



CICLO DE CONFERENCIAS: TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE RECURSOS NATURALES

Uso de aguas residuales en la agricultura.
Estudio de Caso, Tulancingo, Hidalgo

Dra. Elizabeth Hernández Acosta

30 Marzo 2012

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL AGUA EN EL MUNDO Y MÉXICO

El agua es un elemento indispensable para el funcionamiento y desarrollo de la sociedad.

El problema de la mala calidad del agua, por efecto de la contaminación, puede ser lo que ocasione una severa escasez en los próximos años.

El Valle de México, con menos de **200 m³/hab/año**, tiene una disponibilidad extremadamente baja,

Mientras que la región Frontera Sur, con sus más de **24 mil m³/hab/año**, cuenta con una disponibilidad muy alta del líquido.

Aguas residuales en el mundo y América Latina

A mediados del Siglo XIX muchas ciudades europeas y norteamericanas recurrieron al riego de los cultivos como medio de evacuación de esas aguas.

Las granjas de aguas residuales, como entonces se denominaron, se crearon en el Reino Unido, desde 1865

Estados Unidos de América, en 1871;

Francia, en 1872;

Alemania, en 1876;

India, en 1877,

Australia, en 1893; y

México, en 1904.

Lo que impulsó esta forma de aprovechamiento agrícola de las aguas residuales fue **impedir la contaminación de ríos, más que aumentar las cosechas.**

Actualmente, muchos de estos países tratan sus aguas residuales y vierten sus aguas a los ríos, sin originar una contaminación apreciable.

Las excepciones fueron Australia y México

Además, existe un incremento en el uso de aguas residuales para regadíos, especialmente en zonas semiáridas de países desarrollados o en desarrollo.

Praderas del DR028, Tulancingo, Hgo



Aguas Residuales. Aguas que resultan de actividades urbanas, industriales, agrícolas o pecuarias, portan sustancias o materiales indeseables de muy distinta naturaleza, según su origen (compuestos orgánicos, metales pesados, microorganismos, etc.).



Salida de Aguas residuales de la ciudad de Tulancingo, Hidalgo



Influencia de la industria en los cuerpos de agua de Tulancingo, Hidalgo



Influencia de la actividad ganadera en Tulancingo, Hidalgo

COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Formadas por 99.9% de agua y 0.1% de otros materiales: Sólidos en suspensión coloidales o disueltos, que contienen nutrimentos de las plantas (nitrógeno, fósforo y potasio) y micronutrimentos (cobre, hierro y zinc).

Las concentraciones totales de nutrimentos en las aguas residuales sin tratar suelen variar entre:

10 y 100 mg L⁻¹ (nitrógeno),

5 y 25 mg L⁻¹ (fosforo)

10 y 40 mg L⁻¹ (potasio).



Coliformes
heces de humanos
y animales

UN DATO

Duncan y Cairncross (1990)

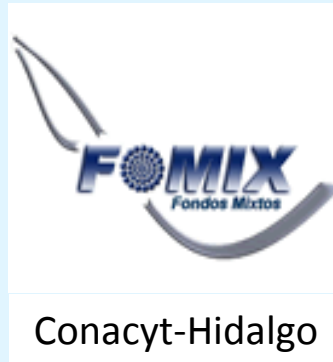
La producción de aguas residuales suele ser de 80 a 200 L por persona por día, de 30 a 70 m³ por persona al año.

En zonas semiáridas, donde la demanda de agua es, por ejemplo, de 2 m³ al año, las aguas residuales procedentes de una persona pueden servir para regar de 15 a 35 m² de tierras.

Una ciudad de un millón de habitantes producirá suficiente agua para regar de 1 500 a 3 500 ha.

Descargas domésticas originadas de la ciudad de Tulancingo, Hidalgo





Evaluación ambiental, edafológica y económica de suelos agrícolas regados con aguas residuales en el Distrito de riego 028, Tulancingo, Hidalgo

Dra. Elizabeth Hernández Acosta. UACH. Responsable del Proyecto

Dr. Juan Enrique Rubiños Panta. Colegio de Posgraduados. Colaborador

Ing. Francisco Montoya Reyes, la Ing. UACH. Tesista

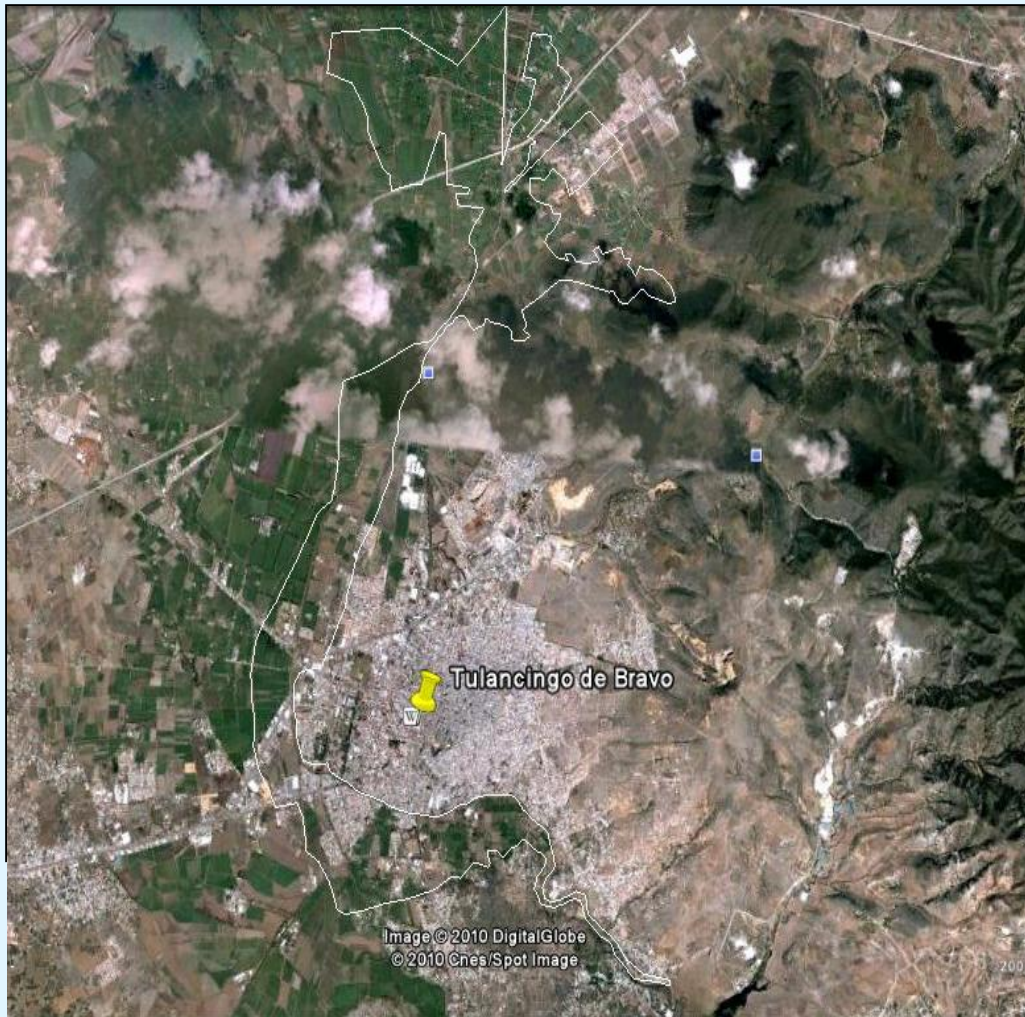
Ing. Rosalba Díaz Pérez. UACH. Tesista

Biol. Susana Noguez Domínguez. IMSS. Tesista

Ing. Samuél Pérez Vázquez. UACH. Tesista

Hector Escorsia. Canalero del DR 028, Tulancingo, Hidalgo

DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO



El Módulo I, superficie de 328 ha recibe aguas grises suministradas de la presa La Esperanza (Cuautepec de Hinojosa).

A su paso por la ciudad de Tulancingo, estas aguas reciben descargas municipales que las convierten en aguas negras, las cuales se reciben en el Módulo II, superficie de 669 ha.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE AGUAS RESIDUALES UTILIZADAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 028, TULANCINGO, HIDALGO

Ing. Rosalba Díaz Pérez

TOMA DE MUESTRAS

Agua

Compuertas principales
Puntos donde existía alguna descarga
Distribución uniforme y representativos
NMX-AA-003-1980

Muestra simple



Suelos y Plantas

Áreas homogéneas de aproximadamente 10 has (cultivo y tipo de suelo, además ser regadas por el agua del mismo canal)

NOM-021-SEMARNAT-2000

Compuesta



PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Agua

NOM-014-SSA1-1993 y NMX-AA-42-1987



Análisis microbiológico y de características físicas y químicas

Esterilización previa

6 horas. Además de que se mantuvieron a una temperatura de 4°C y en la oscuridad.

Metales pesados

Lavado con agua destilada.

Se adicionó (HNO₃), al adicionar éste la muestra tiene un tiempo máximo de almacenamiento de 180 días.

Suelos y Plantas

NOM-021-SEMARNAT-2000



Se refrigeraron a una temperatura de 4°C, en bolsas de papel para las plantas y de plástico para las muestras de suelo.



ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN LAS MUESTRAS DE AGUA

En campo se determinaron los parámetros:

- Temperatura
- Conductividad Eléctrica
- Oxígeno Disuelto

Muestreador
portátil

- Turbidez
- pH
- Sólidos Totales

Laboratorio
portátil



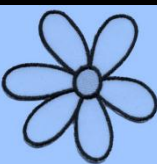
Laboratorio central de la UACH

- Plomo (Pb)
- Cromo (Cr)
- Cadmio (Cd)
- Níquel (Ni)

Espectrofotometría de
absorción atómica

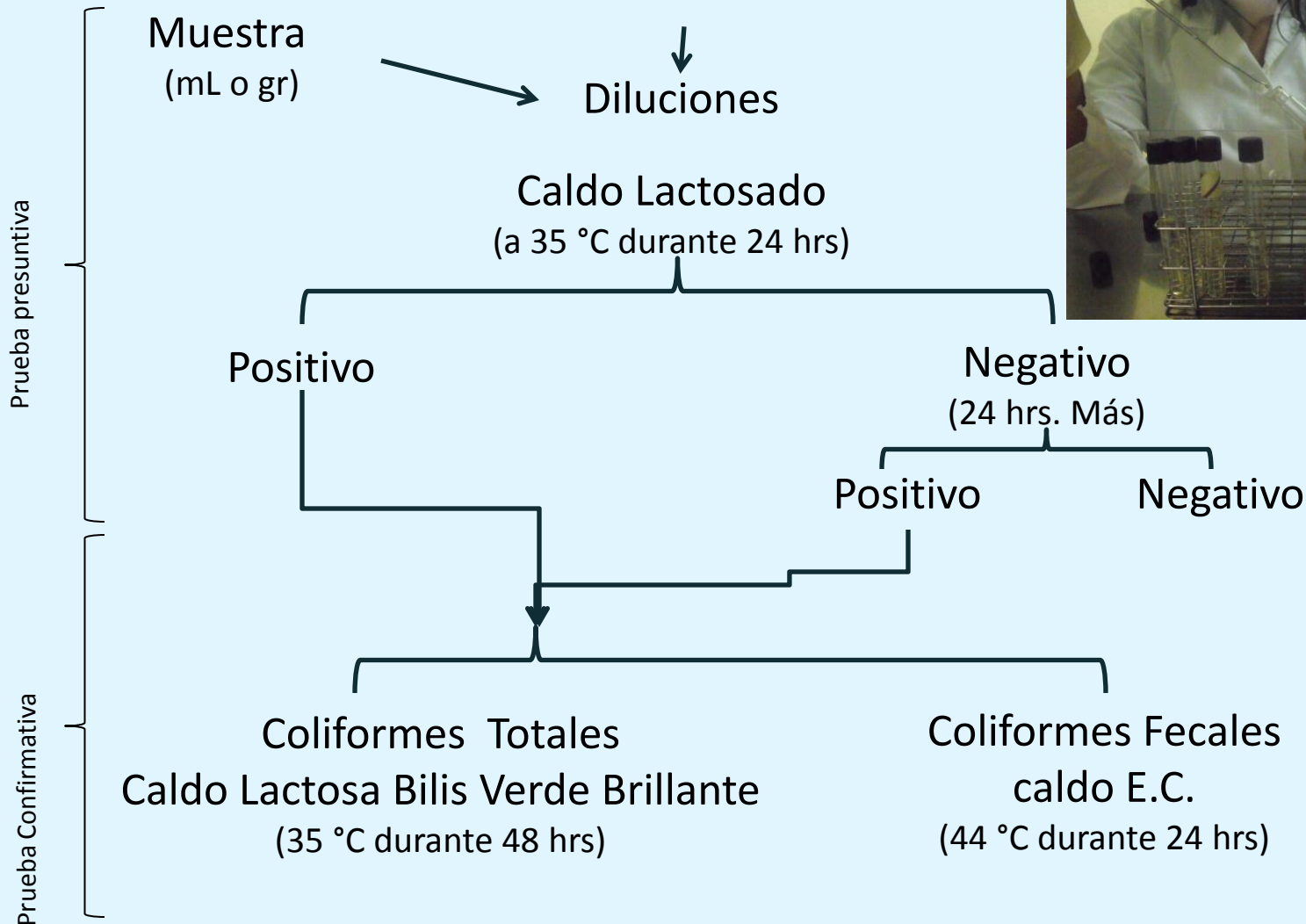
Boro (B)

fotolorimetria con
azometina-H.



DETERMINACIÓN DE COLIFORMES

NMX-AA-042-SCFI-2005



Resultados de las características Físicas y química

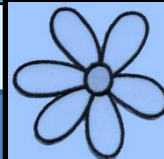
Punto		Tem. (°C)	C. E. (mmhos/cm)	O.D. (mg/L)	Turbidez UNT	pH.	S.T. (mg/L)
1	Presa "La Esperanza"	10.81	0.180	8.880	162.0	7.29	117
2	Derivadora (Hupalcalco)	23.93	0.940	1.340	131.0	7.60	516
3	Punto medio (Ejido Cebolletas)	24.50	0.023	0.026	130.0	7.68	529
4	Cárcamo de bombeo (Ejido Cebolletas)	24.45	0.979	1.250	102.0	7.57	532
5	Descarga de suero (Ejido Santa Ana)	21.88	0.886	1.300	31.5	7.83	347
6	Compuerta para riego (Ejido Santa Ana)	24.97	0.002	6.000	134.0	7.73	520
7	Limite Cebolletas	23.91	0.900	0.320	106.0	6.29	453
8	Límite entre Tulancingo y la Laguna (A)	23.93	1.020	0.260	131.0	7.42	430
9	Cebolletas	23.54	0.840	0.650	210.0	6.37	586
10	Límite entre Tulancingo y la laguna (B)	23.53	1.002	0.330	235.0	6.51	589
11	La laguna	23.48	1.009	0.200	198.0	6.41	581
12	Santa María	22.44	0.747	0.420	111.0	6.78	420
13	Limite de Santa María y Santa Ana	23.63	0.789	0.280	104.0	6.84	438
14	Santa Ana	23.54	1.036	0.220	157.0	6.97	534
15	La Laguna	23.42	0.920	0.250	211.0	6.67	515
	Promedio	22.80	0.750	1.450	144.0	7.06	474
16	Pozo Cebolletas	22.02	0.562	7.930	0.89	6.54	110
	Límite	25	2.0	5.0	150	6.5 a 8.5	1600

Temperatura (T°C.), Conductividad eléctrica (C.E.), Oxígeno disuelto en porcentaje y en miligramos por litro (O.D.), Turbidez, pH, Sólidos totales (S.T)

METALES PESADOS Y BORO EN LAS AGUAS

Punto		Pb (mgL ⁻¹)	Cr (mgL ⁻¹)	Cd (mgL ⁻¹)	Ni (mgL ⁻¹)	B (mgL ⁻¹)
1	Presas "La Esperanza"	0.03	0.04	ND	0.04	0.15
2	Derivadora (Hupalcalco)	0.02	0.04	0.00	0.01	0.54
3	Punto medio (Ejido Cebolletas)	ND	0.26	0.01	0.01	2.47
4	Cárcamo de bombeo (Ejido Cebolletas)	0.02	0.03	0.01	0.02	0.11
5	Descarga de suero (Ejido Santa Ana)	0.03	0.02	0.01	ND	0.00
6	Compuerta para riego (Ejido Santa Ana)	0.02	0.04	0.01	0.01	0.49
7	Límite Cebolletas	0.01	0.10	0.01	0.01	0.31
8	Límite entre Tulancingo y la Laguna (A)	0.01	0.06	0.01	0.03	0.94
9	Cebolletas	0.01	0.06	0.01	0.03	0.63
10	Límite entre Tulancingo y la laguna (B)	ND	0.04	0.01	0.02	0.26
11	La laguna	0.00	0.05	0.01	0.03	0.81
12	Santa María	ND	0.05	0.01	0.05	0.50
13	Límite de Santa María y Santa Ana	0.01	0.05	0.02	0.05	0.34
14	Santa Ana	0.00	0.05	0.02	0.04	0.61
15	La Laguna	0.01	0.05	0.02	0.03	0.46
	Promedio	0.01	0.01	0.03	0.06	0.57
16	Pozo Cebolletas (Testigo)	ND	0.03	0.02	0.04	0.10
	Límites máximos permisibles	0.5	0.1	0.01	0.2	1.5

plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), níquel (Ni) y boro (B)



COLIFORMES EN AGUAS DEL MÓDULO

Punto		Totales NMP/100 mL	Fecales NMP/100 mL
1	Presa "La Esperanza"	302,096,479	302,433,781
2	Derivadora (Hupalcalco)	46,576,962,777	9,811,127,249
3	Punto medio (Ejido Cebolletas)	178,603,078	48,666,666
4	Cárcamo de bombeo (Ejido Cebolletas)	617,544,584	191,317,081
5	Descarga de suero (Ejido Santa Ana)	59,419,999,700	27,741,407,917
6	Compuerta para riego (Ejido Santa Ana)	135,000,000	58,299,438
7	Limite Cebolletas	53,334,866,666	380,766,666
8	Límite entre Tulancingo y la Laguna (A)	153,766,666	14,000,000
9	Cebolletas	900,000	200,000
10	Límite entre Tulancingo y la laguna (B)	54,668,926,155	514,815,835
11	La laguna	5,335,200,100	5,333,638,256
12	Santa María	54,230,635,133	53,711,687,030
13	Limite de Santa María y Santa Ana	103,838,541,523	1,329,160,005
14	Santa Ana	2,032,210,661	382,728,843
15	La Laguna	268,200,000	133,443,333
16	Pozo Cebolletas (Testigo)	130,000	20,000

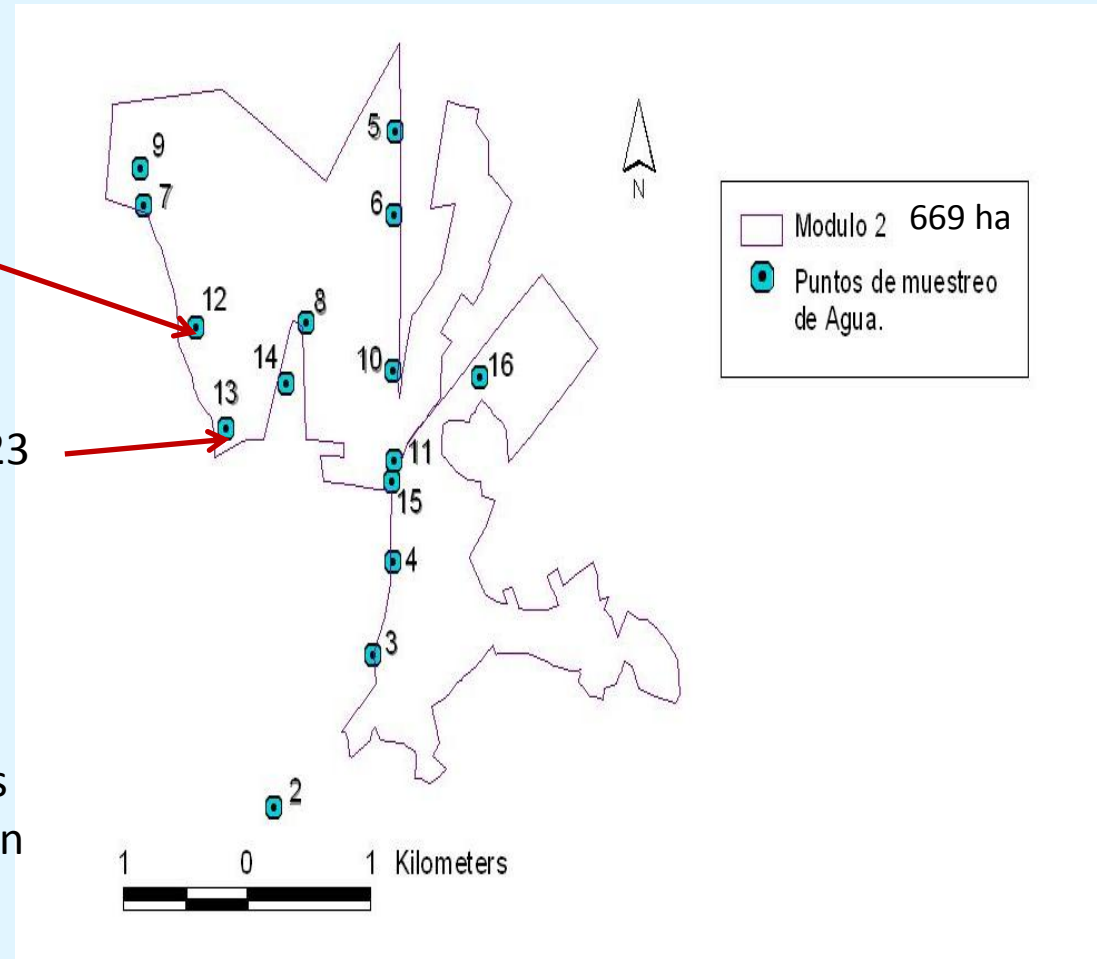
2,000 NMP/100 mL

Límites máximos permisibles establecidos por la
NOM-001-SEMARNAT-1996: 2 000 NMP 100 mL⁻¹

Coliformes fecales 53,711,687,030
NMP 100 mL⁻¹
Escherichia coli

Coliformes totales: 103,838,541,523

Rivera-Vázquez *et. al.* (2007)
evaluaron coliformes fecales en aguas
residuales del río Texcoco y obtuvieron
240 000 000 NMP 100 mL⁻¹



OTRO DATO

La literatura señala que la población que esta en contacto directo con las aguas residuales se enferman diez veces más que una persona que no tiene contacto directo con este tipo de agua.

Cifuentes *et al.* (1993). Reportó que la población cercana al valle del mezquital presentó riesgo de infección por *Ascaris lumbricoides* en la población infantil. Los niños de familias altamente expuestas presentaron con mayor frecuencia enfermedades diarreicas que los de grupo control.

Punto de muestreo	MODULO II, (2009)						
	T °C	C. E. (dS m ⁻¹)	O.D. (%)	O.D. (mg/L)	Turbidez UNT	pH	S.T. (mg/L)
1. Presa la Esperanza	10.81	0.180	80.20	8.880	162.0	7.29	117
2. Derivadora, Huapalcalco	23.93	0.940	16.10	1.340	131.0	7.60	516
3. Punto Medio, Ejido Cebolletas	24.50	0.023	24.45	0.026	130.0	7.68	529
4. Cárcamo de Bombeo, Ejido Cebolletas	24.45	0.979	15.00	1.250	102.0	7.57	532
5. Descarga de suero, Ejido Santa Ana	21.88	0.886	15.10	1.300	31.5	7.83	347
6. Compuerta para riego, Ejido Santa Ana	24.97	0.002	73.00	6.000	134.0	7.73	520
7. Limite Ejido Cebolletas	23.91	0.900	3.80	0.320	106.0	6.29	453
8. Límite Entre Ejido Tulancingo y La Laguna del cerrito(A)	23.93	1.020	3.10	0.260	131.0	7.42	430
9. Ejido Cebolletas	23.54	0.840	7.70	0.650	210.0	6.37	586
10. Límite Entre Ejido Tulancingo y La Laguna del cerrito (B)	23.53	1.002	3.90	0.330	235.0	6.51	589
11. Ejido La Laguna	23.48	1.009	2.40	0.200	198.0	6.41	581
12. Ejido Santa María	22.44	0.747	4.80	0.420	111.0	6.78	420
13. Límite Entre los ejidos Santa Ana y Santa María	23.63	0.789	3.30	0.280	104.0	6.84	438
14. Ejido Santa Ana	23.54	1.036	2.60	0.220	157.0	6.97	534
15. Ejido Laguna de Cerritos	23.42	0.920	2.90	0.250	211.0	6.67	515
16. Pozo Cebolletas (testigo)	22.02	0.562	90.90	7.930	0.89	6.54	110
Promedio	22.74	0.739	21.82	1.85	134.8	7.03	451
LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE NORMATIVIDAD MEXICANA	NA	2.0	Valor crítico <50% (Roldan 2003)	Normal 7.0 a 8.0 Valor crítico 3 mg L ⁻¹	5.0	5.0-10 6.5 a 8.5	Baja 350 Media 720 Alta 1 200 (Sans y Ribas, 1989)

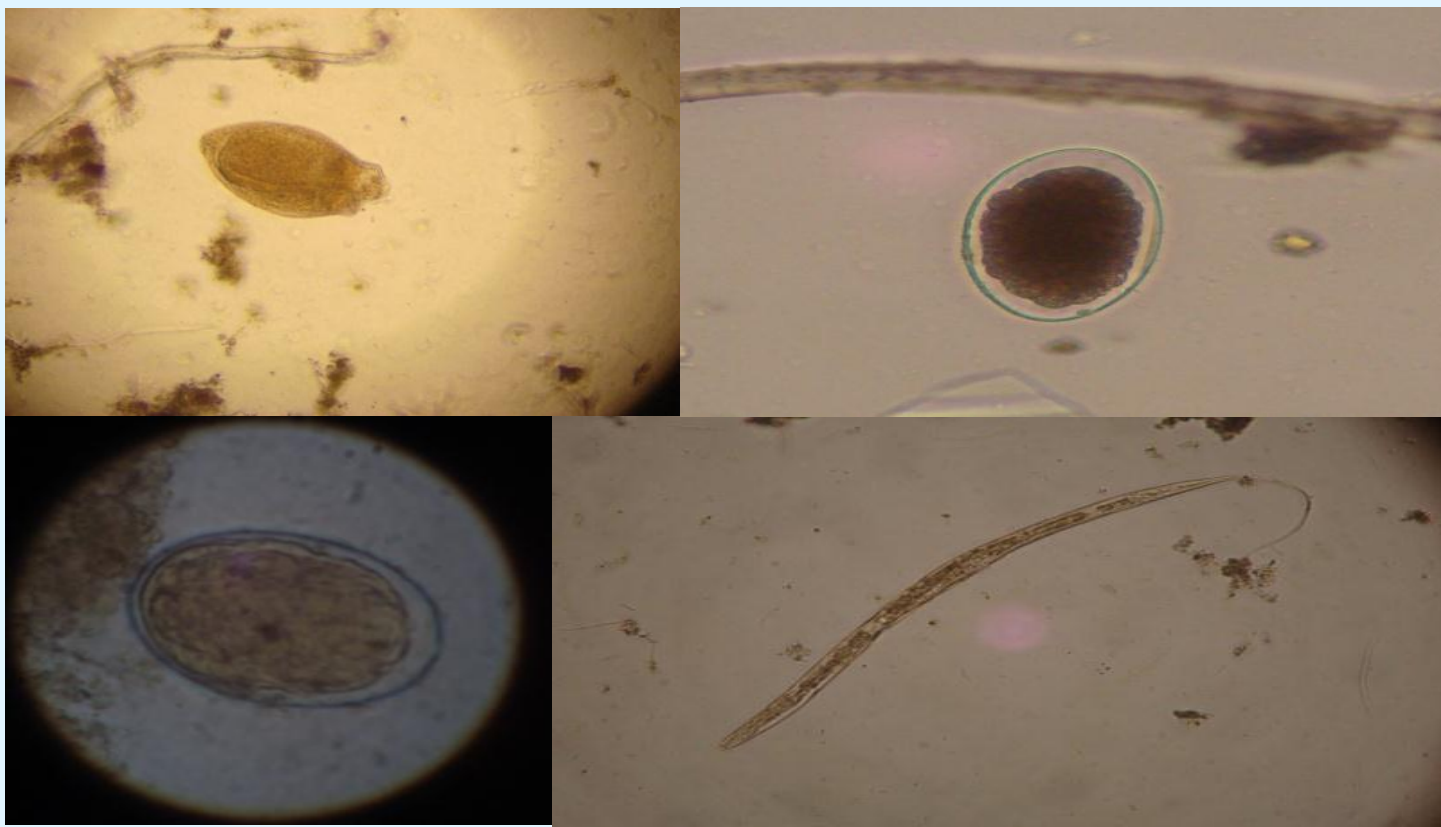
Punto de muestreo	MODULO II, (2010 y 2011)				
	T °C	C. E. (dS cm ⁻¹)	pH	Cianuros Totales (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
1. Presa la Esperanza	11	0.180	7.2	0.008	10.5
2. Derivadora, Huapalcalco	22.3	1.030	7.36	0.008	34.4
3. Punto Medio, Ejido Cebolletas	22.6	0.950	7.41	0.009	17.4
4. Cárcamo de Bombeo, Ejido Cebolletas	22.2	1.060	7.46	0.0085	61.35
5. Descarga de suero, Ejido Santa Ana	17.8	0.800	7.44	0.0087	ND
6. Compuerta para riego, Ejido Santa Ana	25.1	0.990	7.31	0.0075	27.6
7. Limite Ejido Cebolletas	25.3	0.970	7.29	0.01	37.3
8. Límite Entre Ejido Tulancingo y La Laguna del cerrito(A)	25.4	0.950	7.26	0.005	58.65
9. Ejido Cebolletas	25.5	1.010	7.28	0.0075	41.1
10. Límite Entre Ejido Tulancingo y La Laguna del cerrito (B)	26.2	1.000	7.22	0.0083	133.5
11. Ejido La Laguna	27.1	1.005	7.26	0.006	88.8
12. Ejido Santa María	27.9	1.040	7.44	0.0061	19.1
13. Límite Entre los ejidos Santa Ana y Santa María	25.6	1.020	7.48	0.0041	102.1
14. Ejido Santa Ana	23.8	0.960	7.57	0.006	18
15. Ejido Laguna de Cerritos	23.8	0.980	7.43	0.006	66.5
16. Pozo Cebolletas (testigo)	24.1	0.610	6.86	0.0021	10.5
17. Pozo Ejido Tulancingo	22.7	0.960	7.52	ND	ND
Promedio	23.4	0.912	7.34	0.0094	24.9
LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE NORMATIVIDAD MEXICANA	NA	2.0	5-10, 6.5 a 8.5	2.0	15

CONTAMINACIÓN POR BACTERIAS Y NEMATODOS PATÓGENOS EN SUELOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO

Biol. Susana Noguez Domínguez

Punto de muestreo	Número de huevos de helmintos y larvas por litro de agua	
	Huevos	Larvas
1. Presa La Esperanza	0	0
2. Derivadora, Huapalcalco	13	16
3. Punto medio, ejido Cebolletas	24	16
4. Cárcamo de bombeo, ejido Cebolletas	12	15
5. Descarga de suero, ejido Santa Ana	5	3
6. Compuerta para riego, ejido Santa Ana	17	12
7. Limite ejido Cebolletas	12	9
8. Límite entre ejido Tulancingo y La Laguna del Cerrito (A)	15	14
9. Ejido Cebolletas	16	11
10. Límite entre ejido Tulancingo y La Laguna del Cerrito (B)	16	11
11. Ejido La Laguna	0	0
12. Ejido Santa María	0	0
13. Límite entre ejidos Santa Ana y Santa Ma.	9	4
14. Ejido Santa Ana	11	7
15. Ejido La Laguna del Cerrito	0	0
16. Pozo Cebolletas (testigo)	0	0

NOM-001-SEMARNAT-1996. Uso en riego agrícola= 1 HH por litro para riego no restringido, y cinco HH por litro para riego restringido



Huevos de helmintos y larva observados en muestras de aguas residuales del Módulo II del DR 028, Tulancingo, Hidalgo.

Fotografías tomadas por Noguez (2010)

¿Qué tienen las aguas residuales de Tulancingo, Hidalgo?



Tulancingo, Hidalgo DR 028

Cuenca Lechera

Suelos Agrícolas muy productivos (francos, franco arcilloso, franco-arcillo-arenoso)

Cultivos regados con aguas residuales en el DR 028 en Tulancingo, Hidalgo.

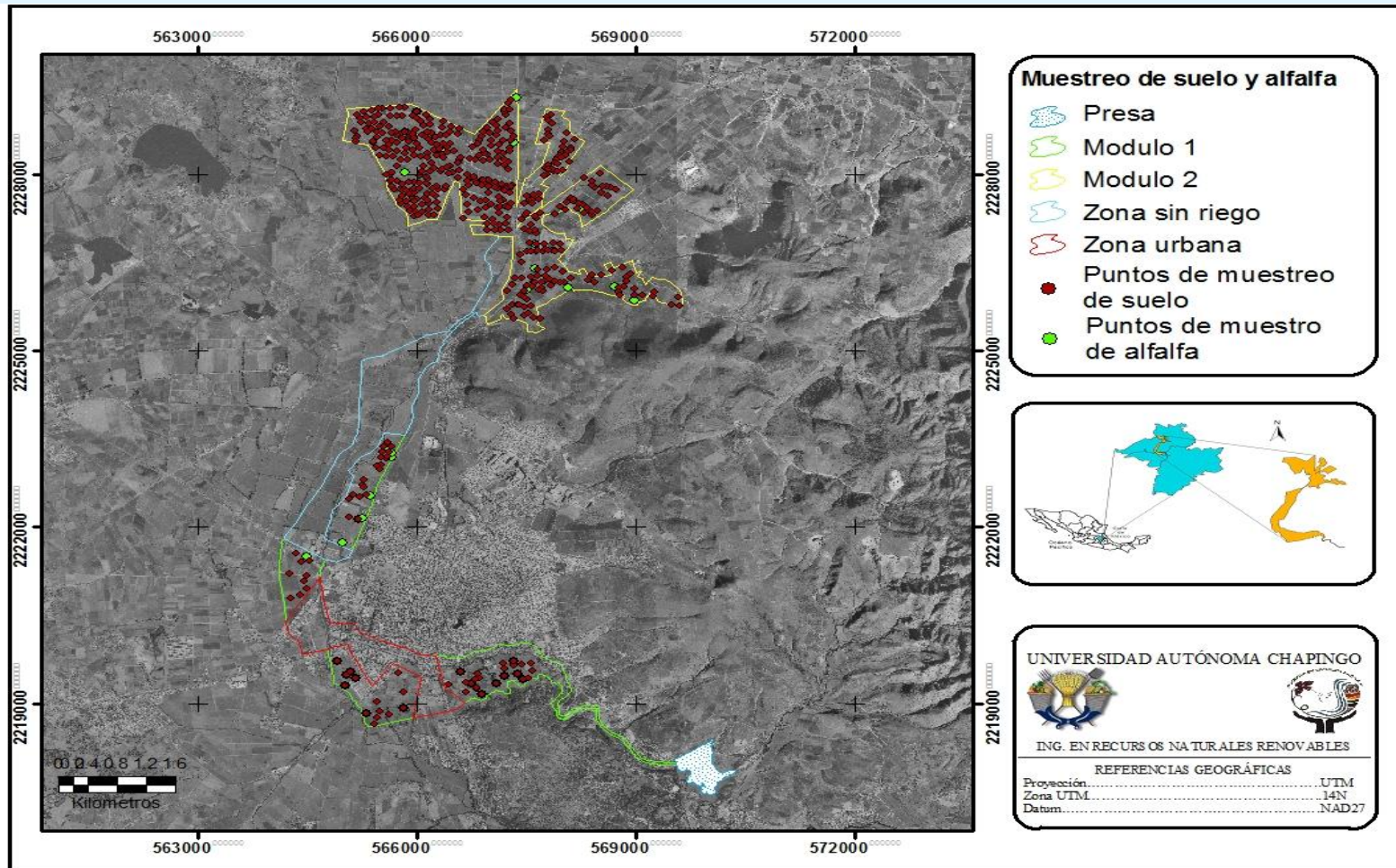


Fabricas de queso en Tulancingo, Hidalgo

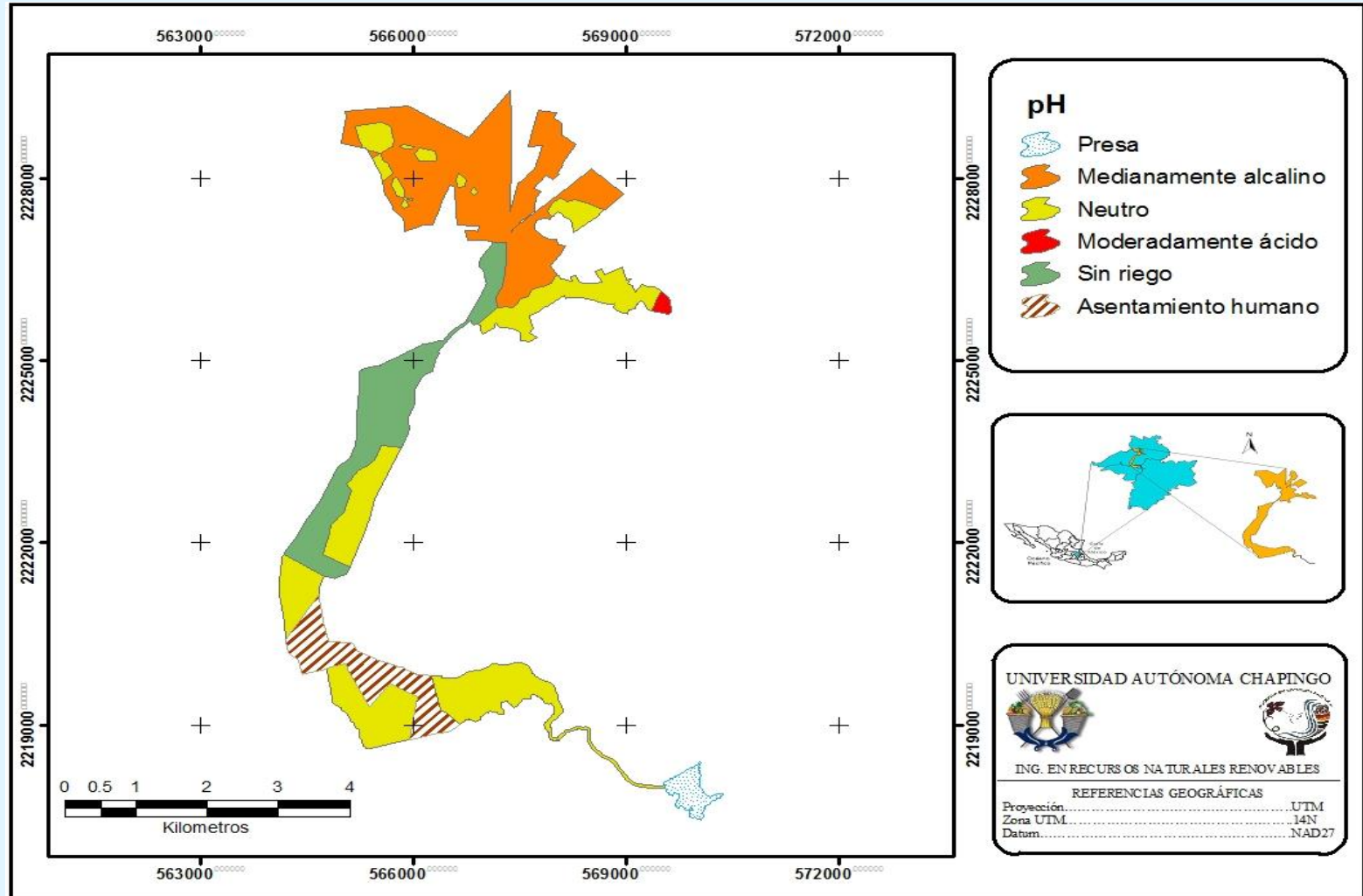


EVALUACIÓN EDAFOLÓGICA DE SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES

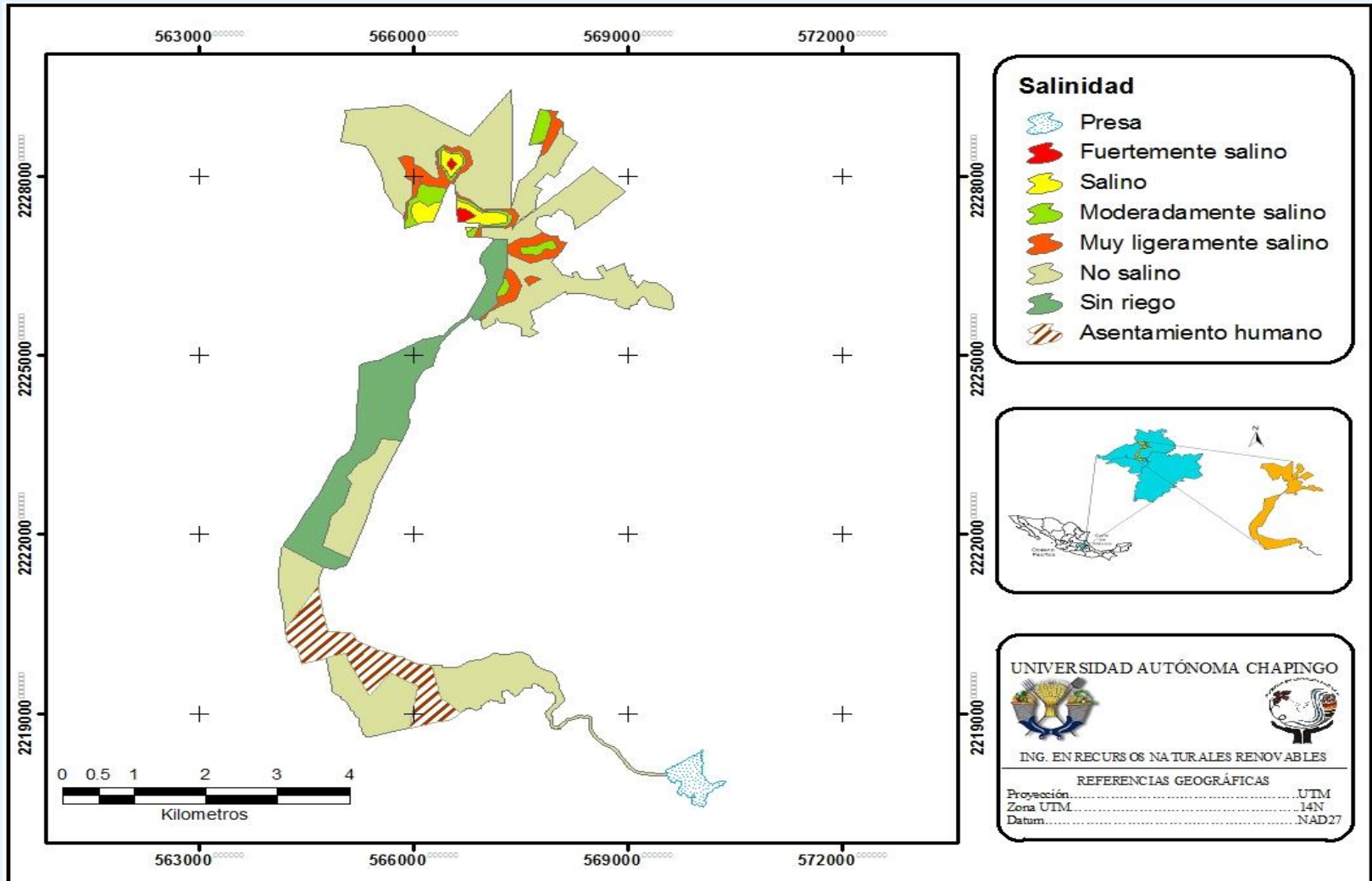
Ing. Francisco Montoya Reyes



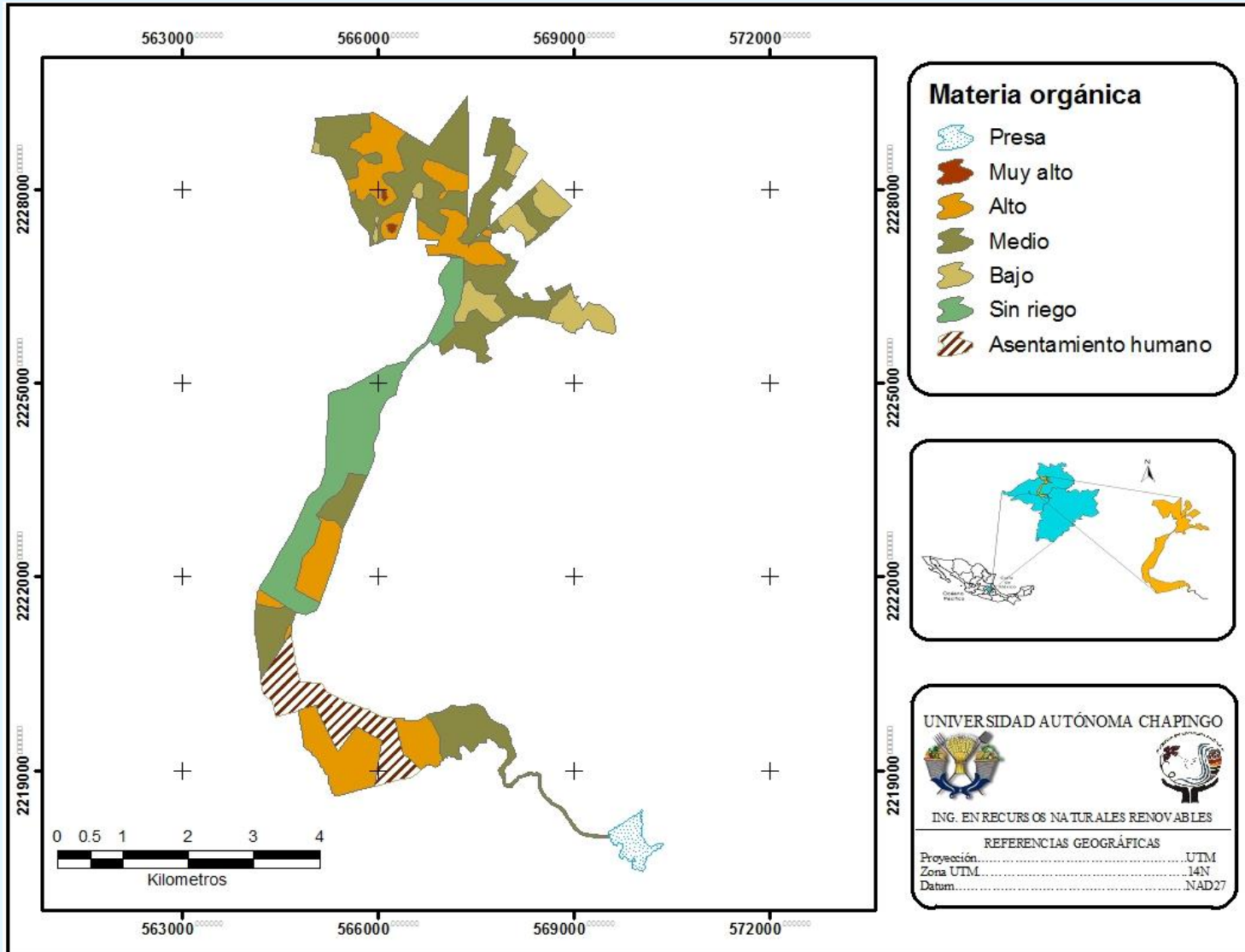
Resultados de pH en suelos regados con aguas residuales del DR 028, Tulancingo, Hidalgo



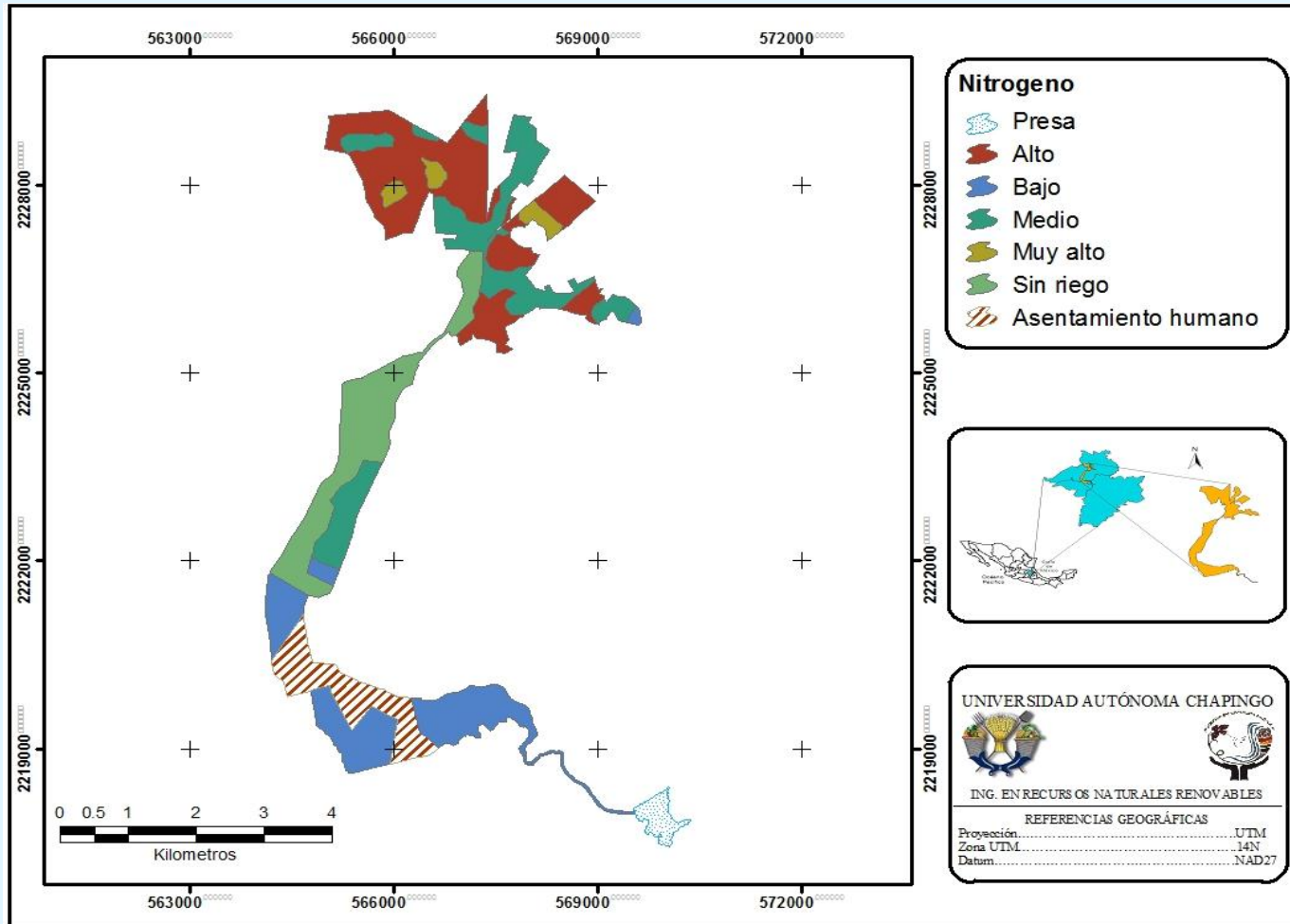
Resultados en la Conductividad eléctrica en suelos regados con aguas residuales del DR 028, Tulancingo, Hidalgo



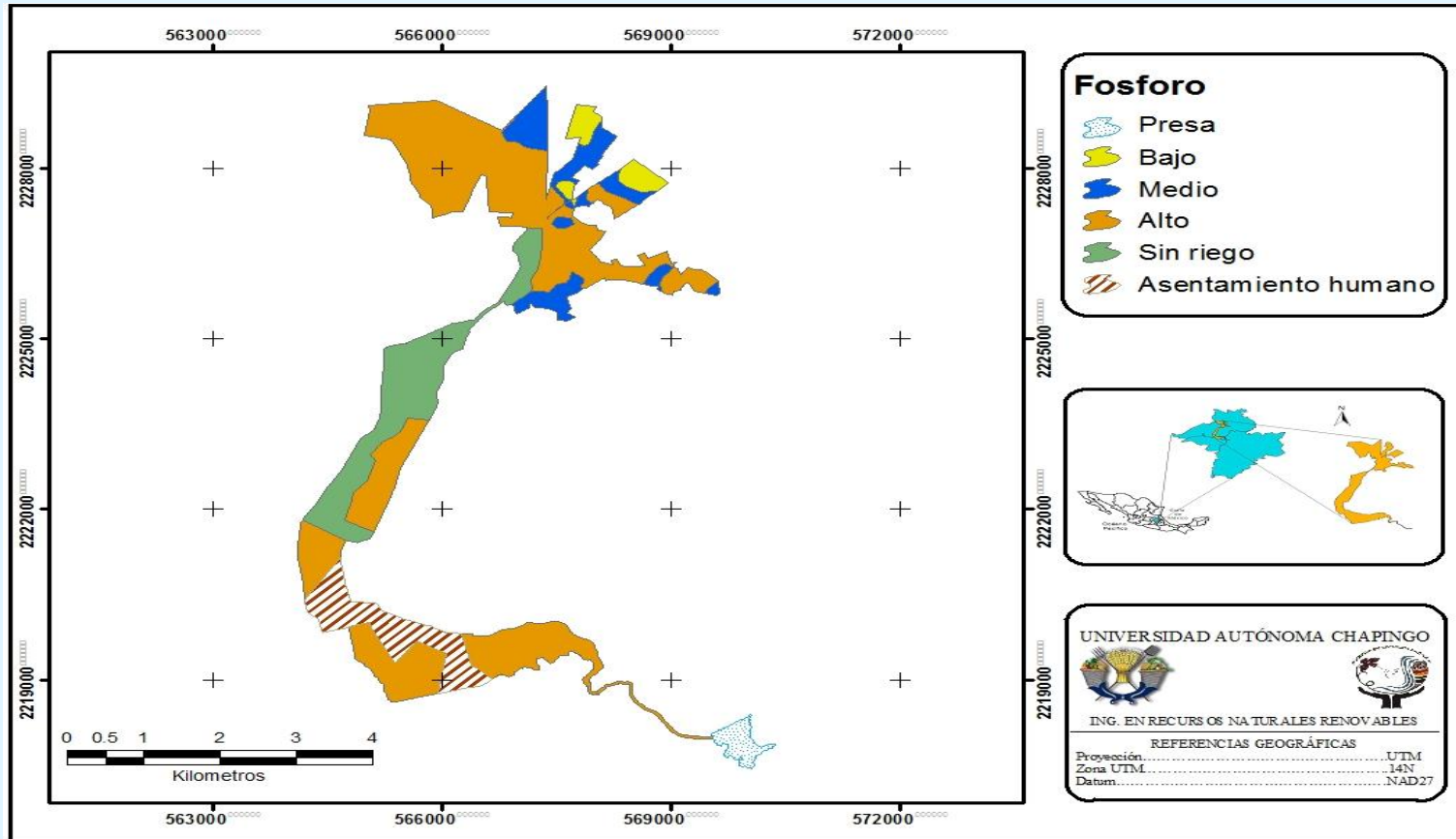
Contenidos de Materia orgánica en suelos regados con aguas residuales del DR 028, Tulancingo, Hidalgo



Contenidos de nitrógeno inorgánico en suelos regados con aguas residuales del DR 028, Tulancingo, Hidalgo

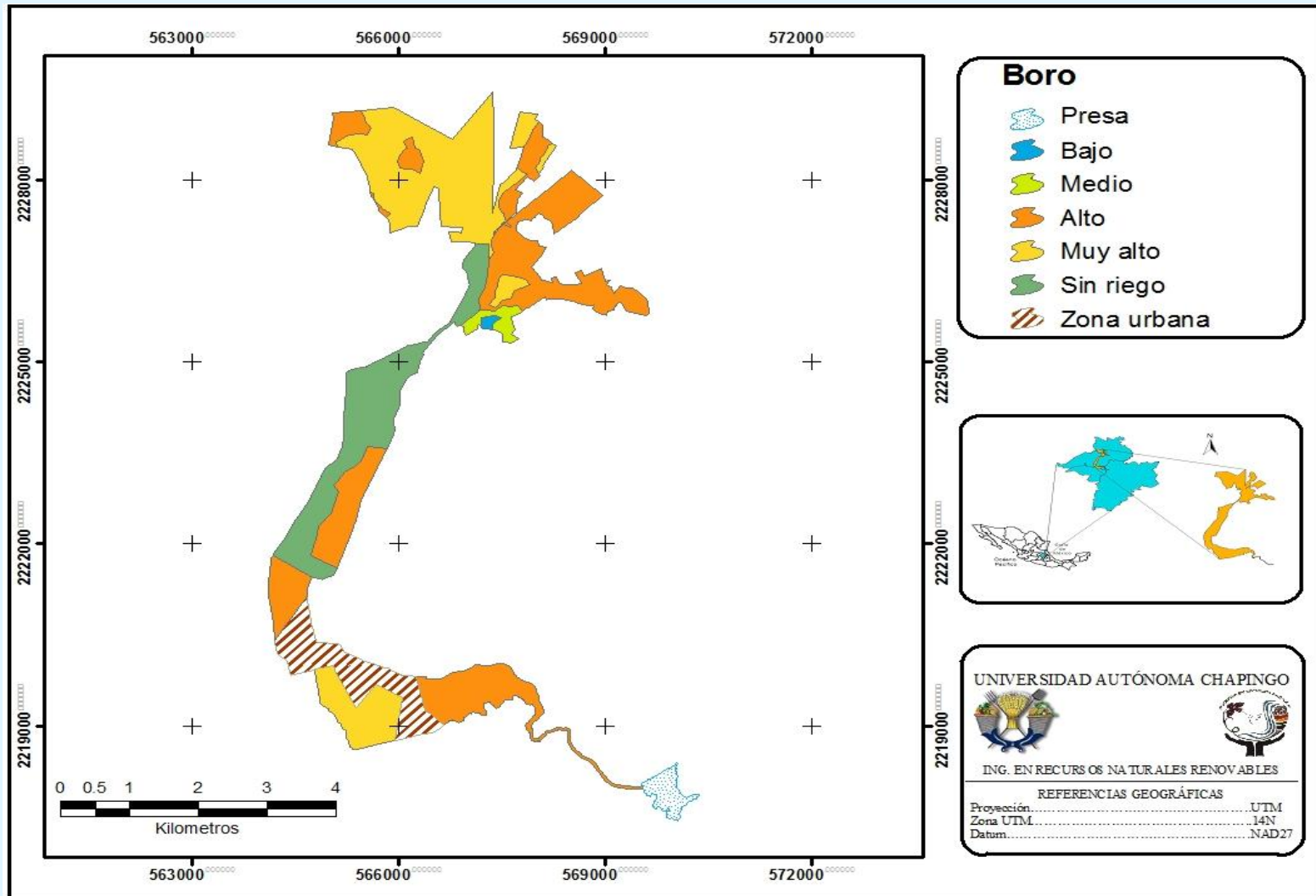


Contenidos de fosforo asimilable en suelos regados con aguas residuales del DR 028, Tulancingo, Hidalgo



Con el potasio se tuvo un comportamiento similar contenidos de medianos a ricos

Contenidos de boro en suelos regados con aguas residuales del DR 028, Tulancingo, Hidalgo



Contenido Extractable de metales pesados en suelos del Distrito de Riego 028

Promedios

Pb 0.65 mg Kg⁻¹

Cd 0.2 mg Kg⁻¹

Ni 0.5 mg Kg⁻¹

Por debajo del riesgo por exposición a estos elementos propuestas para suelos

NOM-021-RECNAT-2000

¿Qué pasa con los suelos de Tulancingo, Hidalgo?

Se degradan:

1. Salinización
2. Cambios en las propiedades físicas del suelo: infiltración



VALORACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO DE RIEGO 028, TULANCINGO, HIDALGO

Ing. Samuel Pérez Vázquez

El uso de estas aguas permite obtener importantes rendimientos en cultivos forrajeros, y el pago por el uso del agua residual es el único gasto que los productores realizan durante la producción de cultivos.



a) Riego rodado b) cárcamo de bombeo y c) riego rodado con bombeo en el módulo II del DR 028, Tulancingo, Hidalgo. Fotografías tomadas por Pérez- Vázquez, (2011)

¿Por que utilizan aguas residuales en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo?

Praderas regadas con aguas residuales en el DR 028,
Tulancingo, Hidalgo



El pago por el uso de aguas residuales por riego rodado es de \$ 50 pesos por 6.2 horas en promedio al día. 12 riegos rodados por gravedad.

Por riego rodado por bombeo es de \$ 60 pesos **por hora** de riego (pueden regar 8 horas al día). En total de 6 riegos rodados por bombeo.

El costo del riego con agua de pozo es de \$ 25 por hora con un promedio de 10 horas al día. En total 17 riegos al año, con un costo total de \$ 6 630.

NO FERTILIZAN, NI UTILIZAN INSUMOS AGRÍCOLAS EN LA PRODUCCIÓN DE ALFALFA, TREBOL, AVENA FORRAJERA Y PASTOS

En el DR 028 tienen 10 años realizando cortes mensuales de alfalfa.

Existen algunas parcelas establecidas desde hace más de 20 años en las cuales realizan 9 cortes al año.

La literatura señala que el ciclo productivo de la alfalfa variedad española es de 5 años.



El rendimiento (**2.07 ton ha⁻¹**) en materia seca solo es 11% inferior a los obtenidos en otros suelos agrícolas (ej: Chapingo, Estado de México) del país donde cultivan la alfalfa como especie forrajera y obtienen rendimientos de **2. 336 ton ha⁻¹** en materia seca, **pero con altos costos de producción muy superiores a los del DR 028**, ya que realizan labores agrícolas como la fertilización, el riego con agua de pozo, control químico de malezas, plagas y enfermedades.

Producen plantas vigorosas



Entonces: ¿Qué hacer?

Decisiones a tomar

- 1. Tratar el agua residual (\$)**
- 2. Desinfectar correctamente los productos que vienen del campo**
- 3. Corregir los problemas generados al suelo**

Planta de tratamiento de Aguas Residuales en el Instituto Mexicano Tecnología del agua

Influente



Caja repartidora de influente



Tanque de regulación

Tanque de aireación



Sedimentador



Efluente

Tratamientos de aguas residuales: eliminación de patógenos

Reúso y reciclaje del agua



COLABORADORES



Héctor



Yo

Susana

Francisco



Rosalba



Samuel

CUIDEMOS EL AGUA



Todavía la tenemos