en varios casos el lodo producido durante el tratamiento de aguas residuales puede ser tratado bajo condiciones anaerobias, generando emisiones de metano, mediante el proceso de digestión anaerobia (Wang et al., 2011).

El proceso de digestión anaerobia (DA) es un tratamiento convencional de lodos residuales antes de su disposición final, siendo el proceso más importante para la estabilización de los lodos en grandes instalaciones de tratamiento de aguas residuales convencionales y considerada como una tecnología sustentable en las PTAR (Gavala et al., 2003; Daelman et al., 2012). Se realiza mediante un reactor completamente cerrado y mezclado con un tiempo de retención entre 15 y 20 días operando regularmente a una temperatura promedio de 35°C (Daelman et al., 2012). El tratamiento de lodos residuales por DA presenta un gran potencial de emisiones de CH_4 . La fracción de lodos convertidos a gas, varía dependiendo del tiempo de retención y del tipo de digestor utilizado, y por lo general, oscila entre un 50 y 60% (Czepiel et al., 1993). Se han realizado diversos estudios en relación con la producción de CH_4 usando este proceso,

en donde la mayoría de las grandes instalaciones, el balance de energía es por lo general favorable y permite que el biogás producido pueda ser usado como un sistema de cogeneración para generar calor y electricidad, evitando de esta forma que el CH₄ generado pueda ser liberado a la atmósfera (Hobson, 1999). Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo es estimar las emisiones de metano globales de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con un proceso de lodos activados y digestión anaerobia, estableciendo una correlación entre los niveles de emisión, las condiciones de operación del proceso y las condiciones ambientales propias de la región.

Metodología

Planta de tratamiento de Aguas Residuales Dulces Nombres, Monterrey, Nuevo León.

Se seleccionó la PTAR Dulces Nombres como modelo de estudio. Esta PTAR trata el efluente de las descargas de aguas residuales municipales del área metropolitana de Monterrey, Nvo. León. La PTAR cuenta con 4 componentes principales: Tratamiento preliminar, tratamiento primario, secundario y tratamiento/disposición de lodos residuales (Figura1). El tratamiento preliminar consiste de rejillas, estación de bombeo y cribado; el tratamiento primario se realiza a través de sedimentadores primarios; mientras que el tratamiento secundario lo constituye el sistema de lodos activados convencionales, clarificadores secundarios y desinfección por cloro. Los lodos generados en la planta son estabilizados mediante el proceso de digestión anaerobia, y son finalmente depositados en un mono-relleno ubicado dentro del terreno de la planta. Información general y características de la PTAR Dulces Nombres se muestran en la Tabla 1.

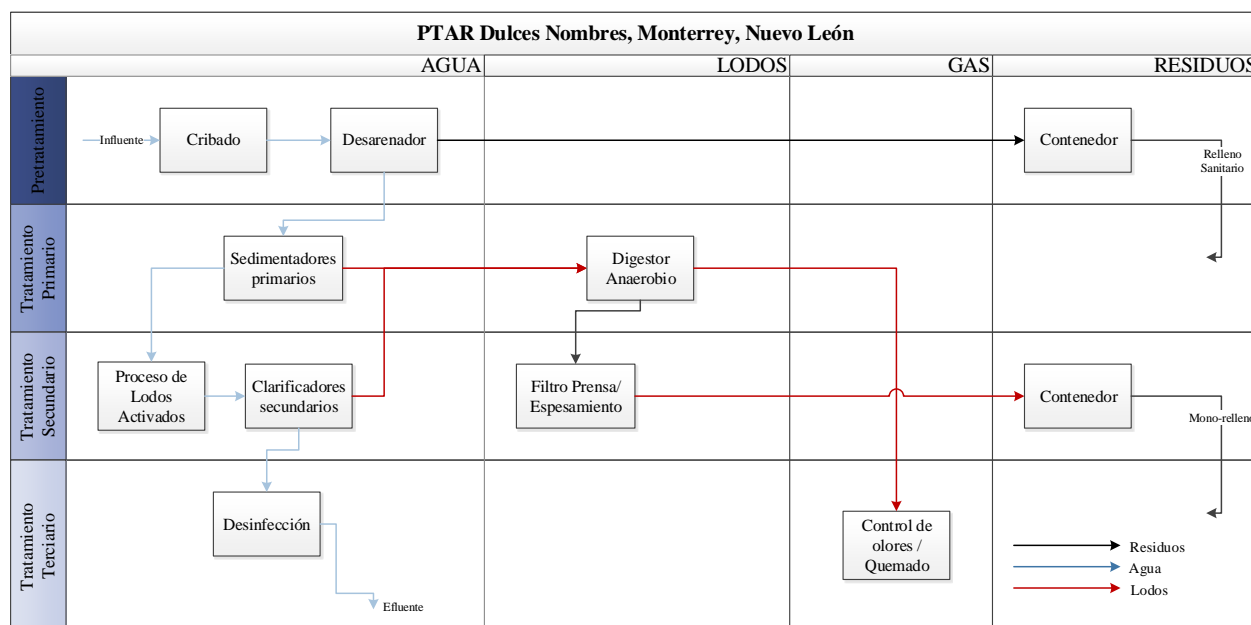


Figura 1. Esquema general de la PTAR Dulces Nombres, Monterrey, Nvo. León.

Cálculo de emisiones de metano teóricas.

Para el cálculo con respecto a las emisiones de metano teóricas se utilizó la metodología establecida en las Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por su definición en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change) para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 5: Desechos, Capítulo 6: Tratamiento y eliminación de Aguas Residuales (IPCC, 2006). Los parámetros empleados para la estimación teórica de emisiones de metano se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Información general de la PTAR Dulces Nombres

Parámetro	Valor
Ubicación	100° 04' 13.95'' W / 25° 44' 20.95'' N
Capacidad instalada	7500 L/s
Caudal tratado	4818 ± 106 L/s
Tipo de tratamiento	Lodos activados con digestión anaerobia
Normatividad	NOM-001-SEMARNAT-1996
Uso de agua residual tratada	Público Urbano / Industrial
Calidad de agua residual (datos promedio)	
	Influente Efluente
DBO ₅ (mg/l)	366 ± 52 8.9 ± 1.7
DQO (mg/l)	1213 ± 67 82 ± 8.4
SST (mg/l)	515 ± 58 45 ± 4.6
pH	7.1 ± 0.2 7.0 ± 0.2
Manejo de lodos residuales generados	
Procedencia del lodos residual	Purga de lodos primarios y secundarios
Tipo de tratamiento	Estabilización por digestión anaerobia
Disposición final	Mono-relleno

Tabla 2. Parámetros empleados para la estimación teórica de emisiones de metano.

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal tratado	L/s	4435
DBO de entrada ¹	kg DBO /año	33,566,918
DBO removida	kg DBO /año	30,295,845
% de remoción	%	90

^{1.} Considerando una [DBO_e] promedio de 242 mg/L

Mediciones experimentales de emisiones de metano.

La cuantificación de emisiones de metano se llevó a cabo mediante una muestra integrada, que constó en el análisis de muestras instantáneas tomadas en la línea de biogás de cada digestor, así como en la línea general. Durante un periodo de 3 días (Baker et al., 2003); con una frecuencia de muestreo de 3 mediciones en un día (mañana, tarde y noche). Las concentraciones de gas metano se determinaron empleando un Analizador Portátil de Biogás (BIOGAS5000, Fonotest, Madrid, España). Adicionalmente, se realizó una estimación de las emisiones de metano por las fugas presentes en el proceso. Las mediciones se realizaron mediante el empleo del Laboratorio Móvil Aerodyne (Aerodyne Research), bajo la técnica de gas trazador utilizando instrumentos láser de cascada cuántica para la detección del metano. El contenido de Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles (SV) alimentados, el porcentaje de remoción de SV, la tasa de generación y la producción específica de metano, fueron determinados con base en los valores obtenidos en campo y en la bitácora de operación de la PTAR.

Para el cálculo de emisiones de metano en unidades de CO₂ eq (bióxido de carbono equivalente), se empleó un potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) de 34, valor reportado por el IPCC en su quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Myhre et. al., 2013).

Resultados obtenidosEmisiones de metano en unidades de CO₂ eq

Las emisiones de CH₄ en una PTAR pueden ser estimadas de manera teórica o experimental a partir de la degradación anaerobia de la fracción orgánica presente en las aguas residuales. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos con respecto al cálculo de emisiones de metano teóricas (empleando factores de emisión por defecto del IPCC) y los valores obtenidos experimentalmente.

Tabla 3. Emisiones de metano en unidades de CO₂ eq

	Emisiones de CH ₄ (Gg/año)	Emisiones de CO ₂ eq (Gg/año)
Emisiones teóricas (IPCC)	14.54	494.36
Emisiones experimentales	7.715	262.31

Como se puede observar, el enfoque teórico presenta un valor superior al experimental (53%). Esto puede deberse a que en la estimación teórica se asume que el total de la fracción orgánica removida es convertida, en condiciones anaerobias, en metano. Sin embargo, se ha identificado que la cuantificación estequiométrica de metano producido presenta una sobreestimación, ya que no toma en cuenta factores múltiples, incluyendo el grado de descomposición, la limitación de nutrientes, la inhibición biológica, interacciones físico-químicas, las condiciones de operación del proceso y las condiciones ambientales propias de la región, etc. (El-Fadel et al., 1996). Por otra parte, el método experimental se basa en la cuantificación de metano en campo, a partir de digestores operados en condiciones reales, tomando en consideración factores ambientales y operacionales que influyen directamente en la producción de CH₄, entre los que se encuentran: tiempo de retención de sólidos, pH, temperatura, etc. (Guisasola et al., 2008). Otra razón importante por la cual, las mediciones teóricas y experimentales resultan en valores diferentes puede atribuirse a la posible presencia de fuga o pérdida de gases en varios puntos del proceso. Este punto se aborda en el siguiente apartado.

Cabe mencionar que el CH₄ generado en la PTAR Dulces Nombres es captado para su quemado en flama únicamente. Sin embargo, como implementación de una adecuada estrategia de mitigación, el metano producido podría ser aprovechado en un sistema de co-generación, mediante la producción de energía eléctrica y calor, energía que pudiera ser aprovechada dentro de las instalaciones de la PTAR.

Emisiones de metano por fugas en el proceso.

La figura 2 muestra las mediciones realizadas en las inmediaciones de los digestores anaerobios por medio del laboratorio móvil Aerodyne. Estas plumas exhibieron tasas de emisión de 70 S-L/min CH₄ (Litros a condiciones estándar por minuto) procedente de la cubierta del digestor anaerobio y 275 S-L/min CH₄ emitido en combinación con la flama del quemador de biogás y el digestor.

Los cálculos de emisiones a partir de las mediciones realizadas muestran que el total de emisiones de CH₄ procedentes de fugas del sistema son 0.645 Gg CH₄/año. Este valor representa el 8% del total del metano generado durante un año en la PTAR, lo que no explica la diferencia entre los valores de las estimaciones teóricas y experimentales presentados en la Tabla 3.

Factores de conversión de metano.

La Tabla 4 resume las características de la línea de tratamiento de lodos residuales de la PTAR, así como, los factores de conversión de metano calculados por kilogramo de sólidos volátiles alimentados y removidos.

El proceso de digestión anaerobia en la PTAR se lleva a cabo bajo condiciones mesofílicas (31 – 35 °C), valores óptimos para este tipo de procesos. Con respecto al tiempo de retención de sólidos, opera en un límite inferior del rango reportado en literatura (20-25 días) (Bolzonella et al., 2005). El contenido de ST en el lodo alimentado es de 4.5 %, concentración típica para este tipo de procesos (3.9 – 5.9 %, Speece, 1988).

Con respecto a los factores de conversión a metano por kilogramo de sólidos volátiles alimentados y removidos, se obtuvo un valor de 0.081 m³CH₄/kg VS_{alim} y 0.256 m³CH₄/kg VS_{rem}, respectivamente. Este último se encuentra dentro del rango típico reportado en literatura (0.15 to 0.6 m³CH₄/kg VS_{rem}) (Bixio et al., 1999; Bolzonella et al., 2002). Sin embargo, el bajo valor obtenido, puede deberse a diversos factores, entre ellos, un inadecuado espesamiento de los lodos o un bajo tiempo de retención de sólidos, como es particularmente el caso.

El porcentaje de remoción de SV tiene un amplio rango (40 – 60%) (Metcalf & Eddy, 1991). Para el caso de la PTAR Dulces Nombres, presenta una baja eficiencia de remoción (31.3%), lo que puede deberse a una estabilización parcial de la fracción volátil del lodo alimentado, lo cual explicaría también el bajo valor de conversión a metano obtenido.

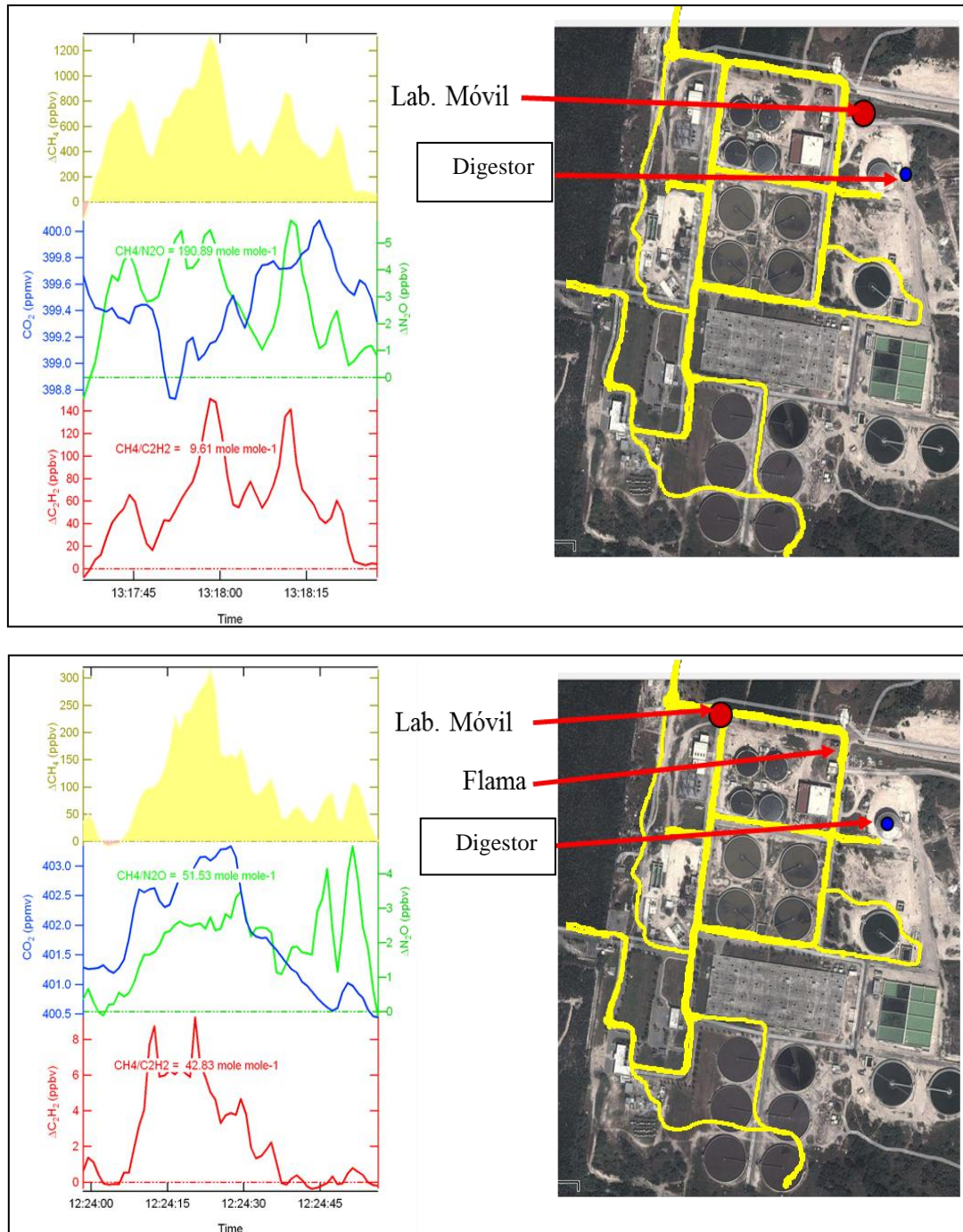


Figura 2. Mediciones del Laboratorio Móvil Aerodyne en la PTAR Dulces Nombres.

Tabla 4. Flujos, condiciones y eficiencias relativas al tratamiento de lodos residuales

Características de alimentación	Unidades	Valor
Volumen de lodo generado	m ³ /día	12325 ± 1825
Sólidos Totales (ST)	g/L	45.7 ± 4.4
Sólidos Volátiles (SV)	g/L	29.3 ± 2.2
Fracción volátil	%	64.1
Digestor		
Volumen del reactor	m ³	13340
Temperatura de operación	°C	31.6 ± 1.2
Tiempo de retención de sólidos	Días	15
% de CH ₄	%	65.7 ± 0.96
Producción de CH ₄	m ³ CH ₄ /día	29363 ± 552
Tasa específica de producción de metano	m ³ CH ₄ /m ³ reactor día	0.490 ± 0.01
Factor de conversión a metano por SV alimentados	m ³ CH ₄ /kg SV _{alim}	0.081 ± 0.002
Factor de conversión a metano por SV removidos	m ³ CH ₄ /kg SV _{rem}	0.256 ± 0.005
% de remoción de SV	%	31.3 ± 5.7

Conclusiones

La cuantificación de emisiones de metano teóricas empleando la metodología del IPCC presenta una sobreestimación del 100% con respecto a las emisiones experimentales realizadas en el presente estudio. Por ello, es de gran importancia realizar mediciones en campo a un mayor número de instalaciones con la finalidad de minimizar el nivel de incertidumbre presente en los inventarios nacionales para el sector del manejo y tratamiento de aguas residuales.

El metano no capturado que se libera a la atmósfera (fugas en el sistema y en el quemador) representa el 8% del metano producido y, a pesar de que es un valor relativamente bajo, es de gran importancia disminuir este porcentaje a través de mejoras de eficiencia en el quemador, principalmente. En el presente estudio se estimaron los factores de conversión de metano, con la finalidad de establecer criterios básicos con respecto a la producción de metano para este tipo de procesos analizados. Diversos factores influyen directamente en la generación de CH₄, entre ellos, la concentración de SV alimentados, el tiempo de retención de sólidos, el porcentaje de remoción de SV, la temperatura y el flujo tratado, parámetros que deben ser considerados para la estimación global de emisiones de CH₄ en una PTAR con un sistema de tratamiento de lodos activados con digestión anaerobia de sus lodos residuales.

Agradecimientos. Este trabajo tuvo apoyo del proyecto SLCF-2013 Mexico, a su vez financiado por Global Environment Facility (GEF) y coordinado por Molina Center for Energy and the Environment, bajo el contrato GFL-4C58 de la UNEP. Agradecemos también a Aerodyne Research por los datos proporcionados para esta investigación.

Referencias Bibliográficas

- Baker, J., Doyle, G., McCarty, G., Mosier, A., Parkin, T., Reicosky, D., Smith, J., Venterea, Rod. (2003). Chamber-based Trace gas flux measurements protocol. GRACEnet. Soli-Plant-Nutrient Research Unit. Fort Collins, CO.
- Bixio, D., De Deken B, van Hauwermeiren P. (1999). Anaerobic digestion in low loaded systems – A case study. *Med Fac Landbouww Univ Gent*, **64**(5a):99–102.

- Bolzonella D., Innocenti L. and Cecchi F. (2002). Biological nutrient removal wastewater treatments and sewage sludge anaerobic mesophilic digestion performances. *Water Science and Technology*, 46(10), 199–208.
- Bolzonella D., Pavanb P., Battistonic P., Cecchia F. (2005). Mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: influence of the solid retention time in the wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 40(3-4) 1453–1460.
- Czepiel, P. M.; Crill, P. M.; Harriss, R. C. (1993) Methane emissions from municipal wastewater treatment processes. *Environ. Sci. Technol.*, 27(12), 2472–2477
- Daelman, M. R. J.; Voorthuizen, E. M.; Dongen, U. G. J. M.; Volcke, E. I. P.; Loosdrecht, M. C. M. (2012) Methane emission during municipal wastewater treatment. *Water Research*, 46(11), 3657–70.
- El-Fadel, M, Findikakis, A. and Leckie, J. (1996). Estimating and enhancing methane yield from municipal solid waste management. *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 13pp. 309–331. Gavala Hariklia N., Umr Yenil, Ioannis V. Skiadas, Peter Westermann, Birgitte K. Ahning. (2003). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature. *Water Research*, 37(19), 4561–4572.
- Fayez A. Abdulla & Ziad D. Al-Ghazzawi (2000) Methane Emissions from Domestic Waste Management Facilities in Jordan Applicability of IPCC Methodology, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(2), 234-239.
- Guisasola A, de Haas D, Keller J, Y. Z. (2008) Methane formation in sewer systems. *Water Research*, 42 (6-7), 1421–1430.
- Hobson J. (1999) CH₄ and N₂O emissions from waste. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, 441–454 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on climate change), (2006). *Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories. Reference manual. Volume 5: Waste, Chapter 6: Treatment and disposal of wastewater.* United Nations, New York.
- Meneses, Alexander, Hernández, E. E. (2011) Identificación de emisiones directas e indirectas de GEI en el sector tratamiento y disposición de aguas residuales: bases para la formulación de proyectos MDL en PTAR. BISTUA, 60–69 pp.
- Metcalf & Eddy Inc. *Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse*, (1991) Int. Ed. New York: McGraw-Hill.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Speece R. (1998). A survey of municipal anaerobic sludge digesters and diagnostic activity assays. *Water Research*; 22(3), 365-72
- Wang, J.; Zhang, J.; Xie, H.; Qi, P.; Ren, Y.; Hu, Z. (2011) Methane emissions from a full-scale A/A/O wastewater treatment plant. *Bioresource technology*, 102(9), 5479–85.

EVALUACIÓN DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS GENERADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO, EN MICHOACÁN, MÉXICO.

EVALUATION OF METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL DROUGHTS INCURRED BY CLIMATE CHANGE IN THE CUITZEO LAKE BASIN, IN MICHOACÁN, MEXICO.

Sonia Tatiana Sánchez Quispe¹.
Constantino Domínguez Sánchez¹.
Omar Lucas Urbina².
Juan Antonio Torres Martínez^{3*}.

Abstract

The results of the analysis of both meteorological droughts as hydrological to be submitted to short and long term using the ENSEMBLE model for RCP 4.5, RCP 6.5 and RCP 8.5 scenarios, which seeks to identify are presented in this article how it will behave the spatially drought by generating informative maps, temporarily along the two periods 2015-2039 and 2075-2099 and quantitatively reporting as the two main reservoirs that supply the population of the region will behave, determining durations drought, intensities that can be achieved, and the magnitude. Also undertake a comparison of Standardized Precipitation Index 3 (SPI-3) with hydrological drought corroborating the theory that at 3 months of the start of a meteorological occurs a hydrological drought.

Key Words: Runoff Drought Index, Standardized Precipitation Index, Spatial evolution of drought.

¹ Profesor-Investigador. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Ayudante de técnico académico. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

^{3*} Ayudante de técnico académico. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Santiago Tapia #403, Colonia Centro, Morelia, Michoacán. C.P. 58000. México. Email: jatm_90@hotmail.com

Resumen

En este artículo se presentan los resultados del análisis de las sequías tanto meteorológicas como hidrológicas que se presentarán a corto y largo plazo utilizando el modelo ENSEMBLE para los escenarios RCP 4.5, RCP 6.5 y RCP 8.5, en el cual se busca identificar cómo se comportará la sequía espacialmente mediante la generación de mapas informativos, temporalmente a lo largo de los dos periodos 2015-2039 y 2075-2099 y de manera cuantitativa informando como se comportarán los dos principales embalses que abastecen a la población de la región, determinando las duraciones de las sequías, las intensidades que pueden alcanzar, así como la magnitud de las mismas. De igual manera se realizara una comparación de Índice de Precipitación Estandarizada 3 (SPI-3, por sus siglas en inglés) con las sequías hidrológicas corroborando la teoría de que a los 3 meses del inicio de una sequía meteorológica se presenta una hidrológica.

Palabras clave: Índice de sequía de caudales, índice de precipitación estandarizada, evolución espacial de sequías.

Introducción

El Desarrollo Sustentable es un proceso de cambio en el que la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del cambio tecnológico e institucional, están todos en armonía, aumentando el potencial actual y futuro para atender las necesidades y las aspiraciones humanas; todo esto significa que el desarrollo del ser humano debe hacerse de manera compatible con los procesos ecológicos que sustentan el funcionamiento de la biósfera (UN, 1987). El desarrollo se fundamenta en tres áreas: sociedad, economía y medio ambiente (figura 1).

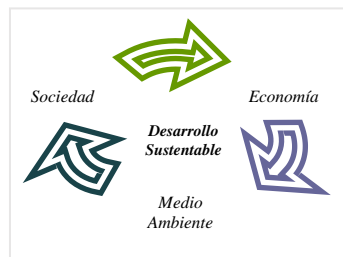


Figura 1. Áreas de influencia en el desarrollo sustentable. Elaboración propia.

Las acciones comunes para aumentar la eficiencia en el uso de los recursos naturales no se dieron hasta finales del siglo XX. Por tal motivo antes de ese periodo el hombre provocó un desequilibrio ambiental, el cual se ve reflejado tanto en el calentamiento global, como en el cambio climático, dando lugar a eventos extremos como sequías e inundaciones.

Existe un sinnúmero de definiciones para la palabra sequía, la podemos definir como un fenómeno que se debe solo a características naturales el cuál se caracteriza por que las precipitaciones son menores a la media de la zona, por tener una variabilidad en la frecuencia de los eventos, así como una duración e intensidad casi impredecible, si ella persiste durante un tiempo prolongado da origen a las sequías hidrológicas, donde los efectos de periodos de precipitación relativamente cortos, y consecuentemente los escurrimientos a nivel de superficie y subsuelo, afectan directamente en la recarga de acuíferos, lagos, presas y su impacto es de largo plazo, es decir, la sequía hidrológica puede afectar la producción agrícola de varios años, la producción hidroeléctrica o la extracción de agua del subsuelo para el consumo humano.

En México se tienen registros donde observamos que a lo largo de la historia las sequías han sido un fenómeno recurrente a lo largo y ancho del territorio nacional, desde la más antigua en el año 300 d.C. en el Valle de México, la cual dio origen a la necesidad de la generación de sistemas de riego para la agricultura y así combatir los efectos de la misma (Florescano *et al.*, 1980) hasta la más reciente en el año 2011 donde el 40% del país registró una etapa de sequía siendo ella la peor en los últimos 70 años con efectos en 19 de los 32 estados, afectando a 64 de las 174 áreas

naturales protegidas, generando incendios y dando origen a daños del orden de 15,000 millones de pesos en el sector agrícola, siendo este uno de los principales sectores productivos del país (INEGI, 2012). Para el caso de estudio se evaluará principalmente con el índice de precipitación estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés) y el índice de sequía de caudales.

La cuenca del lago de Cuitzeo se localiza entre los paralelos 19°53'15" y 20°04'30" de latitud norte y los meridianos 100°50'20" y 101°19'30" de longitud oeste, a una altitud aproximada de 1,830 msnm. Su ubicación es la zona centro-sur de México, entre los límites de los estados de Michoacán y Guanajuato (figura 2), se sitúa en la zona sur de la región hidrológica Lerma-Santiago, una de las más importantes de México, en la sub-región denominada Alto Lerma. La extensión de la cuenca es de aproximadamente 4,000 km², de los cuales la mayor parte corresponde a Michoacán. La extensión promedio del lago, es de aproximadamente 400 km² (Bravo et al, 2008).

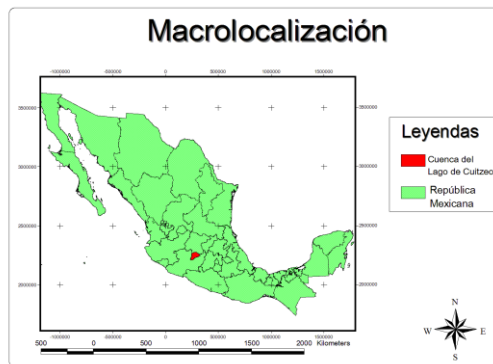


Figura 2. Situación geográfica del área de estudio en la República Mexicana. Elaboración propia.

El lago de Cuitzeo posee además la característica de ser denominado sitio Ramsar, ello debido a los humedales con que cuenta, la vegetación subacuática presente en el lago es una de las más restringidas en las tierras altas del centro de México (CONABIO 2006). Por su extensión, el lago de Cuitzeo es el segundo cuerpo de agua de origen natural más grande de la República Mexicana, sin embargo, esta condición podría perderse relativamente pronto si los procesos desecación, salinización y azolvamiento, en menor medida, continúan de forma acelerada. Además se ha afectado debido al cambio de uso de suelo y presenta altos niveles de contaminación, ya que sobre él se vierten grandes cantidades de desechos domésticos e industriales que provienen de la ciudad de Morelia y otros municipios que están alrededor del lago. Se ubica en la zona centro-sur del país, siendo una importante fuente en la explotación del recurso hídrico, la pesca y el turismo. Debido a las actividades humanas hemos generado un desequilibrio ambiental lo cuál en los últimos años ha conducido a un incremento exponencial de las temperaturas y de manera inversa en cuanto a precipitaciones; estos cambios afectan los ciclos hidrológicos ocasionando afectaciones ambientales de tal forma que algunas áreas que son importantes para las aves playeras permanezcan inundados por periodos muy cortos de tiempo, reduciendo el periodo de permanencia de estas aves en algunos lugares, además del pastoreo incontrolado que no permite que las aves puedan descansar o alimentarse adecuadamente y por otro lado, dando lugar a la presencia de las sequías en una región donde en periodos históricos no se había presentado afectando ambiental ocasionando daños irreversibles en la flora y fauna silvestre, incrementando la vulnerabilidad de los ecosistemas, intensificando los procesos de erosión hídrica y eólica, reduciendo la calidad del agua, y afectando el ciclo hidrológico en general; social a través de la escasez de alimentos, malnutrición, disminución del nivel de vida, conflictos sociales por el uso del agua o de mejores tierras, incremento de la pobreza, migración, hacinamiento en las ciudades, abandono de tierras agrícolas; y económicamente relacionándolo con pérdidas en la producción de alimentos, ganadera, y maderables y no maderables; y la consecuente alza de precios en el mercado, incremento de los costos de suministro de agua, entre otros a la región.

Metodología

Realizar un estudio de caracterización para eventos extremos no requiere de un procedimiento demasiado complejo, sin embargo para llegar a una metodología y con ello efectuar un análisis de forma permanente de las sequías es necesario desarrollar un adecuado tratamiento de la información existente. Para la caracterización de las sequías existen diversos índices mediante los cuales de acuerdo a las variables climáticas que tengamos es posible utilizarlos.

Obtención de la información

La información necesaria para el desarrollo del estudio consistió en la identificación de estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca, ello realizado a través del software GDCLIMEX (Gestor de Datos Climatológicos Mexicanos) gestionando información de la base de datos de CLICOM, obteniendo los registros históricos de precipitación y temperatura, realizando una primera selección aceptando estaciones con series de datos robustas, es decir mayores a 30 años, obteniendo 61 estaciones. Una vez realizada la preselección se sometieron a un estricto control de calidad empleando los análisis estadísticos de Helmert, Secuencias, Man Kendall, Anderson, T de Student, Cramer, Spearman y Corridas de Wald-Wolfowitz, ello a través del software SIHIMAX 1.0.0 (Sistema de Información Hidrológica para Intensidades Máximas) garantizando la homogeneidad e independencia de las series.

Selección de estaciones

Una vez efectuada la evaluación se calculó el número de estaciones necesarias de manera gráfica (Aparicio, 1989) utilizando el área de la cuenca de aproximadamente 4,000 km², un escurrimiento medio anual mayor a 15 cm/año y más de 45 días de tormentas por año, obteniendo 9 estaciones. Debido a las condiciones geográficas se propuso el uso de 15 estaciones, de las cuáles se seleccionaron las que tenían el mayor número de años, con información actual, el menor número de vacíos en la serie y que espacialmente cubrieran la superficie de la cuenca (figura 3)(Tabla 1).

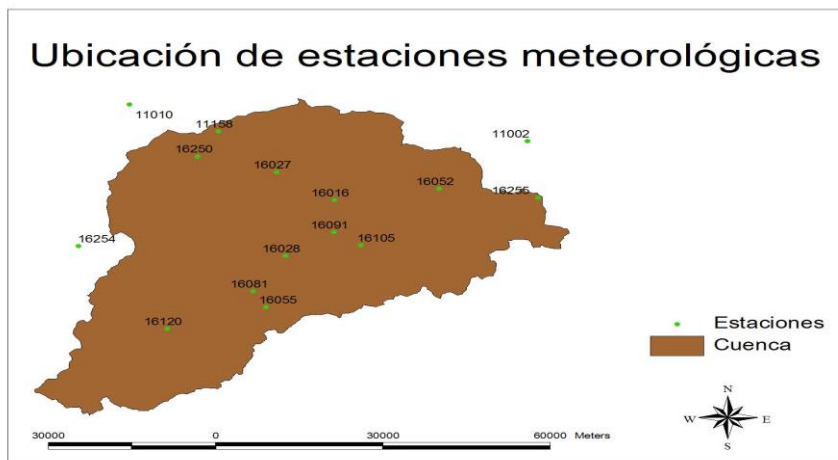


Figura 3. Ubicación espacial de estaciones meteorológicas utilizadas. Elaboración propia

Tabla 1. Estaciones meteorológicas utilizadas

Código	Nombre	X	Y	Z	%Vacios	AÑOS
11002	ACAMBARO	321447.855	2215269.494	1850	0.00	31
11010	CERANO	250096.028	2224339.311	1909	0.10	28
11158	PIÑICUARO	266014.437	2217695.005	2130	0.20	25
16016	CARRILLO PUERTO	286842.833	2200708.368	1840	0.13	27
16027	CUITZEO	276456.999	2207702.703	1831	0.17	26
16028	CUITZILLO GRANDE	278081.334	2186974.772	1987	0.15	27
16052	HUINGO	305622.615	2203591.316	1921	0.01	31
16055	JESUS DEL MONTE	274566.041	2174284.582	2180	0.02	30

16081	MORELIA	272307.886	2178188.990	1908	0.02	30
16091	ALVARO OBREGON DGE	286747.920	2192847.792	1840	0.04	30
16105	QUIRIO	291529.715	2189579.782	1858	0.08	29
16120	SANTIAGO UNDAMEO	256868.246	2168979.471	2130	0.12	27
16250	HUANDACAREO	262372.522	2211542.272	1851	0.25	23
16254	TEREMENDO	240896.188	2189361.771	2188	0.08	29
16255	UCAREO	323295.366	2201301.544	2554	0.10	28

Llenado de datos faltantes

Al término de la selección final de estaciones se procedió a realizar el llenado de datos faltantes, para ello se emplearon 3 métodos: primero se empleó el método del U.S. Weather Service (Inverso de la distancia al cuadrado) para el cuál era necesario tener mínimo 2 estaciones cercanas con datos; al realizar este proceso aún seguían vacíos, por lo que se empleó el método de regresión lineal utilizando 1 estación cercana con información para el llenado; finalmente se usó el método de llenado a partir de una matriz de $\pm 10\%$ de la precipitación.

Validación de las estaciones

Una vez realizado el llenado de datos faltantes se procedió a la validación de las series mediante los mismos estadísticos que fueron utilizados para la preselección verificando de manera estadística y corroborando de forma gráfica las series de precipitación.

Caracterización de sequías

Una vez procesada la información de precipitación y temperatura histórica se recopiló información del Modelo ENSEMBLE para los escenarios RCP 4.5, RCP 6.5 y RCP 8.5 para corto (2015-2039) y largo (2075-2099) plazo para la zona de estudio trasladando la información a las estaciones meteorológicas mediante el método del Inverso de la Distancia al cuadrado obteniendo series de precipitación y temperatura futuras.

Para el cálculo de algunos índices fue necesario calcular la evapotranspiración para lo cual se empleó el método de Turc. Así mismo la generación de gastos futuros se calculó empleando el software EVALHID, mediante el modelo de Témez.

Para la caracterización de la sequía meteorológica se emplearon los siguientes índices:

- Déficit de agua

$$DH = \sum_{i=1}^{12} (P - ET_0)$$

Ecuación (1)

Donde

DH: Déficit de agua anual (mm)

P: Precipitación mensual (mm)

ET: Evapotranspiración mensual (mm)

- Disponibilidad de agua

$$Da = \frac{Pm}{ET_0}$$

Ecuación (2)

Donde:

Da= Disponibilidad de agua.

Pm= Precipitación media del periodo.

ET= Evapotranspiración de referencia del periodo.

- Índice de Fournier Modificado

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

Ecuación (3)

Donde:

Pi= Precipitación mensual.

P= Precipitación anual.

ET= Evapotranspiración de referencia del periodo.

- Índice de Concentración de Precipitación

$$ICP = 100 \frac{\sum P_i^2}{P^2}$$

Ecuación (4)

Donde:

Pi= Precipitación mensual.

P= Precipitación anual.

- Índice de Precipitación Estandarizada

$$SPI = \frac{(X_{ik} - \bar{X}_i)}{\sigma_i}$$

Ecuación (4)

Donde:

Xik= Precipitación mensual.

Xi= Precipitación media.

σi= Desviación estándar.

- Porcentaje de Precipitación Normal

$$PPN = (P_i - P_m / P_i) * 100$$

Ecuación (5)

Donde

Pi= Precipitación mensual.

Pm= Precipitación media.

Para la caracterización de la sequía hidrológica se emplearon los siguientes índices:

- Deciles

$$c = \frac{Hp(n) - Hp(1)}{10}$$

$$decil(1) = Hp(1) + c$$

$$decil(i) = decil(i-1) + c \quad \text{para } i = 2, 3, \dots, 10$$

Ecuación (6)

Donde:

Hp(n)= Gasto máximo.

Hp(1)= Gasto mínimo.

- Índice de Sequía de Caudales

$$SQI = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\sigma}$$

Ecuación (7)

Donde:

Qi= Caudal mensual.

Xi= Caudal medio.

σ= Desviación estándar.

- Sequía con respecto del gasto medio

Se evaluó mediante el uso del software MASHWIN 2.0 utilizando gastos de truncamiento del 75%, 85% y 95%

Resultados

Dentro del análisis de sequía meteorológica para los 3 escenarios de los 2 periodos se obtuvo lo siguiente:

IFM se generarán zonas donde se obtiene un valor más grande de dicho índice en los 3 escenarios, magnificándose para el escenario RCP 8.5 lo cual nos indica que la lluvia se volverá más erosiva lo cual trae como resultado menores zonas de cultivo, es decir suelos menos fértiles y a su vez la cuenca tendrá una mayor velocidad de respuesta ante un evento de precipitación extrema propiciando a una mayor posibilidad de inundaciones en las zonas bajas.

En la figura 4 y 5 se muestran los escenarios RCP 8.5 para la estación Cuitzeo (la más cercana al lago) lo cual nos indica que a corto plazo se presentará una sequía intensa al final del periodo al igual que para el largo plazo con duración aproximada de 8 años e intensidad máxima de -2 pasando de sequía severa a extrema.

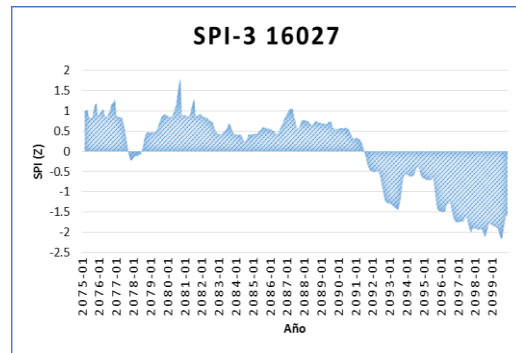
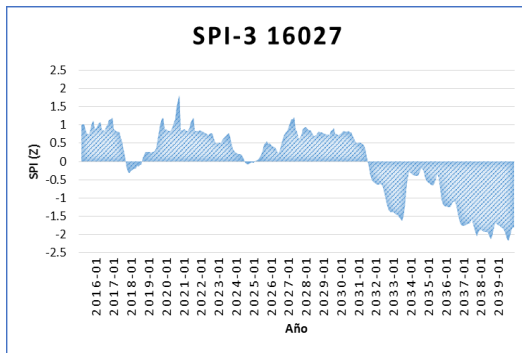


Figura 4. SPI-3 meses Estación Cuitzeo (2015-2039) **Figura 5.** SPI-3 meses Estación Cuitzeo (2075-2099)

En la figura 5 se observa como aumentan los escurrimientos en la parte sur de la cuenca e inversamente en la norte se intensifica la sequía

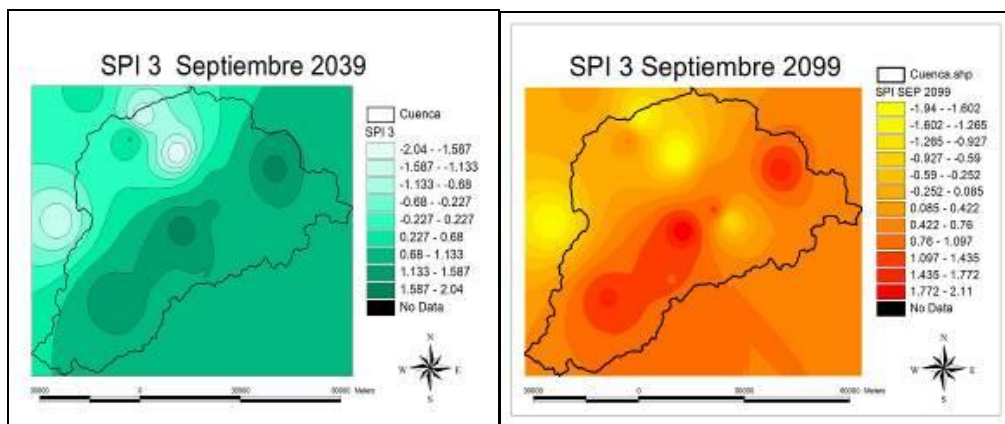


Figura 6. Análisis espacial del SPI. Elaboración propia.

Debido a la escasa información hidrométrica se evaluó únicamente la sequía hidrológica para 2 estaciones hidrométricas correspondientes a los 2 embalses que abastecen la zona de estudio. Se obtuvieron los resultados medios mostrados en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Periodo 2015-2039

Ubicación	Escenario	N° de eventos	Duración (Mes)	Magnitud (m ³)	Intensidad (m ³ /mes)
Queréndaro	4.5	25	8	4	0.63
Santiago Undameo	4.5	25	8.6	12.33	1.81
Queréndaro	6.5	25	8.3	4.3	0.68
Santiago Undameo	6.5	26	8.3	12.48	1.8
Queréndaro	8.5	25	8.4	4.34	0.67
Santiago Undameo	8.5	26	8.2	13.46	1.98

Tabla 3. Periodo 2075-2099

Ubicación	Escenario	N° de eventos	Duración (Mes)	Magnitud (m ³)	Intensidad (m ³ /mes)
Queréndaro	4.5	24	8.5	4.32	0.66
Santiago Undameo	4.5	24	9.1	13.75	1.91
Queréndaro	6.5	25	8.1	4.36	0.69
Santiago Undameo	6.5	27	8.1	13.07	1.99
Queréndaro	8.5	23	9	3.84	0.56
Santiago Undameo	8.5	27	8.1	13.07	1.99

Conclusiones

De la evaluación se concluye que en el periodo histórico se presentaron sequías que no se tenían registradas, así mismo se prevé mediante el modelo que se presentarán sequías con mayor frecuencia, duración e intensidad afectando mayor área en la región, la cual actualmente posee un clima templado y se modificará dañando directamente a los ecosistemas, a la población y a la cantidad de recurso hídrico con la que actualmente contamos. Por tal motivo se propone incorporar los resultados dentro de las dependencias correspondientes para tomar las medidas necesarias ya que como bien lo sabemos el cambio climático es un fenómeno que no lo podemos evitar, sin embargo lo podemos combatir mediante la gestión de los recursos hídricos que poseemos en los embalses y abatir la ineficiencia de uso de los sistemas con que contamos, incluyendo aspectos de calidad, no solo de cantidad y con ello evitar conflictos sociales generados por la escasez de agua.

Referencias bibliográficas

- Aparicio, M.F (1989). "Fundamentos de Hidrología de Superficie". Ed. Limusa. México. Pp 146.
- Bravo, M., García, F., Ríos, E., Mendoza, M., Barrera, G., López, E., Serrato, B. E. y Sánchez, T. (2008). "La Cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, Perspectivas y Retos Hacia su Desarrollo Sostenible". Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, Michoacán. 32 p.
- CONABIO. 2006. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Florescano, M.E., Sancho, C.J., Pérez, G.A.D. (1980). "Las sequías en México: historia, características y efectos". Comercio Exterior. Vol. 30, número 7. México, pp. 747-757.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012). "Estadísticas a propósito del día mundial de la lucha contra la desertificación y las sequías". México. 10 p.
- United Nations (1987). "Our Common Future". Report of the World Commission on Environment and Development.

MODELOS PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA: UN CASO DE APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE LOS ESCURRIMIENTOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO.

RAINFALL-RUNOFF MODELS: A CASE OF APPLICATION IN THE EVALUATION OF RUNOFF TO CLIMATE CHANGE IN MÉXICO.

Liliana García Romero ^{1*}
María Carmen Espinosa Espinosa¹
Sonia Tatiana Sánchez Quispe ¹
Marco Antonio Martínez Cinco ²

Abstract

It is known so far that climate change has always existed, the discussion now lies in the influence it has had the human being so that he is being presented rapidly. The availability of potable water in the world is getting smaller, if we add to this aspect variations in rainfall and temperatures caused by climate change, the situation is aggravated by the simple fact that we must prepare for conditions which are to some extent uncertain. The only tool you have to be able to forecast future climate conditions and thus water availability is mathematical modeling. With this tool it is possible to perform simulations of the hydrological cycle with all its variables and through it understand the likely conditions of our water resources specified period. So it is interesting to pose the route and the situation of Mexico in this situation, what has done and is doing Mexico to look its surface water resources with the effect of climate change? The goal is to understand the situation in which our country is about the modeling of surface resources considering the likely effects of climático. Conocer change the current situation of the country, can also lead to knowing methods used in other countries and know their results to implement other tools and methods that may be appropriate for this type of work.

Key Word: Climate change, runoff, evaluation, modeling.

¹ Departamento de Hidráulica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Departamento de Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

* Departamento de Hidráulica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Calle Puerto de Manzanillo, No. 299, Tinjaro, Morelia, Michoacán, C.P. 58337, México. e-mail: liliana.garcia.romero.19@gmail.com

Resumen

Se sabe hasta ahora que el cambio climático ha existido siempre, la discusión ahora radica en la influencia que ha tenido el ser humano para que éste se esté presentando a pasos agigantados. La disponibilidad de agua potable en el mundo es cada vez menor, si a este aspecto le sumamos las variaciones en las precipitaciones y las temperaturas provocadas por el cambio climático, la situación se vuelve más grave por el simple hecho de que debemos prepararnos para unas condiciones que son hasta cierto punto inciertas. La única herramienta que se tiene para poder hacer pronósticos a futuro de las condiciones climáticas y con ello la disponibilidad de agua, es la modelación matemática. Con esta herramienta resulta posible hacer simulaciones del ciclo hidrológico con todas sus variables y por medio de ella conocer las condiciones probables de nuestros recursos hídricos a determinado plazo. Entonces resulta interesante el hecho de plantear la ruta y la situación de México ante esta situación, ¿qué ha hecho y que está haciendo México para cuidar sus recursos hídricos superficiales ante el efecto del cambio climático? El objetivo es conocer la situación en que se encuentra nuestro país respecto a la modelación de los recursos superficiales considerando los efectos probables del cambio climático, y justificar la implementación de nuevas herramientas. Conocer la situación actual del país, puede además llevarnos a conocer metodologías empleadas en otros países y conocer sus resultados, para utilizar otras herramientas y métodos que pueden ser apropiados para este tipo de trabajos.

Palabras Clave. Cambio climático, escurrimientos, evaluación, modelación.

Introducción

El tema del cambio climático se ha convertido en un tópico de interés mundial sobre todo en los últimos años; para algunos, el hablar de éste tema es preocupante, y para otros simplemente se trata de un lejano futuro al que no tocará encarar. El hecho es que se trata de una realidad que estamos enfrentando a nivel mundial y que no distingue razas ni fronteras. Se llama cambio climático a la modificación del clima en el tiempo con respecto al historial climático registrado a una escala global o regional. La principal evidencia de esta modificación es el aumento de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre. Sin embargo, existen evidencias no menos importantes relacionadas con el nivel del mar, las capas de hielo en las zonas del ártico, la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos y algunos cambios en los ecosistemas. Las lluvias y tormentas más intensas y las sequías prolongadas que se presentan en la actualidad son ya parte de la evidencia de que el cambio climático está ocurriendo. Este fenómeno afecta evidentemente al ciclo hidrológico y con ello la estabilidad de los ecosistemas. Existen factores que determinan el clima de nuestro país. Por su ubicación geográfica, la porción sur de México se encuentra en la zona intertropical del globo terráqueo, en tanto que la porción norte se localiza en la zona templada, lo que hace a México un país altamente vulnerable ante el cambio climático.

Gran parte de las necesidades del agua en el mundo son abastecidas mediante los recursos superficiales, esto se debe a que es relativamente más fácil y menos costoso obtener y transportar el recurso agua de una fuente superficial a una subterránea, por ello el monitoreo del recurso superficial disponible actualmente y a futuro, se vuelve importante. ¿Cómo se verá afectada la disponibilidad del recurso superficial por el cambio climático?; esta es una pregunta que no puede responderse con certeza, pero por medio de herramientas basadas en la modelación matemática pueden hacerse proyecciones de la situación de los recursos hídricos del país bajo los efectos del cambio climático contemplados actualmente; esto a su vez permitirá preparar las medidas necesarias de adaptación y o mitigación del cambio climático en la disponibilidad de los recursos superficiales existentes en una cuenca, tal es el caso de la metodología que se propone en este trabajo.

Metodología

La metodología empleada para la evaluación de los recursos superficiales en una cuenca, consiste primeramente en la evaluación de los modelos matemáticos disponibles y en la elección del que se considere más adecuado dependiendo de la naturaleza del modelo y de los datos que se requieren en la alimentación del mismo, además los datos utilizados

deben ser evaluados y validados estadísticamente para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos. Para agregar el efecto del cambio climático en la disponibilidad del recurso agua, es necesario elegir el Modelo de Circulación General de la Atmósfera que mejor ajuste para la zona, además de los escenarios de cambio climático más adecuados de acuerdo con las tendencias de la región.

En México el Instituto encargado de la producción de datos de cambio climático, es el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), que trabaja en colaboración con otras instituciones gubernamentales, y que actualmente han lanzado los nuevos escenarios de cambio climático para México.

Cada uno de estos escenarios permite obtener series de precipitación y temperatura, que están afectadas por las condiciones que cada uno de estos escenarios representa. Son obtenidos a partir de un modelo ensamble, que resulta de la combinación ponderada de 15 modelos de Circulación General de la Atmósfera. Lo medular de este trabajo, radica en proponer una metodología que permita evaluar de manera cuantitativa el grado de afectación del cambio climático en los recursos superficiales de una cuenca.

Se pretende implementar un modelo que transforma la precipitación en escurrimiento, se trata del modelo de Témez, el cual necesita como insumos las precipitaciones y las temperaturas registradas en la zona de estudio. Como se ha mencionado anteriormente, el INECC proporciona datos de precipitación y temperatura que engloban los efectos del cambio climático, como consecuencia de ello, podemos obtener los gastos con efectos del cambio climático para la zona de estudio.

La metodología permite hacer comparaciones cuantitativas con los resultados obtenidos de la modelación superficial considerando el efecto del cambio climático y sin considera el efecto de éste; permitiendo entonces la evaluación de la disminución o el aumento del recurso agua para la zona en estudio.

Zona de estudio

Se propone una herramienta desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia, para evaluar los efectos del cambio climático en los recursos superficiales en la cuenca del río Tuxpan. La cuenca tiene una superficie aproximada de 1900 km², ésta resulta ser una zona de interés conjunta, puesto que esta cuenca pertenece a la Región Hidrológica del Río Balsas pero es administrada por la Región Hidrológica de la cuenca del Valle de México; esta cuenca es la de mayor extensión superficial de aporte al sistema Cutzamala de la Ciudad de México, D.F.

De acuerdo con el INECC, en los últimos años se ha registrado disminución en los volúmenes del recurso superficial de agua que esta cuenca produce, además se tiene contemplado que para los años futuros ésta presente déficit del recurso, esto sin contemplar los efectos que el cambio climático pudiera adicionar al ciclo hidrológico en la zona.

Es por ello que se vuelve importante la evaluación del recurso superficial hídrico en esta zona y contemplar el efecto del cambio climático en la modelación. De acuerdo con los trabajos que se han presentado en México sobre la evaluación del recurso superficial bajo los efectos del cambio climático, no se ha presentado una visualización clara del grado de disminución o aumento de los gastos entregados a la salida de una cuenca contemplando fenómenos como el cambio climático.

La evaluación de los recursos superficiales en México se ha implementado bajo el esquema de algunos modelos matemáticos incorporados a software especializado, o bajo metodologías establecidas que si bien. Por sí solas no contemplan los efectos del cambio climático, poco a poco se ha buscado la amana de incorporar los en la modelación. Entre las herramientas más utilizadas en México, se tiene la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana 011 de la Comisión Nacional del Agua (NOM-011-CONAGUA-200) la cual evalúa la disponibilidad media anual hídrica en la cuenca, sin embargo no se tienen estudios que involucren el cambio climático en la determinación de esta disponibilidad bajo la metodología que se presenta en esta Norma.

Existen otros modelos utilizados en la gestión de recursos hídricos en México, algunos suelen presentar ciertas complejidades debido a variables propias del modelo o a la naturaleza de los datos con que se realiza la modelación. En nuestro país se han utilizado modelos matemáticos que simulan y determinan los escurrimientos superficiales, sin embargo no suelen considerar los efectos que el cambio climático pudiera ocasionar en los escurrimientos de la cuenca; si de por si la modelación es compleja, al incorporar este tipo de fenómenos el proceso se vuelve aún más complejo.

Stella es un modelo utilizado en México para la gestión de los sistemas de recursos hídricos, en él puede simularse el proceso lluvia-escurrimiento y con ello determinar los escurrimientos disponibles en la cuenca. Este modelo es utilizado en la cuenca Lerma-Chapala y en la Cuenca del Valle de México., sin embargo la situación de su manejo resulta compleja. Es por ello que resulta aún más complicado intentar hacer simulaciones agregando al modelo datos que contengan los efectos del cambio climático y así conocer la disponibilidad de agua en la zona bajo las circunstancias que este fenómeno incorpore.

WEAP es un modelo muy completo, que también es utilizado para la gestión de los recursos hídricos en México, incorpora la modelación de los escurrimientos superficiales; sin embargo nuevamente no se han determinado por medio de esta herramienta los efectos del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico a intervalos de tiempo futuros.

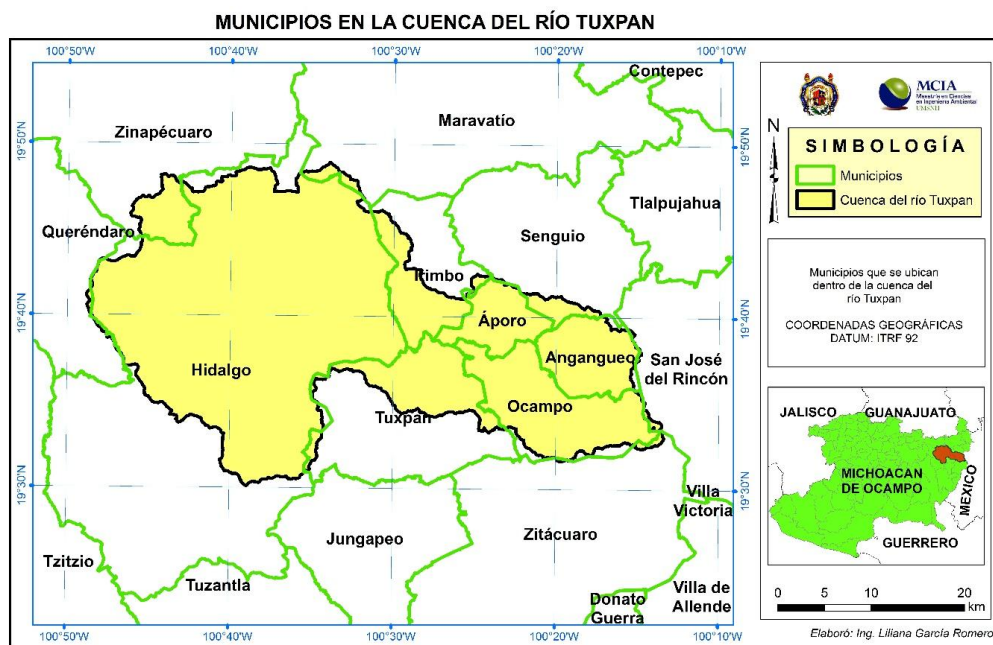


Fig. 1. Ubicación espacial de la cuenca del Río Tuxpan, Michoacán

Para el caso de la cuenca del río Tuxpan en el estado de Michoacán, en México. Se ha implementado una herramienta desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia. Se trata de un modelo de lluvia-escurrimiento que se anida en el software EvalHid, y trabaja bajo los principios del modelo de Témez. A esta herramienta se ingresan las precipitaciones y temperaturas generadas bajo los escenarios de cambio climático, esto permitirá obtener los escurrimientos superficiales considerando los efectos que este fenómeno puede ocasionar en la disponibilidad media anual del recurso superficial para los periodos establecidos por la naturaleza de los datos generados por el

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático en México. De aquí pueden obtenerse datos cuantitativos que permitan evaluar el cambio en la disponibilidad de los recursos hídricos en la cuenca.

El modelo permite también la evaluación del proceso lluvia-escurrimiento con datos de precipitaciones y temperaturas reales. De esta manera podemos tener acceso a dos modelaciones con datos de naturalezas diferentes. En ambos casos se obtienen los gastos medios disponibles a la salida de la cuenca, esto permitirá la evaluación y comparativa de los resultados, obteniendo cuantitativamente el grado de afectación en la disponibilidad hídrica media anual para esta cuenca.

Conclusiones

Los modelos lluvia escurrimiento son una herramienta importante en la gestión de recursos hídricos. El cambio climático es un factor importante que debe considerarse en la disponibilidad de agua en un tiempo futuro.

La modelación matemática es la única herramienta que se tiene para pronosticar las posibles variaciones del clima en el futuro y con ello la disponibilidad de los recursos hídricos para una zona en estudio.

La modelación de los escurrimientos superficiales mediante un modelo precipitación-escurrimiento, permite, además de conocer la disponibilidad de agua en la cuenca al tiempo actual, conocer la disponibilidad del recurso agua a corto, mediano y largo plazo, considerando los efectos probables del cambio climático en la cuenca.

Existen herramientas desarrolladas, que de explorarse pueden arrojar muy buenos resultados, dado que dependiendo del grado de fineza y de la escala de la zona en estudio puede inclinarse por el uso de una o de otra.

Referencias bibliográficas

- Paredes, J., Solera, A., Andreu, J., Lerma, N. "Herramienta EvalHid para la evaluación de recursos hídricos. Manual técnico". Valencia, España: Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos, Universidad Politécnica de Valencia. 50pp.
- Sáenz-Romero C, Rehfeldt GE, Crookston NL, Duval P, St-Amant R, Beaulieu J, Richardson BA. (2009). "Estimaciones de cambio climático para Michoacán. Implicaciones para el sector agropecuario y forestal y para la conservación de la Mariposa Monarca". Editado por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán.
- Sahuaquillo A., E. Cassiraga, Solera A. y J.M. Murillo. "Modelos de uso conjunto para aguas superficiales y subterráneas", Instituto Geológico y minero de España, España.
- Orlando, M. R. 2010. "Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones". México D.F. (México). pp 20 - 40.
- Weart, SR (2008). "The discovery of Global Warming". Second Edition, Harvard University Press. <http://www.aip.org/history/climate/co2.htm>.

DISEÑO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR SANEAMIENTO EN LA SUB CUENCA CHUCCHUN, PROVINCIA DE CARHUAZ, REGIÓN ANCASH – PERÚ

DESIGN MEASURES OF ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN SANITATION SECTOR IN SUB BASIN CHUCCHUN, PROVINCIA DE CARHUAZ, REGION ANCASH – PERÚ.

¹ **Arturo Zarzosa Prudencio**

² **Martin Miguel Huamán Carranza**

³ **Cesar Gonzales Alfaro**

⁴ **Randy Muñoz Asmat**

Abstract

The issue of water management involves direct to potable water and basic sanitation in rural and urban level Huaylas, in this case study we will focus on areas so subwatershed Chucchun - Carhuaz; therefore it is important to raise will improve the technical, management and infrastructure of water and sanitation systems that operate the Administration Boards sanitation sub river basin Chucchun that frames the Glacier project. The main objective is to propose the design of adaptation to climate change in the water and sanitation sector in the first step is the diagnosis and evaluating the current situation of water supply systems and sanitation JASS seven of the sub basin Chucchun river, this evaluation involves knowing the quality of water, power supply, current demand, the current infrastructure, organization and management systems of JASS. This research seeks to identify adaptation measures to climate change in the sanitation sector to be applied in improving design, operation, maintenance and management of water and sanitation systems by the management boards representing each village or town located in the area of influence of the sub river basin Chucchun.

KeyWords: climate change, risks, glacial retreat, Sanitation Services, watershed

¹ CARE – PERU. Consultor de Proyectos, estudios de ingeniería en riesgos y cambio climático.

² CARE – PERU. Investigador catedrático Escuela Académico profesional de Ingeniería Sanitaria, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

³ CARE – PERU. Coordinador regional del proyecto glaciares 513, medidas de adaptación al cambio climático.

Ancash CARE – PERU. Jr. Recuay N°450 – Independencia, Huaraz, Ancash, Perú. Email: rmunoz@care.org.pe

⁴ CARE – PERU. Especialista del proyecto glaciares 513, medidas de adaptación al cambio climático.

Ancash CARE – PERU. Jr. Recuay N°450 – Independencia, Huaraz, Ancash, Perú. Email: rmunoz@care.org.pe

Resumen

La problemática del manejo del agua involucra de manera directa a los servicios de agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales y urbana a nivel del callejón de Huaylas, en este caso de estudio nos enfocaremos en la Subcuenca Chucchun – Carhuaz; por esta razón es importante plantear mejoras de los aspectos técnicos, de gestión e infraestructura de los sistemas de agua y saneamiento que operan las Juntas Administradoras de los servicios de saneamiento de la sub cuenca del río Chucchun, que enmarca el proyecto Glaciares. El objetivo central es plantear el diseño de medidas de adaptación al cambio climático en el sector agua y saneamiento, en primer paso se ha realizado el diagnóstico y evaluación la situación actual de los sistemas de agua potable y saneamiento de las siete JASS de las sub cuenca del río Chucchun, esta evaluación involucra conocer la calidad del agua, fuentes de abastecimiento, la demanda actual, la infraestructura actual, la organización y sistemas de gestión de las JASS. En esta investigación se pretende determinar las medidas de adaptación al cambio climático en el sector saneamiento que van a aplicarse en la mejora de diseños, operación, mantenimiento y gestión de los sistemas de agua y saneamiento a cargo de las juntas administradoras que representan a cada caserío o localidad ubicados en el área de influencia de la sub cuenca del río Chucchun.

Palabras clave: cambio climático, riesgos, retroceso glaciar, Servicios de Saneamiento, cuenca hidrográfica.

Introducción

CARE PERÚ a través de su proyecto glaciares 513 vienen implementando programas, capacitaciones, reuniones de trabajo y organizando el comité de gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Chucchun, por esta razón para conocer la demanda hídrica y que tan vulnerables son al cambio climático, en las localidades cercanas a la subcuenca se plantea esta investigación y evaluación de las JASS de la subcuenca que son las localidades de Pariacaca, La Soledad, Huantay, Coyrocsho, Obraje comunidad, Obraje Caserío y Baños la Merced, que han mostrado interés y mucha importancia al trabajo que se va realizar para mantener el recurso hídrico de la cuenca.

El objetivo principal de esta investigación es determinar el diseño de medidas de adaptación al cambio climático referido al sector agua y saneamiento de la zona rural y urbana dentro del área de influencia de la subcuenca del río Chucchun, el cual determinara nuevas formas y aspectos técnicos, económicos, de organización, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, para tal fin se ha realizado estudios y medidas en campo, realizando las entrevistas a los poblaciones y verificando el estado actual de sus fuentes de abastecimiento, se midió la cantidad, calidad, cobertura, vulnerabilidad, infraestructura, operación, mantenimiento y gestión de las JASS como entes responsables de los sistemas de agua y saneamiento en cada localidad. La problemática del agua y saneamiento es un punto muy importante en el manejo de cuencas hoy en día las instituciones como CARE PERÚ y el proyecto glaciares están tomando en cuenta la situación de agua potable y saneamiento de estas localidades para poder planificar, plantear y ejecutar estrategias de desarrollo y protección de estas poblaciones en el marco del cambio climático, realizando una fuerte intervención en las fuentes de agua de los sistemas de abastecimiento de agua potable que actualmente están siendo vulnerables por la falta de una buena gestión y educación sanitaria ambiental de los recursos. La preocupación está latente por la variación de uso de las fuentes de agua de la cuenca y de los conflictos sociales y ambientales que se vienen dando en el país, y aun no se puede implementar aspectos técnico cuando no se tienen las bases exactas y de la situación de las zonas rurales en el país, CARE PERÚ y el proyectos Glaciares quiere contribuir a desarrollar estas capacidades que van ayudar a la buena gestión del uso del agua y que mejora la gestión de las JASS como operadores de los servicios de agua y saneamiento de las localidades de la sub cuenca del río Chucchun, con el objetivo de mejorar la oferta y calidad del agua potable

Metodología y Resultados.

Identificación de zonas de estudio.

La aplicación de este diagnóstico se desarrolló en 7 localidades que se encuentran en la subcuenca del río Chucchun, al inicio de este estudio se realizó la invitación a todas las asociaciones y juntas administradoras reconocidos por la

municipalidad provincial de Carhuaz, de las cuales 7 localidades que pertenecen a la subcuenca estas son: Caserío La Soledad, Huantay, Obraja Caserío, Obraje Comunidad, Coyrocsho, Baños la Merced y Pariacaca mostraron su apoyo e interés para el desarrollo de este estudio. Para el caso de la zona urbana se tomó el mismo distrito de Carhuaz que lleva el mismo nombre la ciudad con unos 15000 habitantes aproximadamente y que emplean agua superficial del río Chucchun para su sistema de abastecimiento de agua potable para la población Carhuacina. De todo este conjuntos de localidades se va a identificar las fuentes de agua y sistemas de saneamiento que tienen influencia en el comportamiento hídrico de esta subcuenca. A continuación se detalla la ubicación de cada localidad evaluada en este diagnóstico

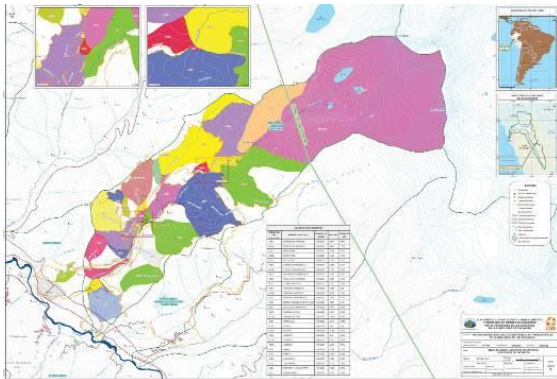


Figura 1. Ubicación de la subcuenca Chucchun.

La subcuenca Chucchun, está ubicada dentro de la cuenca del Santa que vierte sus aguas en el océano pacifico como se aprecia en la imagen anterior.

Tabla 1. Identificación de localidades para el estudio

CASERÍO	Altitud (msnm)
Carhuaz (ciudad)	2650
La Soledad	3090
Huantay	3028
Caserío Obraje	2750
Obraje Comunidad	2802
Baños la Merced	3095
Coyrocsho	2920
Pariacaca	3130

Como se muestra en el cuadro se ha identificado a las localidades participantes para este estudio, de todas ellas se han evaluado los aspectos de fuentes de agua, abastecimiento, infraestructura, operación, mantenimiento y gestión de las JASS responsables de cada una de las localidades.

Para cada una de las localidades evaluadas se ha determinado la cantidad de agua disponible en los manantiales que tienen como fuente de captación y del cual utilizan para su sistema de agua potable, se presenta el cuadro de las cantidades determinadas por métodos de aforo en campo, para el caso de la fuente superficial se emplea el correntómetro o caudalímetro y para el caso de los manantiales se empleó el método volumétrico para caudales.

Como se puede apreciar existe en tiempo de avenidas una buena cantidad de agua proveniente de los mismos ojos de agua de cada manantial. Estos datos de forma puntual representan la situación actual de la fuente de agua, es

importante capacitar a las JASS para que puedan hacer sus mediciones y controlar la variación de agua de la fuente de captación, eso nos ayudara a obtener datos representativos.

Tabla 2. Medición de Caudales en las fuentes de abastecimiento

Localidades	Fuente de captación	Q lluvia (lps)	Q sin lluvia (lps)
Carhuaz	Rio Chucchun	11795	4975
La Soledad	Tuctarpucro	1.95	1.27
	Cushurucocu	1.40	0.98
	Upapcoto	0.38	0.23
Huantay	Huequish	0.21	0.15
	Quitapashan	2.41	1.69
Caserio Obraje	Huantay	2.08	1.25
Obraje Comunidad	Pochahuaylla	0.96	0.66
	Rambraspukio	0.19	0.13
Baños la Merced	Merced	3.69	2.21
Coyrocsho	Coyrocsho	1.27	0.89
Pariacaca	Uchuyacuta	3.80	2.09

Determinación de cantidad, infraestructura y gestión de sistemas de agua y saneamiento

Se presenta la demanda actual de consumo de agua de los diferentes caseríos pertenecientes a la sub cuenca del río Chucchun. Para el cálculo de cada uno de las fuentes se empleó el método hidráulico de salida de agua por carga de agua con la siguiente fórmula: empleando un coeficiente para tuberías de 0.82 y conociendo el diámetro de salida de cada caja de captación; los caudales máximos horarios y diarios se estima de acuerdo a las constantes K de variaciones de consumo de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones de la Norma OS.100 que considera parámetros de $K_{diario} = 1.5$ y $K_{horario} = 2.0$ para zonas rurales y urbanas

Tabla 3. Determinación de la Demanda de agua para consumo.

Caserío	Caudal Promedio (Lps)	Caudal Máximo Diario (lps)	Caudal Máximo Horario (lps)
Carhuaz	48.09	65.52	120.23
La Soledad	2.12	3.19	4.25
Huantay	0.40	0.60	0.80
Caserio Obraje	0.46	0.69	0.92
Obraje Comunidad	0.42	0.63	0.84
Baños la Merced	0.73	1.10	1.47
Coyrocsho	0.25	0.38	0.51
Pariacaca	1.37	2.06	2.74

Una vez estimado la demanda y la oferta de cantidad de agua disponible para uso y consumo en las localidades de la subcuenca Chucchun para poder generar agua potable, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional con una tasa de crecimiento de la provincia de Carhuaz y teniendo en cuenta el dato de pérdidas por infiltración de las fuentes de manantiales y agua superficial se estima la variación con una proyección de años donde se puede verificar en el grafico que la brecha se acorta y que en épocas de estiaje existe un déficit critico de agua ofertada con el agua que se demanda para el sistema de agua potable.

Infraestructura

Para el análisis de la infrestructura, se ha considerado parámetros de medición cualitativos, de acuerdo a la inspección y toma de datos de campo cada una de las unidades del sistema de agua potable y saneamiento en las

zonas rurales de la subcuenca Chucchun. En el cual se ha valorado de acuerdo al estado (bueno, regular y malo) y que se presenta en el análisis.

En el siguiente cuadro comparativo se detalla la infraestructura evaluada en los sistemas de agua potable de las siete JASS participantes en este diagnóstico:

Tabla 4. Situación actual de la infraestructura de sistema de Agua Potable.

Localidad	Captacion	Línea de Conduccion	Camara Reductora de Presion Tipo 6 y 7	Valvulas de Purga y Aire	Reservorio	Línea de Aduccion	Redes de Distribucion	Conexiones Domiciliarias
Carhuaz	Malo	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
La Soledad	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Huantay	Malo	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Caserio Obraje	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Obraje Comunidad	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Baños la Merced	Regular	Bueno	Regular	Regular	Malo	Regular	Regular	Regular
Coyrocscho	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Pariacaca	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Regular	Regular	Regular

Tabla 5. Situación actual de Saneamiento en las Subcuenca Chucchun.

Caserío	Red de alcantarillado	Buzones	PTAR	Letrinass	Relleno Sanitario
Carhuaz	Regular	Regular	No cuenta	No cuenta	Regular
La Soledad	Regular	Regular	No cuenta	Regular	No cuenta
Huantay	Malo	Malo	No cuenta	Regular	No cuenta
Caserio Obraje	Malo	Malo	Malo	Regular	No cuenta
Obraje Comunidad	Regular	Regular	Malo	Regular	No cuenta
Baños la Merced	Malo	Bueno	No cuenta	Regular	No cuenta
Coyrocscho	Malo	Regular	No cuenta	Regular	No cuenta
Pariacaca	Regular	Regular	Bueno	Regular	No cuenta

Gestión, Operatividad y Cambio Climático

De acuerdo a las mediciones de campo se comprobó que el máximo valor de cloro residual es de 0.25 mg/L cuando la dosis optima debe ser de 1 a 1.5 mg/L a la salida del reservorio; en la muestra de la red de distribución en el último punto de la red el resultado fue de 0.00mg/L lo cual indica que la población está tomando agua entubada y no existe un control técnico y adecuado para controlar el tratamiento del agua de los caseríos.

Tabla 6. Operatividad y manejo del tratamiento de agua para consumo humano.

Caserío	Cloro Residual reservorio (mg/L)	Ultima Casa cloro Residual (mg/L)
Carhuaz	1.50	0.52
La Soledad	0.25	0.00
Huantay	0.25	0.00
Caserio Obraje	0.25	0.00
Obraje Comunidad	0.25	0.00
Baños la Merced	0.25	0.00
Coyrocscho	0.25	0.00
Pariacaca	0.00	0.00

En las comunidades se ha determinado que la administración de las juntas de saneamiento son deficientes por tener sus unidades sin mantenimiento y una operatividad baja, esto se comprueba por la cantidad de infraestructura ya deteriorada y por los datos de desinfección del agua almacenada en el reservorio.

Para conocer las crisis exactas de las fuentes de captación se debe de realizar un monitoreo mensual de cantidad y Calidad por cada una de las JASS y obtener esos datos que se puedan proyectar en un escenario de horizonte a través

del tiempo que se van evaluar en 10 a 20 años, de esos datos se obtiene una tasa y con ese dato la proyección mostraría la realidad de cantidad de las fuentes

También se ha evaluado el escenario de que las fuentes de manantiales se acaben, para este punto evaluado las JASS no cuentan con una asesoría técnica ni especializada relacionado a la disminución y desaparición de los ojos de agua, las JASS tienen la siguiente percepción de acuerdo al siguiente cuadro

Las JASS concuerdan que si se acaba su fuente de manantiales van a buscar otro en promedio 40% para las JASS ubicadas en la cuenca alta, porque ellos conocen que pueden existir más ojos de agua por estar cerca del glaciar y las lagunas. Mientras que las JASS que se ubican en cuenca baja en un 60% tienen como opción utilizar las aguas superficiales del río para que pueda abastecer la demanda futura que pueda existir en sus respectivas poblaciones

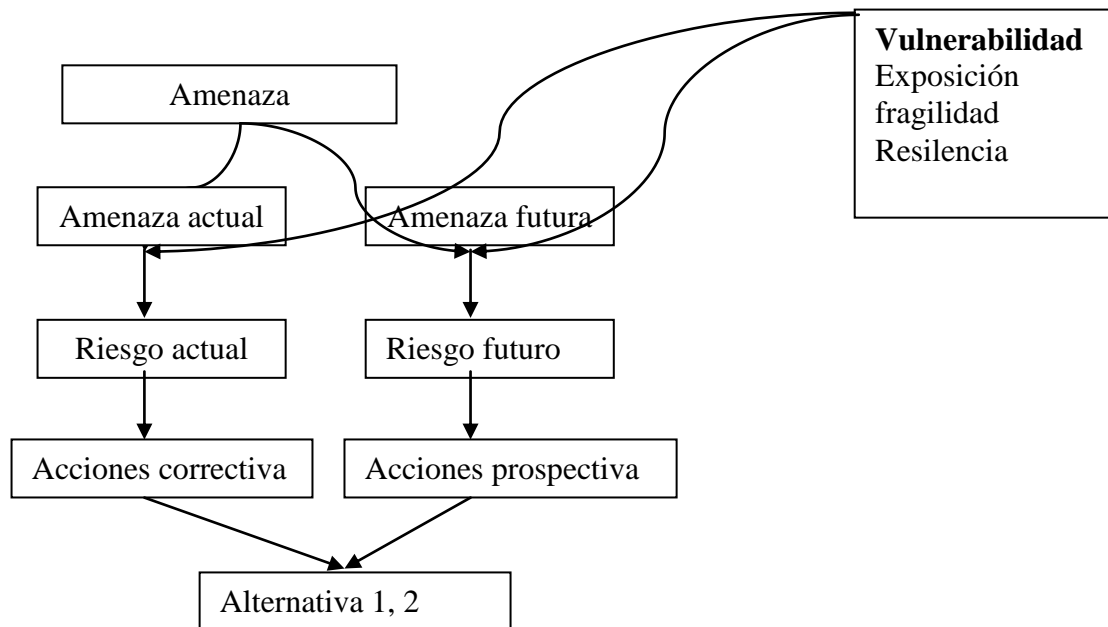


Figura 2. Método de diseño de medidas de adaptación “método Glaciares”.

Resultados

Se presenta el cuadro de identificación de amenazas y peligros que se han desarrollado en la investigación y que han sido valoradas de acuerdo a la situación actual en la que se encuentran los sistemas de agua y saneamiento de la zona rural de la subcuenca Chucchun.

Para la estimación del riesgo se toma en cuenta los análisis ya realizados de las amenazas de los sistemas de agua potable y saneamiento y de las vulnerabilidades identificadas en los apartados anteriores.

De acuerdo al análisis de riesgo que maneja el INDECI también se presenta el cálculo del riesgo en función a los peligros o amenazas y con la vulnerabilidad hallada y analizada para cada una de las localidades de la subcuenca Chucchun:

$$R = P \times V$$

Ecuación (1)

Donde

R: Riesgo

P: Peligro

V: Vulnerabilidad

Donde el riesgo (R) depende del Peligro (P) y de la vulnerabilidad (V), de esta manera se ha propiciado un cálculo matemático de las unidades de los sistemas de agua potable y saneamiento de las localidades estudiadas de la subcuenca Chucchun

Tabla 7. Estimación y valoración del riesgo

Agua Potable	RIESGO						
	LA SOLEDAD	BAÑOS LA MERCED	PARIACACA	HUANTAY	OBRAJE COMUNIDAD	OBRAJE CASERIO	COYROCCHO
Captación	22	28	27	34	26	34	28
Línea conducción	8	10	10	8	6	8	7
Reservorio	7	8	8	8	6	8	7
Redes de distribución	8	10	10	8	6	8	7
Conexión domiciliaria Agua	7	8	8	8	6	8	7
Alcantarillado sanitario							
Buzones	12	15	15	14	11	14	12
PTAR	16	20	19	22	17	22	18
Redes de desagüe	12	15	15	14	11	14	12
Letrinas	9	12	11	12	9	12	10
Conexión domiciliaria desagüe	7	8	8	8	6	8	7
Residuos Sólidos							
Recolección	9	12	11	12	9	12	10
Relleno Sanitario	11	13	13	16	12	16	13

Para la evaluación del riesgo se determina los siguientes valores de análisis y que serán relacionados con los datos calculados y estimados que se presentan para ambas zonas de la subcuenca.

Tabla 8. Cuadro de Valoración de riesgos

TIPO DE RIESGO	VALORACION
RIESGO BAJO	<1 – 10>
RIESGO MEDIO	<11 – 15>
RIESGO ALTO	<16 – 25>
RIESGO MUY ALTO	<26 – 50>

Tabla 9. Diseño de medidas de Adaptación en saneamiento

Amenazas	Impactos	Medida Adaptación
Sequía Prolongada	Perdida de áreas y praderas	Implementación de embalses naturales en zonas de cuenca alta.
Fenómeno de la Niña	Inundaciones y variación de cantidad de escorrentía	Protección de las zonas con muros de contención, corte y relleno con material adecuado.
Lluvia Fuerte	Generación de erosión de los suelos y manantiales	Propiciar el uso de agua de lluvia para consumo y riego en épocas con buena precipitación.
Variación de temperatura	Evaporación de las fuentes de agua superficial y subterránea	Fomentar la forestación y recuperación de áreas verdes y praderas
Variación de precipitación	Generación de Huaycos o desastres de deslizamiento.	Implementar sistemas de protección y capacitación constante a la población.

Conclusiones y Recomendaciones

La situación actual de los servicios de agua potable y saneamiento de las siete JASS de la sub cuenca del río Chucchun se encuentran en un estado deficiente por las diferentes aspectos encontrados y que han sido evaluados en

las visitas realizadas a cada una de ellas, es de urgencia y de importancia tener en cuenta un plan de implementación y mejorar las capacidades de las JASS y de las poblaciones pertenecientes a la sub cuenca que enmarca el proyecto Glaciares 513.

La infraestructura de los servicios de agua y saneamiento se encuentran en estado regular y deficiente en todos los caseríos evaluados y el principal problema es la falta de mantenimiento del sistema de agua y saneamiento, donde se aprecia el deterioro de la infraestructura y de las instalaciones, la operación es deficiente ya que no se está clorando y no se llega a cumplir el parámetro de calidad para ser declarado como apto para consumo humano, como se puede observar en los cuadros mostrados en la evaluación, En casi todas las JASS no cuentan con operador técnico especializado y para los trabajos e instalaciones se ejecutan como trabajos comunales sin previa capacitación o guía técnica que se deben de brindar las JASS.

En relación al cuidado y preservación de las fuentes de aguas de las localidades, se ha demostrado que ellos conocen que sus fuentes de agua se recargan por las precipitaciones pluviales de la zona y también por la presencia de ríos, pequeños canales naturales y fuentes que se generan por las lluvias en la zona del callejón de Huaylas. Por esta razón se plantean medidas de adaptación, en unidades importantes del sistema de agua como lo es la zona de captación de aguade manantial, el sistema de almacenamiento de agua tratada y la unidad de PTAR que una unidad que es susceptible a los efectos climáticos en su operatividad por las condiciones antes descritas. Esto se plantea para tener consideraciones para el diseño técnico y económico de estas unidades en los futuros proyectos de agua y saneamiento.

Los conflictos por el agua es otro aspecto que están viviendo las localidades, no existe una equidad y distribución de las fuentes de manantial lo cual propicia descontento y problemas sociales. Existen localidades que quieren captar agua superficial del río para su consumo, pero aun social y económicamente no están preparados para manejar un sistema más complejo de potabilización de agua.

Bibliografía

- Agüero Pittman, Roger. Agua Potable para Poblaciones Rurales - *Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento, Asociación Servicios Educativos Rurales (SER)*, Reimpreso 2003.
- CARE-PERU. Metodo Glaciares; medidas de adaptacion al cambio climático, *Proyecto Glaciares 513 - Adaptación al cambio climático y reducción de riesgos de desastres por el retroceso de los glaciares en la Cordillera de los Andes*, Carhuaz – 2013.
- RNE (2010) Reglamento Nacional de edificaciones, *Norma OS.100, Norma OS.010, Norma OS.020*, Perú 2010
- Estudio Geológico de Lima, INGEMMET 1981
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) Plan de operaciones de emergencia para el área Metropolitana de Lima y la Región del Callao: Documento base. Perú.
- Meuli C. & Wehrle K., Spring Catchment – *Series of manuals on drinking water supply* – Volumen 4, Swiss Center for Development Cooperation in Technology and Management – SKAT, Suiza, 2001.
- Zecenarro E., Consideraciones para el diseño de sistemas de agua potable para el medio rural, *Programa de Salud Comunitaria en el Trapecio Andino – PSCTA*, Perú, 1994.