

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EVALUACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE LAS AGUAS DE
DRENAJE EN EL VALLE CHANCAY LAMBAYEQUE CON FINES
DE REUTILIZACIÓN”**

Presentado por:

MARÍA DE GUADALUPE GÓMEZ ARRASCUE

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

Lima- Perú

2014

DEDICATORIA

A mis padres,
por comprender mis decisiones;
por su amor y paciencia;
por su apoyo y preocupación.

AGRADECIMIENTO

Al Proyecto Especial Olmos Tinajones, en especial al Ing. José Arturo Solórzano Gonzales, Gerente de Desarrollo Tinajones, por darme la oportunidad de desarrollar el tema de tesis.

A todos los ingenieros, técnicos, secretarias y conductores con los que trabajé en el Proyecto Especial Olmos Tinajones, por su apoyo, cariño y paciencia.

Al Ing. Manuel Hurtado Cubas, Jefe del Área de operaciones – OPEMA, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia; por ser un modelo de esfuerzo y dedicación, a tiempo completo; y por su paciencia y motivación para lograr concluir la presente tesis con éxito.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina y mis profesores, en especial al Ing. Sebastián Santayana, por su rectitud como docente, y sus consejos de amigo, que ayudaron a formarme como profesional; y a la Ing. Rosa Miglio Toledo, por ser un modelo de exigencia tanto en la vida profesional como personal.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Drenaje de tierras agrícolas	5
2.1.1 Requerimiento de drenaje	5
2.2 Requerimiento de agua para el riego	6
2.2.1 Calidad del agua para el riego	6
2.3 Balance hídrico	24
2.4 Balance de sales	25
2.5 Reúso de las aguas residuales tratadas en agricultura	26
2.5.1 Aguas residuales como recurso	26
2.5.2 Limitaciones para el reuso en riego	27
2.5.3 Marco legal nacional para el reuso de aguas residuales	28
2.5.4 Tratamiento de aguas residuales	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1 Caracterización del área de estudio	32
3.2 Materiales y equipos	33
3.3 Metodología	34
3.3.1 Recopilación y revisión de información básica de la zona de estudio	34
3.3.2 Fase de campo	35
3.3.3 Fase de laboratorio	39

3.3.4	Fase de gabinete	39
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1	Condiciones de drenaje	42
4.1.1	Evaluación del sistema de drenaje existente	42
4.2	Cantidad de agua de retorno	45
4.2.1	Caudal evacuado por los drenes hacia el mar	45
4.2.2	Volumen evacuado por los drenes hacia el mar	47
4.3	Calidad del agua de retorno	52
4.3.1	Parámetros que superan los estándares de calidad del agua	52
4.3.2	Primera evaluación de calidad del agua (marzo 2010)	56
4.3.3	Segunda evaluación de calidad del agua (septiembre 2010)	60
4.4	Puntos de vertimiento de desechos poblacionales e industriales	63
4.5	Balance de agua y sales. Campaña 2009-2010	64
4.5.1	Balance de agua y sales, antes y después de la construcción del sistema de drenaje D-1000	68
V.	CONCLUSIONES	71
VI.	RECOMENDACIONES	74
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
VIII.	ANEXOS	79

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N.º 01: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua. Uso N.º 03: riego de vegetales y bebida de animales	9
Cuadro N.º 02: Metas sanitarias para el uso de aguas residuales tratadas	12

	en la agricultura	
Cuadro N.º 03:	AVAD, riesgos por enfermedades, relación enfermedad/infección y riesgo tolerable de infección por rotavirus, campylobacter y cryptosporadium	13
Cuadro N.º 04:	Reducción de patógenos mediante diversas medidas de protección de la salud	14
Cuadro N.º 05:	Monitoreo de verificación del tratamiento de aguas residuales (número de E. coli por 100 ml de agua residual tratada) para los diversos niveles de tratamiento de aguas residuales en las opciones A - G en la Figura N.º 03.	16
Cuadro N.º 06:	Opciones para la reducción de huevos de helmintos, por medidas de protección sanitaria, según la cantidad de helmintos en las aguas residuales sin tratar; y los requisitos de verificación asociados	17
Cuadro N.º 07:	Directrices para interpretar la calidad del agua para el riego	19
Cuadro N.º 08:	Concentraciones de calcio (Ca ^o) en el agua del suelo, contenida en el suelo o cerca de la superficie, que resultaría de regar con aguas de determinado valor HCO ₃ /Ca y conductividad ECa _{1,2,3}	22
Cuadro N.º 09:	Unidad logarítmica de reducción o inactivación de patógenos excretados conseguida por medio del tratamiento de aguas residuales	31
Cuadro N.º 10:	Programación de aforos y cantidad de muestras	37
Cuadro N.º 11:	Profundidades para medir velocidad con el correntómetro	38
Cuadro N.º 12:	Parámetros a analizar en cada punto de muestreo	40
Cuadro N.º 13:	Sistema de drenaje en el valle Chancay- Lambayeque	43
Cuadro N.º 14:	Caudales evacuados por los drenes colectores hacia el mar	46
Cuadro N.º 15:	Caudales evacuados por los drenes hacia el mar. Promedio mensual	46

Cuadro N.º 16:	Volúmenes evacuados por los drenes hacia el mar. Promedio mensual	47
Cuadro N.º 17:	Resultados de análisis de calidad del agua. Primera evaluación (Marzo 2010)	53
Cuadro N.º 18:	Resultados de análisis de calidad del agua. Segunda evaluación (Setiembre 2010)	53
Cuadro N.º 19:	Grado de restricción en el uso de agua para riego y clasificación, según su calidad	57
Cuadro N.º 20:	Grado de restricción en el uso de agua para riego y clasificación, según su calidad	60
Cuadro N.º 21:	Drenes afectados por vertimientos poblacionales e industriales	65
Cuadro N.º 22:	Área total sembrada por cultivo en los diferentes periodos, en el valle Chancay-Lambayeque	66
Cuadro N.º 23:	Volúmenes de agua (MMC) recibida por las comisiones de regantes del DRCHL. Campaña 2009-2010	66
Cuadro N.º 24:	Balance de agua. Campaña 2009-2010	67
Cuadro N.º 25:	Balance de sales. Campaña 2009-2010	68
Cuadro N.º 26:	Balance de agua y sales. Campañas 1974/75 y 1975/76	69
Cuadro N.º 27:	Balance de agua y sales. Campañas 1980/81 y 1981/82	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico N.º 01:	48
Variación mensual del volumen de agua discurrido al mar por el dren-1000	
Gráfico N.º 02:	49
Variación mensual del volumen de agua discurrido hacia el mar. Drenes D-2000 a D-7000	
Gráfico N.º 03:	52
Conductividad eléctrica	
Gráfico N.º 04:	54
Solidos totales disueltos	

Gráfico N.º 05:	Dureza de calcio	54
Gráfico N.º 06:	Sodio	54
Gráfico N.º 07:	Carbonatos	55
Gráfico N.º 08:	Bicarbonatos	55
Gráfico N.º 09:	DBO	55
Gráfico N.º 10:	Coliformes Totales	56
Gráfico N.º 11:	Coliformes Termotolerantes	56
Gráfico N.º 12:	Balance de agua. Campaña 2009-2010	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura N.º 01:	Ejemplos del enfoque multibarrera	10
Figura N.º 02:	Descripción gráfica del AVAD	11
Figura N.º 03:	Opciones para la reducción de agentes patógenos mediante combinaciones de barreras para alcanzar el objetivo sanitario de $\leq 10-6$ AVAD por persona anualmente. (OMS, 2006)	15
Figura N.º 04:	Reducción relativa de la infiltración, provocada por la salinidad y la RAS (Rhoades 1977 y Schroer 1979)	20
Figura N.º 05:	Categorías de calidad de agua según Normas de Riverside	23

ANEXOS

	Pág.	
Anexo N.º 01:	Fotos	79
Anexo N.º 02:	Planos	92

RESUMEN

El estudio realizado es el primero que se ejecuta en el valle Chancay Lambayeque durante la vigencia del convenio suscrito entre La Gerencia de Desarrollo Tinajones y la Junta de Usuarios del Valle Chancay Lambayeque, para la Operación y Mantenimiento de la Infraestructura Mayor de Riego y Drenaje del Sistema Hidráulico Tinajones, desde el 2005.

La presente evaluación, cuya etapa de campo se desarrolló en el año 2010, consistió en realizar mediciones directas de la cantidad de agua, que discurre por los siete (07) drenes colectores del Sistema Tinajones, con el propósito de conocer su aptitud para uso agrícola en época de estiaje; también se evaluaron drenes de segundo y tercer orden que reciben vertimientos poblacionales, con el fin de conocer el grado de afectación que sufren por dichas descargas. De manera referencial se tomaron muestras para conocer la calidad del agua.

Como resultado se encontró que, tanto en época de recarga como de estiaje, el agua de los drenes colectores principales no es adecuada para ser reutilizada en la agricultura, bajo condiciones ordinarias, por superar los estándares de calidad del agua y/o no contar con la cantidad de agua que justifique el costo de inversión para implementar algún tratamiento.

El agua del colector D-1000, del sistema de drenaje, se exceptúa de las condiciones anteriores ya que en época de recarga cuenta con suficiente cantidad de agua con calidad microbiológica permisible para ser reutilizada en la agricultura.

Palabras claves: cantidad, calidad, agua de drenaje.

1. INTRODUCCIÓN

Con la ejecución del Proyecto Tinajones, se planificó la construcción de la red de drenaje en todo el valle Chancay Lambayeque, distribuida mediante colectores en siete sistemas de drenaje de acuerdo al lugar de descarga: mar o río Reque. Los drenes colectores reciben agua de los drenes secundarios, y estos de los drenes terciarios o parcelarios; el propósito del sistema es evacuar las aguas no utilizadas por los cultivos y que han sido almacenados en el subsuelo, evitando que los terrenos agrícolas se afecten por elevación del nivel freático y que el afloramiento de sales deteriore los suelos, haciéndolos no aptos para la agricultura.

En la actualidad se observa que por los drenes no solo discurre agua subterránea o de escorrentía sino también aguas servidas, sin tratamiento previo, provenientes de las poblaciones de Chiclayo, Lambayeque, Ferreñafe, Monsefú y Santa Rosa, y las de algunas fábricas e industrias, causando contaminación a la flora y fauna de la zona, y por ende al medio ambiente.

La situación se hace más compleja al ver que algunos agricultores hacen uso informal del agua de drenaje combinada con aguas servidas, para irrigar sus campos, por la necesidad de contar con agua.

Es así que el trabajo desarrollado consistió en la evaluación del agua que discurre por los drenes colectores del sistema de drenaje, con fines de reutilización.

Para el logro de los objetivos trazados se elaboró un cronograma y plan de trabajo, e identificaron los puntos de control de caudales y calidad del agua drenada; asimismo, se conformó una brigada de aforos con sus respectivos equipos de medición, y toma de muestras de agua, las mismas que fueron llevadas a un laboratorio particular para determinar los parámetros de calidad de agua y poder compararlos con el Estándar

Nacional de Calidad Ambiental para el Agua, con los Estándares de la Organización Mundial de la Salud y de la FAO (Food and Agriculture Organization).

1.1 Generalidades

La disponibilidad de agua dulce en la costa del Perú es limitada. Esta región es árida, con sequías recurrentes y donde la mayor extracción de agua se hace a través de acuíferos. En las zonas con un notable desarrollo económico y demográfico el agua es escasa o insuficiente.

Cuando el aprovechamiento de los recursos superficiales y subterráneos no cubre las necesidades, es preciso buscar nuevas fuentes de agua. Entre ellas, una importante posibilidad reside en la reutilización de aguas ya usadas para uso agrícola o industrial.

Solo el agua destinada a la agricultura representa más del 60% de las extracciones de agua dulce, y por ello se crea una fuerte competencia entre este uso y otros como el industrial y poblacional; por ello, el aprovechamiento del agua residual en los cultivos como alternativa, alivia en parte la presión sobre los recursos hídricos.

La reutilización de aguas residuales en agricultura, tanto en el Perú como en América Latina, es relativamente frecuente y por desgracia presenta problemas como la falta de monitoreo de los vertidos, un escaso control del uso de dichas aguas, dispersión de responsabilidades y principalmente el desconocimiento de la existencia de guías y estándares nacionales e internacionales de calidad para un reúso de aguas servidas que no genere impactos negativos a la salud y medio ambiente.

En contraparte a lo antes descrito, el uso responsable de agua residual puede generar un valor agregado a los usuarios urbanos, los agricultores y el medio ambiente.

Son muchos los beneficios que pueden destacarse de la reutilización de agua residual, además del aporte adicional a los recursos hídricos habituales, ya sea en forma de recursos netos, o bien de recursos alternativos que permiten utilizar agua de mejor calidad para otros usos más exigentes en calidad (industrial y urbano), reduciéndose la competencia con la agricultura. También, provoca una disminución de la presión ejercida

sobre los acuíferos preservando el agua procedente de los mismos y contribuyendo a su recuperación; y la prevención de la contaminación de las aguas superficiales.

Los agricultores podrían contar con una fuente de agua disponible todo el año, la misma que sería rica en materia orgánica y nutrientes por lo que reducirían los costos de fertilizantes, y podrían cosecharse más veces al año.

La reutilización de las aguas residuales para riego permite un grado de depuración más intenso de las aguas excedentes (debido al carácter regenerador del suelo), con ello se consigue una reducción del uso de abonos, así como se favorece la regeneración de tierras desérticas en zonas de baja pluviometría.

Otra de las ventajas del uso de esta agua es una reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua; permite una disminución de los costos de tratamiento y de vertido de las propias aguas residuales, lo que ofrece una ventaja económica cuando, en determinados lugares, la legislación ambiental obligue a cumplir unos criterios de calidad del agua para el vertido aún más exigentes y, por tanto, más caros que los necesarios para la reutilización. (Alejandro Viso R., 2005).

No se debe obviar, en todo caso, que en el proceso de recuperación y reutilización de aguas residuales, existe algún riesgo de naturaleza sanitaria, por tanto la reutilización de aguas residuales debe realizarse con las medidas de protección necesarias. El tratamiento de las aguas residuales para fines de reutilización debe tener como enfoque principal la reducción o eliminación de los microorganismos patógenos.

1.2 Justificación

El estudio realizado fue importante debido a que permitió conocer la cantidad de agua que no es utilizada con fines de riego de campos de cultivo, así como la cantidad de agua que es vertida a los drenes proveniente del alcantarillado poblacional e industrial, los cuales son focos de contaminación del medio ambiente.

Es básico determinar la calidad del agua que discurre por los drenes, para conocer sus niveles de contaminación, y establecer las medidas de corrección necesarias.

También es importante conocer la cantidad de agua excedente que discurre por los principales drenes hacia el mar, en los diferentes periodos del año, porque es agua no utilizada para el riego de campos de cultivo en el valle y que se pierde por percolación, debido a la baja eficiencia de aplicación del riego, y que de no ser evacuada por los drenes conjuntamente, con las sales solubles dañinas para el suelo, pueden provocar la disminución del rendimiento de los cultivos en el valle Chancay Lambayeque.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Evaluar el volumen de agua de los colectores principales del sistema de drenaje, con fines de reutilización en la agricultura.

Objetivos específicos

- a) Determinar caudales y volúmenes de agua que discurren por los drenes colectores del valle Chancay Lambayeque, que se vierten al mar.
- b) Efectuar el balance de sales y agua que se evacua del sistema de drenaje del valle Chancay Lambayeque a través de los drenes colectores.
- c) Ubicar los puntos de vertimientos, poblacional e industrial, al sistema de drenaje.
- d) Comparar el balance de agua y sales actual con evaluaciones realizadas anteriormente en el sistema de drenaje.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Drenaje de tierras agrícolas

El drenaje es la eliminación del exceso de agua y sales disueltas de las capas superficiales y subterráneas del terreno, con el fin de intensificar el crecimiento de los cultivos (FAO, 1976).

Ilaco (1985), identifica a las áreas afectadas por drenaje y salinidad en base a: profundidad de la napa freática, salinidad de los suelos y salinidad del agua subterránea.

El drenaje de tierras agrícolas tiene dos propósitos: reducir el exceso de humedad de la zona radicular que, directa o indirectamente, tenga un efecto perjudicial sobre el crecimiento de los cultivos, e igualmente importante, controlar y reducir la salinización. El drenaje adecuado permite la diversificación de cultivos y la intensificación del uso de la tierra, el crecimiento de variedades de alto rendimiento, el uso efectivo de insumos tales como los fertilizantes y el uso de maquinaria agrícola.

2.1.1 Requerimiento de drenaje

Cuando el drenaje natural es insuficiente, se requiere implementar el drenaje artificial con estructuras correspondientes, para disminuir el exceso de agua de una zona. Para el diseño de un sistema de drenaje, superficial o subterráneo, se dispone de varias fórmulas que deben ser alimentadas con criterios de drenaje. Estos criterios dependen de las condiciones hidrológicas, agronómicas, del suelo y económicas.

- Drenaje superficial: es la remoción del exceso de agua superficial proveniente del riego, dependiendo entonces del manejo y operación del riego en campo. Es casi siempre necesario para evitar la percolación de los excedentes de agua hacia la napa subterránea.

- Drenaje subterráneo: es la remoción del exceso de agua subterránea y sales, del subsuelo. Tal cantidad de agua dependerá de las pérdidas de irrigación, filtraciones y requerimientos de lavado para el control de las sales del suelo.

Los sistemas de drenaje subterráneo están conformados por:

- Drenes principales: que evacúan el agua proveniente de los drenes colectores.
- Dren colector y subcolector: colecta el agua de los drenes de campo o parcela.
- Drenes de campo: controlan el nivel freático del área de cultivo para evacuarlo al dren colector.

2.2 Requerimiento de agua para el riego

El riego se define como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo (FAO, 1976).

La aplicación de agua al terreno por medio del riego tiene por objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Refrigerar el suelo y la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- Disolver las sales contenidas en el suelo.

En la determinación de las necesidades de agua de los cultivos, debe tomarse en consideración la calidad del agua, el clima, el cultivo, la intensidad y la pauta del cultivo, el medio ambiente y la situación, los suelos, su humedad y su fertilidad, y los métodos y prácticas de cultivo y riego (FAO, 1976).

2.2.1 Calidad del agua para el riego

Cuando se trata de temas de utilización de agua con fines de riego, con frecuencia se piensa únicamente en la cantidad de agua disponible, sin embargo su calidad es también

un factor de gran trascendencia ya que puede decidir si es apta o no para el riego, o si el tratamiento correctivo será económicamente viable.

a. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

b. Estándares de calidad para el agua

Con Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, se aprobó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua.

El dispositivo establece concentraciones de elementos, sustancias o parámetros que puede contener el agua sin afectar la calidad del recurso para determinados usos específicos, publicado el 31 de julio del 2008. Los estándares se establecen de acuerdo a cuatro categorías:

- b.1. Poblacional y recreacional, con tres subcategorías cuando las aguas son destinadas para la producción de agua potable y dos subcategorías cuando son destinadas para la recreación (contacto primario y secundario. No se encontró una definición de ambas subcategorías).
- b.2. Aguas para actividades marino costeras con tres subcategorías.
- b.3. Aguas para riego de vegetales y bebida de animales.
- b.4. Aguas para la conservación del ambiente acuático que tiene las subcategorías de lagunas y lagos, ríos de costa y sierra, ríos de selva, estuarios y ecosistemas marinos.

No se establece quien determinará que categoría y/o subcategoría se debe tener en cuenta para cada cuerpo acuático. Por ejemplo, en un río en algunos sectores se utilizará como fuente para producir agua potable, en otros sectores para riego y bebida de animales, y otros sectores solo podría tener funciones de conservación del medio acuático.

En el cuadro N.º 01 se muestran los parámetros de la calidad del agua y límites permisibles aptos para su uso en riego de vegetales y consumo de animales.

c. El Límite Máximo Permisible (LMP)

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. En este caso, controla los vertimientos de agua residual, y su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente.

Marco Normativo: Ley N.º 28817. Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de estándares de calidad ambiental y de los límites máximos permisibles de contaminación ambiental.

d. Directrices de la OMS para el uso seguro de las aguas residuales. 2006

Para lograr la inocuidad de los alimentos, y con ello minimizar el efecto perjudicial para la salud de los consumidores, y de los agricultores y sus familias, la OMS crea las Directrices para el uso de aguas residuales, que reúnen una serie de medidas preventivas.

**Cuadro N.º 01: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua. Uso N.º 03:
riego de vegetales y bebida de animales**

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR
Físico Químicos		
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<2000 (1)(10)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	(mg/l)	15 (2)
Demanda Química de Oxígeno	(mg/l)	40
Oxígeno Disuelto	(mg/l)	>4 (10)
pH	Unidades de pH	6.5 - 8.5 (1)
Sólidos Disueltos Totales	(mg/l)	<1000 (1)(10)
Sales		
Bicarbonatos	(mg/l)	370 (4)
Calcio	(mg/l)	200 (4)(10)
Carbonatos	(mg/l)	5 (4)
Cloruros	(mg/l)	250 (1)(10)
Fluoruros	(mg/l)	1 (1)
Nitritos	(mg/l)	0.06 (9)
Fosfatos - F	(mg/l)	1 (1)(10)
Nitratos - N	(mg/l)	10 (1)(10)
Sodio	(mg/l)	200 (1)(10)
Sulfatos	(mg/l)	300 (1)(10)
Sulfuros	(mg/l)	0.005 (2)
Inorgánicos		
Aluminio	(mg/l)	0.2 (4)
Arsénico	(mg/l)	0.05 (1)(10)
Bario total	(mg/l)	0.7 (4)
Boro	(mg/l)	0.7 (1)
Cobalto	(mg/l)	0.05 (1)
Cadmio	(mg/l)	0.005 (1)(10)
Cianuro Wad	(mg/l)	0.1 (7)
Cobre	(mg/l)	0.2 (1)
Cromo (6+)	(mg/l)	0.1 (1)
Hierro	(mg/l)	1 (2)
Magnesio	(mg/l)	150 (2)
Manganeso	(mg/l)	0.2 (1)(10)
Mercurio	(mg/l)	0.001 (1)(10)
Níquel	(mg/l)	0.2 (1)
Litio	(mg/l)	2.5 (1)
Plata	(mg/l)	0.05 (5)
Plomo	(mg/l)	0.05 (1)(10)
Selenio	(mg/l)	0.05 (2)
Zinc	(mg/l)	2 (1)
Orgánicos		
Aceites y grasas	(mg/l)	1
S.A.A.M. (detergentes)	(mg/l)	1 (2)
Fenoles	(mg/l)	0.001 (2)
Plaguicidas		
Aldrin (CAS 309-00-2)	(ug/l)	0.03 (11)
Aldicarb	(ug/l)	1 (9)
Clordano (CAS 57-74-9)	(ug/l)	0.3 (11)
Dieldrin (Nº CAS 72-20-8)	(ug/l)	0.7 (9)
DDT	(ug/l)	1 (11)
Endrin	(ug/l)	0.004 (6)
Endosulfan	(ug/l)	0.02 (6)
Heptacloro (Nº CAS 76-44-8) y heptacloripoxido	(ug/l)	0.1 (11)
Lindano	(ug/l)	4 (9)
Parathion	(ug/l)	7.5 (9)

Parametros Biologicos	Unidad	Vegetales de Tallo Bajo	Vegetales de Tallo alto
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000 (3)	2000 (3)
Coliformes Totales	NMP/100ml	5000 (3)	5000 (3)
Vibron Cholerae		Ausente	
Escherichia Coli	NMP/100ml	100	100
Enterococos	NMP/100ml	20 (5)	100
Salmonella Sp.		Ausente	
Helmintos	huevos/litro	<1 (8)	<1 (1)

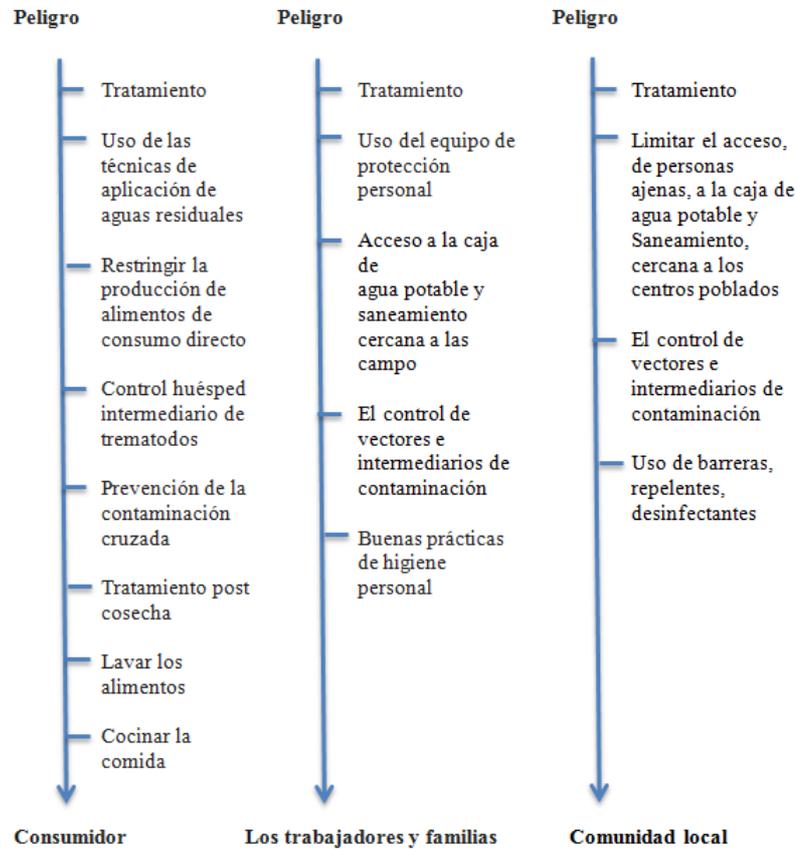
Parametros Obligatorios (en amarillo) - Se utilizara los parametros referenciales (en blanco) de acuerdo a la problemática ambiental de cada zona y según criterio de la autoridad.

Fuente

- (1) Calidad del Agua en la Agricultura - Rev. 1 - Estudio FAO "Riego y Drenaje 29"
- (2) Ley General de Aguas D.L. N°17752
- (3) Norma Tecnica Nacional de la Republica de Honduras - 2001
- (4) Norma para el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua de Venezuela
- (5) Mariano Seoanez Calvo. Ingenieria del Medio Ambiente - Criterios Generales de Calidad para Aguas de uso Agrario - estado de Ontario, Canada.
- (6) Modificacion del D.S. 253/79 - Uruguay - Norma para Prevenir la Contaminacion Ambiental
- (7) Decreto Supremo N°003-2003-SA
- (8) Organización Mundial de la Salud - OMS
- (9) Norma de Calidad para la Proteccion de Aguas Superficiales 1999 - Chile
- (10) Instituto Nacional de Recursos Naturales
- (11) Reglamento en materia de Contaminacion Hidrica - Bolivia 1995

Las Directrices proponen el uso de una serie de barreras (enfoque de “barreras múltiples”) a lo largo de la cadena de reúso de aguas tratadas o parcialmente tratadas, en lugar de restringir su uso en productos cuyo receptor final sea el ser humano.

Figura N.º 01: Ejemplos del enfoque multibarrera

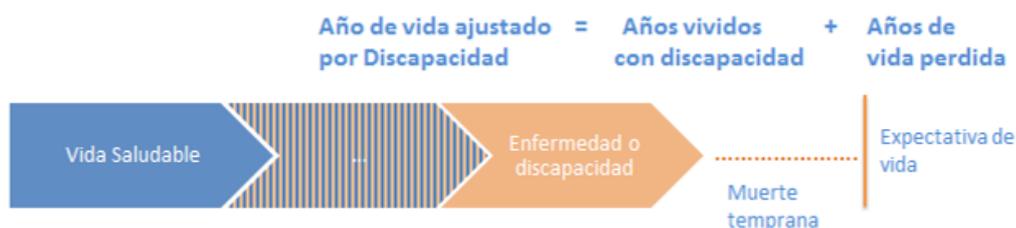


FUENTE: Capítulo 2, volumen II de las Guías de 2006. (Traducción propia)

La figura N.º 01 muestra algunas de las estrategias en la gestión del riesgo de uso de aguas residuales en la agricultura para evitar la exposición de los consumidores, y de los agricultores y sus familias, a los agentes patógenos y sustancias químicas tóxicas mediante la construcción de barreras múltiples.

Sin embargo también existen unos objetivos sanitarios, basados en la reducción microbiana en el agua en reúso, que muestran un nivel referencial para un *riesgo aceptable* para la salud. El indicador cuantitativo utilizado es el AVAD (Años de Vida Ajustados por Discapacidad) e intenta medir el tiempo de vida saludable perdido a causa de una enfermedad. Este indicador permite estimar las pérdidas de salud para una población con respecto a las consecuencias mortales y no mortales de las enfermedades. (Ver Figura N.º 02)

Figura N.º 02: Descripción gráfica del AVAD



FUENTE: Estudio del potencial del uso alternativo de fuentes de agua: las aguas residuales, Argentina.

La OMS ha adoptado una carga tolerable de enfermedades transmitidas por el agua de consumir la bebida de agua de $\leq 10^{-6}$ AVAD por persona por año. Este nivel de carga de la enfermedad se puede comparar con una enfermedad leve como la diarrea autolimitada causada por un patógeno microbiano (OMS, 2004).

El nivel de carga adoptado por la OMS para el agua bebible debe ser tan seguro para la salud, como los alimentos regados con aguas residuales tratadas, en especial aquellos que se consumen crudos (Ver Cuadro N.º 02).

Cuadro N.º 02: Metas sanitarias para el uso de aguas residuales tratadas en la agricultura

Escenario de exposición	Meta sanitaria (AVAD por persona por año)	Reducción de patógenos necesarios (Log ₁₀) ^a	Número de huevos de helmintos por litro
Riego sin restricciones	≤10 ^{-6 a}		
Lechuga		6	≤1 ^{b,c}
Cebolla		7	≤1 ^{b,c}
Riego restringido	≤10 ^{-6 a}		
Altamente mecanizado		3	≤1 ^{b,c}
Mano de obra intensiva		4	≤1 ^{b,c}
Riego localizado (goteo)	≤10 ^{-6 a}		
Cultivo de crecimiento alto		2	No recomendable ^{c,d}
Cultivo de crecimiento bajo		4	≤1 ^{c,d}

FUENTE: Capítulo 4, volumen II de las Guías de 2006. (Traducción propia).

^a Reducción de Rotavirus (en unidades logarítmicas), se obtiene con la combinación del tratamiento de aguas residuales y otras medidas de protección, incluida una reducción de entre 3 y 4 unidades logarítmicas de patógenos como resultado de la tasa de mortandad natural del patógeno en condiciones de campo y la eliminación de patógenos de cultivo mediante lavado doméstico normal y aclarado.

^b Medida de protección adicional cuando niños menores de 15 años están expuestos.

^c Medida a tomar en cuenta durante la etapa de riego. Con algunos procesos de tratamiento de aguas residuales (por ejemplo, lagunas de estabilización), el tiempo de retención hidráulica se puede utilizar como un sustituto para asegurar el cumplimiento de ≤ 1 huevo de helminto por litro.

^d Cuando se utiliza el riego localizado (goteo) como una técnica de aplicación de aguas residuales, el objetivo de reducción microbiana de ≤ 1 huevos de helminto por litro de agua residual tratada debe también ser aplicado. Sin embargo, cuando el riego localizado se utiliza para el riego de cultivos de alto crecimiento (es decir, los que tiene partes cosechables que no están en contacto con el suelo), los objetivos de rendimiento especificados para las concentraciones de huevo de helmintos no son necesarios.

Con el fin de calcular el grado de reducción de patógenos, la OMS (2004) sugiere el siguiente método:

i. Paso 1: Riesgo tolerable de la infección

Interpretar la carga anual adicional tolerable de la enfermedad en el riesgo anual tolerable equivalente de la infección y la enfermedad debido al patógeno en cuestión (por ejemplo, Campylobacter, Cryptosporidium, rotavirus) de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo de enfermedad tolerable (pppa)} = \frac{\text{AVAD tolerables (pppa)}}{\text{AVAD por caso de enfermedad}}$$

El cuadro N.º 03 da las estimaciones basadas en la población de los AVAD por caso de enfermedad por rotavirus, campylobacter y cryptosporadium; y los riesgos tolerables, calculados.

Cuadro N.º 03: AVAD, riesgos por enfermedades, relación enfermedad/infección y riesgo tolerable de infección por rotavirus, campylobacter y cryptosporadium

Patógeno	AVAD por caso de enfermedad	Riesgo por enfermedad pppa equivalente a 10^{-6} AVAD pppa ^a	Relación enfermedad/infección	Riesgo tolerable de infección pppa ^b
Rotavirus				
Países industrializados	1.4×10^{-2}	7.1×10^{-5}	0.05 ^c	1.4×10^{-3}
Países en desarrollo	2.6×10^{-2c}	3.8×10^{-5}	0.05 ^c	7.7×10^{-4}
<i>Campylobacter</i>	4.6×10^{-3}	2.2×10^{-4}	0.7	3.1×10^{-4}
<i>Cryptosporadium</i>	1.5×10^{-3}	6.7×10^{-4}	0.3	2.2×10^{-3}

FUENTE: Capítulo 4, volumen II de las Guías de 2006. (Traducción propia).

pppa = por personas por año.

^a Valores de Havelaar & Melse (2003)

^b El riesgo de infección tolerable = riesgo de enfermedad + relación enfermedad/infección

^c En para los países en desarrollo, los AVAD por muerte por rotavirus se han reducido en un 95 % , ya que aproximadamente el 95% de estas muertes ocurren en niños menores de dos y estos no están expuestos a la alimentación de aguas residuales con riego. La relación de la enfermedad/infección por rotavirus en baja, ya que la inmunidad se desarrolla sobre todo por la edad de tres años.

Si hay datos epidemiológicos fiables que muestran que estos riesgos de la enfermedad no superen a una determinada combinación de medidas de protección basadas en la salud (enfoque multibarrera), no es necesario llevar a cabo los pasos del 2 al 4 líneas abajo, y todo lo que queda por hacer en tales casos es establecer el nivel de monitorización verificación del tratamiento (paso 5).

ii. Paso 2: Evaluación cuantitativa de riesgos microbiológicos

Determinar mediante una evaluación cuantitativa de riesgos microbiológicos, la correspondiente reducción de patógenos que necesita ser alcanzado. El primer paso es determinar el número máximo de patógenos ingeridos por evento exposición (por ejemplo, para el riego sin restricciones: el número de agentes patógenos tolerables máximo que quedan sobre la superficie de la cosecha, en un cultivo que se ingiera sin cocer –vegetales-, en el momento del consumo).

iii. Paso 3: Reducción de patógenos

Estimar el volumen del agua residual tratadas que queda en el cultivo después del riego final (ml de aguas residuales por 100 g de cultivos) para determinar el grado necesario de reducción de patógenos para lograr la carga de enfermedad adicional tolerable de $\leq 10^{-6}$ AVAD por persona por año. Este paso requiere estimar el número de patógenos presentes en el agua residual sin tratar.

iv. Paso 4: Medidas de protección, basadas en la salud, para lograr la reducción de patógenos

La reducción de patógenos se puede lograr mediante el tratamiento de aguas residuales o, más comúnmente, mediante el tratamiento de aguas residuales en conjunción con otras medidas de protección de la salud , tal como se explica en el Cuadro N.º 04.

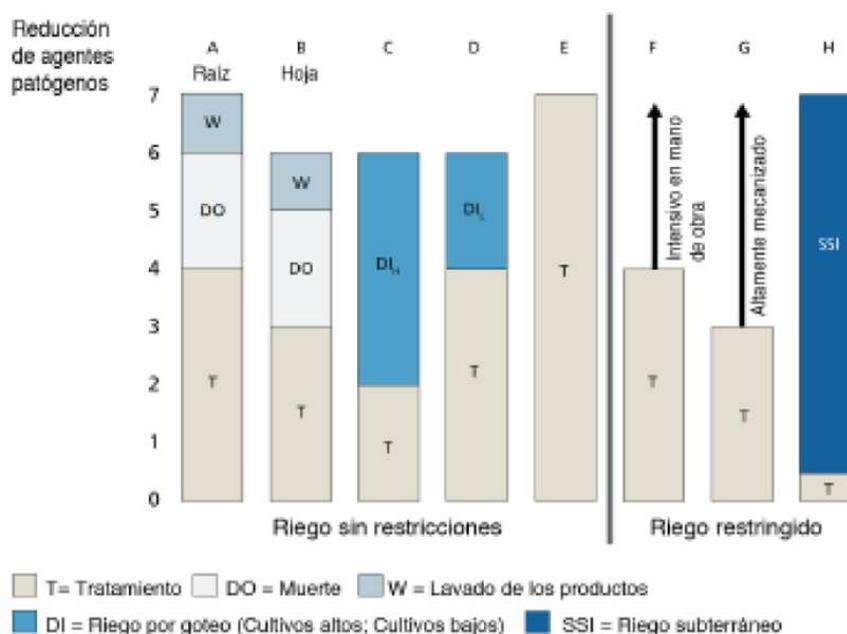
Cuadro N.º 04: Reducción de patógenos mediante diversas medidas de protección de la salud

Medida de control	Reducción de patógenos (unidades logarítmicas)	Observaciones
Tratamiento de aguas residuales	1-6	La reducción de patógenos necesarios que deben alcanzarse de tratamiento de aguas residuales dependerá de la combinación de medidas de protección de la salud seleccionados (Ver figura N.º 03)
Riego localizado (goteo) a cultivos de crecimiento bajo	2	Los cultivos de raíces y cultivos como la lechuga que crecen justo por encima del suelo, pero se encuentran parcialmente en contacto con este.
Riego localizado (goteo) a cultivos de crecimiento alto	4	Cultivos cuyas partes cosechadas no están en contacto con el suelo, como el tomate.
Riego por aspersión controlado	1	El uso de micro aspersores, rociadores de dirección con conmutadores y anemómetros, aspersores que lanzan hacia el interior, etc.
Riego por aspersión con pivote	1	Se debe proteger a los residentes cercanos al área de riego por aspersión. La zona de amortiguamiento debe ser de 50-100 m.
Decrecimiento de los patógenos	0.5-2 por día	La mortandad de los patógenos en las superficies de cultivo se produce entre el último riego y el consumo. La reducción de los patógenos depende del clima (temperatura, luz solar , la intensidad , la humedad) , el tipo de cultivo de tiempo, etc.
Realizar un lavado con agua	1	Lavar los vegetales y frutas, de consumo directo, con agua limpia.
Realizar una desinfección	2	Lavar los cultivos de ensalada, verduras y frutas con una solución desinfectante no muy concentrada, y enjuagar con agua limpia
Pelar los alimentos	2	Pelar las frutas y cultivos de raíz.
Cocer los alimentos	6-7	La inmersión en ebullición o de proximidad al agua hirviendo hasta que la comida se cocina asegura la destrucción de patógenos.

FUENTE: Capítulo 4, volumen II de las Guías de 2006. (Traducción propia). Beuchat (1998); Petterson & Ashbolt (2003); NRMMC & EPHCA (2005).

La Figura N.º03 muestra diferentes ejemplos de combinaciones de medidas de protección sanitaria que pueden utilizarse para lograr el objetivo sanitario de $\leq 10^{-6}$ AVAD para las enfermedades relacionadas con excretas, en la práctica.

Figura N.º 03: Opciones para la reducción de agentes patógenos mediante combinaciones de barreras para alcanzar el objetivo sanitario de $\leq 10^{-6}$ AVAD por persona anualmente. (OMS, 2006)



FUENTE: Estudio del potencial del uso alternativo de fuentes de agua: las aguas residuales, Argentina.

v. Paso 5

Para las infecciones virales y bacterianas, es necesario establecer el nivel de monitoreo del tratamiento, en términos de E. Coli (o Coliformes Termotolerantes), en el efluente final de la planta de tratamiento de aguas residuales, como se muestra en el Cuadro N.º 05.

Del mismo modo, para la infección por helmintos, es necesario establecer el nivel de monitoreo del tratamiento, en términos de huevos de helmintos por litro, como se muestra en el cuadro N.º06.

Cuadro N.º 05: Monitoreo de verificación del tratamiento de aguas residuales (número de E. coli por 100 ml de agua residual tratada) para los diversos niveles de tratamiento de aguas residuales en las opciones A - G en la Figura N.º 03.

Tipo de irrigación	Opción (Figura N.º 03)	Reducción de patógenos mediante tratamiento requerido (unid. Log.)	Nivel de monitoreo de verificación (E. Coli por cada 100 ml)	Observaciones
No restringido	A	4	$\leq 10^3$	Tubérculos
	B	3	$\leq 10^4$	Cultivos de hoja
	C	2	$\leq 10^5$	Riego localizado (goteo) a cultivos de crecimiento alto
	D	4	$\leq 10^3$	Riego localizado (goteo) a cultivos de crecimiento bajo
	E	6 or 7	$\leq 10^1$ o $\leq 10^0$	Nivel de verificación depende de los requisitos de la entidad reguladora local. ^a
Restringido	F	4	$\leq 10^4$	Mucha mano de obra agrícola (protección de los adultos y los niños menores de 15 años)
	G	3	$\leq 10^5$	Agricultura altamente mecanizada.
	H	0.5	$\leq 10^6$	Remoción de patógenos en tanques sépticos.

FUENTE: Capítulo 4, volumen II de las Guías de 2006. (Traducción propia).

^a Por ejemplo, para el tratamiento secundario , filtración y desinfección : cinco días la demanda bioquímica de oxígeno, < 10 mg / l; turbidez, < unidades de turbidez nefelométricas 2 ; cloro residual , 1 mg / l ; ; pH , 6-9; y coliformes fecales , ni detectable en 100 ml

e. Análisis e interpretación de resultados de los análisis de calidad de agua de drenes

e.1. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego según la FAO

Para un mejor análisis y comprensión del efecto de la calidad del agua en la tierra y los cultivos, la guía más adecuada es la que ofrece la FAO a través del Manual N.º 29: Rev. 1 Riego y Drenaje, que permite analizar el agua sin límites establecidos sino de acuerdo a la idoneidad de las condiciones de uso que afectan a la acumulación de los constituyentes del agua y que pueden limitar el rendimiento del cultivo.

Cuadro N.º 06: Opciones para la reducción de huevos de helmintos, por medidas de protección sanitaria, según la cantidad de helmintos en las aguas residuales sin tratar; y los requisitos de verificación asociados

Medida de protección de la salud	Número de huevos de helmintos por litro de aguas residuales no tratadas	Requerimiento de reducción de huevos de helminto por tratamiento (unid. Log.)	Nivel de monitoreo (huevos de helmintos por litro de aguas residuales tratadas) ^a	Observaciones
Tratamiento	10 ³	3	≤1	El tratamiento debe ser mostrado para que la cantidad de huevos de helminto sea fiable
	10 ²	2	≤1	
	10	1	≤1	
	≤1	0	N/A	
Tratamiento del agua y lavado de los productos	10 ³	2	≤10	La reducción conseguida por tratamiento es complementado por una reducción de una unidad logarítmica por el lavado de productos en una solución de detergente suave y enjuague con agua limpia. ^b
	10 ²	1	≤10	
	10	0	N/A	
	≤1	0	N/A	El objetivo de ≤ 1 huevo por litro se consigue de forma automática.

FUENTE: Capítulo 4, volumen II de las Guías de 2006. (Traducción propia).

N/A = no aplica.

^a Con lagunas de estabilización, se puede utilizar los tiempos de retención en estanque, como una herramienta para la verificación.

^b Esta práctica sólo es válida donde sea común o donde pueda ser verificada correctamente.

De este modo se evalúa el agua en función a los problemas más comunes del suelo: salinidad, tasa de infiltración del agua, toxicidad y un grupo de otros problemas diversos.

Salinidad

El problema de salinidad, debido a la calidad del agua, ocurre cuando el contenido de sales en el agua de riego es elevado y éstas se acumulan en el sistema de raíces de los cultivos, afectando su rendimiento. Al acumularse excesivas cantidades de sales solubles en el sistema de raíces, la planta tendrá mayor dificultad para extraer agua, pues no solo

tendrá que vencer el potencial de agua del suelo, sino también el potencial osmótico debido a las sales.

La concentración de sales aumenta con la profundidad de la zona radicular, debido a que el agua de riego evapotranspirada por el cultivo, deja sus sales en la zona radicular, para ser desplazadas por riegos subsecuentes a la parte inferior de la misma, en donde se acumulan hasta ser lixiviadas a mayores profundidades.

Infiltración

La infiltración se refiere a la facilidad con que el agua atraviesa la superficie del suelo, y se mide en términos de velocidad.

El problema de infiltración debido a la calidad del agua aplicada, ocurre por lo general, en los primeros centímetros del suelo, aunque ocasionalmente, puede ocurrir a mayores profundidades, reduciendo la cantidad de agua que penetra a la zona radicular del suelo.

Las directrices del Cuadro N.º 07 se refieren a problemas de infiltración que se relacionan directamente a los cambios desfavorables en la composición química del suelo, debido a la calidad del agua de riego aplicada al terreno de cultivo, y están relacionados con la baja salinidad o el alto contenido de sodio en el agua, mas no están relacionados con los problemas que se pueden presentar por las características físicas del suelo tales como textura, estratificación y compactación (FAO, 1976). Utilizando los mismos principios, pero de manera gráfica, la figura N.º 04 permite visualizar el riesgo de sodicidad, en la función al RASº y la salinidad del agua de riego.

Las aguas con pocos contenidos de sales (de salinidad inferior a 0.5 dS/m y particularmente por debajo de 0.2 dS/m) son corrosivas, pues tienden de manera rápida a disolver y a separar el calcio y otros minerales fácilmente solubles existentes en el suelo superficial, dispersando las partículas más finas del suelo, que cierran los poros y sellan la superficie del suelo, reduciendo notablemente la infiltración.

Cuadro N.º 07: Directrices para interpretar la calidad del agua para el riego

Problema Potencial	Unidades	Grado de Restricción de Uso		
		Ninguna	Ligera a Moderada	Severo
Salinidad				
(Afecta la disponibilidad de agua para el cultivo) ²				
Eca	dS/m	<0.7	0.7 - 3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450 - 2000	>2000
Infiltración				
(Reduce infiltración; evaluar usando a la vez la Eca y el RAS) ³				
RAS = 0 a 3	Eca =	>0.7	0.7 a 0.2	<0.2
= 3 a 6	=	>1.2	1.2 a 0.3	<0.3
= 6 a 12	=	>1.9	1.9 a 0.5	<0.5
= 12 a 20	=	>2.9	2.9 a 1.3	<1.3
= 20 - 40	=	>5.0	5.0 a 2.9	<2.9
Toxicidad de iones específicos				
(Afecta a los cultivos sensibles)				
De Sodio ⁴				
Superficie de riego	RAS =	<3	3 a 9	>9
De riego por aspersion	meq/l	<3	>3	
Cloruro ⁴				
Superficie de riego	meq/l	<4	4 a 10	>10
De riego por aspersion	meq/l	<3	>3	
Boro ⁵				
	mg/l	<0.7	0.7 a 3.0	>3.0
Elementos traza				
Efectos Varios				
(Afecta a los cultivos susceptibles)				
De Nitrogeno ⁶	mg/l	<5	5 a 30	>30
Bicarbonato				
(aspersion aerea solamente)	meq/l	<1.5	1.5 a 8.5	>8.5
pH	Unidades de pH	Rango normal de 6.5 a 8.4		

Fuente: Manual FAO N.º 29 Rev. 1 Riego y Drenaje, 1994 (1)

¹ Adaptado de la Universidad de California del Comité de Consultores de 1974.

² Eca es la conductividad eléctrica del agua: medida de la salinidad, expresada en deciSiemens por metro a 25 ° C (dS / m) o en unidades milimhos por centímetro (mmho / cm). Ambas son equivalentes. TDS es el total de sólidos disueltos, informado en miligramos por litro (mg / l).

³ RAS es la relación de adsorción de sodio. RAS es a veces representado como ARN. Para un valor determinado del RAS, la velocidad de infiltración utilizando el RAS y la Eca. Fuentes: Rhoades 1977, y Oster y Schroer 1979.

⁴ La mayoría de los cultivos arbóreos y plantas leñosas son sensibles la sodio y al cloro; en el caso de riego por superficie úsese los valores indicados. La mayor parte de los cultivos anuales no son sensibles; para ellos úsese las tolerancias de salinidad dadas en las tablas 4 y 5. Para la tolerancia de los frutales al cloro, utilícese la tabla 14. En el caso de riego por aspersion sobre el follaje, y humedad relativa por debajo del 30%, el sodio y el cloro pueden ser adsorbidos por las hojas de cultivos sensibles; para ellos ver las tablas 18, 19 y 20.

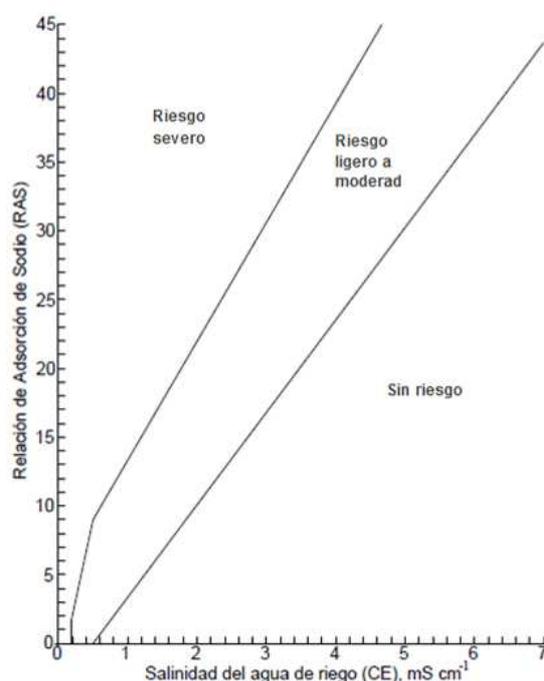
⁵ Para las tolerancias de boro, véanse los cuadros 16 y 17.

⁶ NO₃-N significa nitrógeno nítrico expresados en términos de nitrógeno elemental (NH₄-N y N-orgánico debe ser incluido cuando las aguas residuales se está probando).

NOTA: Las tablas 4, 5, 14, 16, 17, 18, 19 y 20 a las que se hace referencia en el presente cuadro, se encuentran en el Manual N.º 29 Rev. 1 de Riego y Drenaje de la FAO (1).

Cuando el contenido de sodio supera al del calcio en una proporción mayor de 3:1, se produce la dispersión de los suelos y la destrucción de su estructura. Este aumento en el contenido de sodio en relación al calcio y magnesio (RAS) produce problemas serios de infiltración de la misma manera que una salinidad muy baja del agua. Esto se debe a la falta de suficiente calcio para contrarrestar los efectos dispersantes del sodio (FAO, 1976).

Figura N.º 04: Reducción relativa de la infiltración, provocada por la salinidad y la RAS (Rhoades 1977 y Schroer 1979)



Fuente: Calidad del agua en la agricultura – Riego y Drenaje 29-FAO.

Calculo de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

El RAS° puede utilizarse para prever de mejor manera los problemas de infiltración causados por concentraciones relativamente altas de sodio o bajas de calcio (Goicochea, 2012).

Hay tres métodos conocidos para calcular la relación de adsorción de sodio (RAS), sin embargo el mostrado en el Manual N.º 29 de la FAO, y que se denomina RAS corregido, es el más recomendado porque conjuntamente con el valor de Ca°, ofrece una mejor comprensión de las modificaciones del calcio del agua del suelo, que dan lugar a un aumento de su contenido, provocado por la disolución del calcio de los carbonatos y silicatos, o a una disminución del mismo, ocasionada por la precipitación del calcio en forma de carbonato.

La ecuación empleada es la siguiente:

$$RAS^{\circ} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{\circ} + Mg}{2}}} \quad (A)$$

Dónde:

Na = Contenido de sodio en el agua de riego, en meq/l

Ca[°] = Contenido corregido de calcio en el agua de riego, en meq/l

Mg = Contenido de magnesio en el agua de riego, en meq/l

El valor de Ca[°] es el contenido de calcio en el riego, corregido por la salinidad del agua (ECa), por el contenido de bicarbonato en relación a su propio contenido de calcio (HCO₃/Ca) y por la presión parcial de dióxido de carbono (CO₂) ejercida en los primeros milímetros del suelo (P = 0.0007 atmósferas).

Los valores de calcio corregido (Ca[°]) para ser utilizados en la Ecuación A se encuentran en el Cuadro N.º 08. Cada uno de estos valores representa la concentración final de calcio que permanecería en solución en el suelo, como resultado de aplicar un agua de determinada salinidad (ECa) y contenido relativo de bicarbonato en relación al calcio (HCO₃/Ca).

Toxicidad

La toxicidad se da en la propia planta cuando adsorbe y acumula ciertos elementos (iones) del suelo o del agua en concentraciones lo suficientemente altas como para provocar daños en la planta, afectando el rendimiento del cultivo. Los elementos más preocupantes son el boro, el cloruro y el sodio.

Unos cultivos son más sensibles que otros, la mayor parte de los cultivos anuales no son sensibles a las concentraciones de toxicidad indicadas en el Cuadro N.º 08, en cambio los cultivos perennes como frutales y las plantas leñosas, si lo son. Pero todos los cultivos presentan problemas de toxicidad cuando las concentraciones son altas.

Cuadro N.º 08: Concentraciones de calcio (Ca^o) en el agua del suelo, contenida en el suelo o cerca de la superficie, que resultaría de regar con aguas de determinado valor HCO₃/Ca y conductividad ECa1,2,3

		Salinidad del agua aplicada (Eca) en dS/m											
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3	4	6	8
Proporción de HCO ₃ / Ca	0.05	13.2	13.61	13.92	14.4	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
	0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
	0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.9	8.31	8.64	9.17	9.58
	0.20	5.24	5.4	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
	0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
	0.30	4	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
	0.35	3.61	3.72	3.8	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
	0.40	3.3	3.4	3.48	3.6	3.7	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
	0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.8	4	4.15	4.41	4.61
	0.50	2.84	2.93	3	3.1	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.3
	0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.7	2.84	2.95	3.14	3.28
	1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
	1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.1	2.23	2.33
	1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.7	1.79	1.86	1.97	2.07
	1.75	1.23	1.27	1.3	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
	2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.4	1.48	1.54	1.63	1.7
	2.25	1.04	1.08	1.1	1.14	1.17	1.21	1.26	1.3	1.37	1.42	1.51	1.58
	2.50	0.97	1	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.4	1.47
	3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.3
	3.50	0.78	0.8	0.82	0.85	0.87	0.9	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.8	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07	
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.9	0.95	0.99	
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.8	0.83	0.88	0.93	
7.00	0.49	0.5	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74	
10.00	0.39	0.4	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58	
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.3	0.32	0.33	0.35	0.37	
30.00	0.18	0.19	0.2	0.2	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28	

Fuente: Manual FAO N.º 29 Rev. 1 Riego y Drenaje, 1994 (1)

¹ Fuente: Suárez (1981)

² Supone: a) una fuente de calcio proveniente de silicatos o calizas (CO₃Ca); b) no existe precipitación del magnesio; y c) la presión relativa al CO₂ cerca de la superficie del suelo es 0.0007 atmosferas.

³Ca^o, HCO₃/Ca expresados en meq/l y ECa en dS/m.

Los problemas de toxicidad frecuentemente complican y complementan los problemas de salinidad e infiltración, y pueden aparecer aun cuando la salinidad es baja.

Además del boro, cloruro y sodio, muchos otros oligo-elementos son tóxicos para la planta, aun en pequeñas concentraciones. El contenido de estos elementos son bajos en la mayoría de las aguas de riego y no constituyen, en general, un peligro (FAO, 1976).

Problemas varios

Son relacionados con el nitrógeno, bicarbonato y el índice de pH.

La excesiva cantidad de nitrógeno en el agua de riego genera una anomalía en el desarrollo vegetativo retardando su madurez, y también puede provocar cosechas de baja calidad.

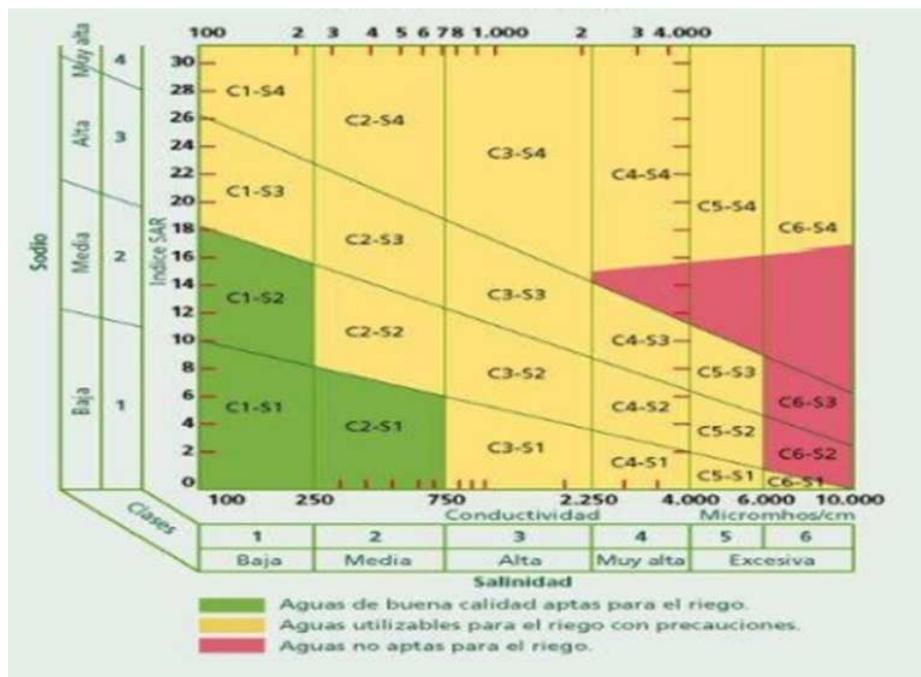
El alto contenido de bicarbonatos en el agua produce depósitos blanquecinos en los frutos y en las hojas de las plantas cuando se riega con aspersores.

El pH del agua otorga una rápida evaluación de la posibilidad de que el agua sea anormal. El intervalo normal de pH para el agua de riego está entre 6.5 y 8.4. Las aguas con pH anormal pueden crear desequilibrios de nutrición o contener iones tóxicos (FAO, 1976).

d.2. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para el riego según el Laboratorio de Riverside (U.S. Soil Salinity Laboratory)

En función de la conductividad y del índice RAS (Relación de Adsorción de Sodio, que relaciona la concentración de Na con la de Ca y Mg) se obtienen dos categorías: la C (salinidad) y la S (sodio) que van del 1 al 6 en el primer caso y del 1 al 4 en el segundo caso.

Figura N.º 05: Categorías de calidad de agua según Normas de Riverside



Interpretación de las Categorías según las Normas de Riverside.

- C1: Baja salinidad. Puede usarse para la mayor parte de los cultivos sin riesgo.
- C2: Salinidad media. Válida para plantas no sensibles y con moderado lavado del suelo.
- C3: Salinidad alta. No debe usarse si hay un mal drenaje del suelo. Utilizar sólo en cultivos tolerantes y realizar un seguimiento de la salinidad del suelo.
- C4: Salinidad muy alta. Sólo utilizable en cultivos muy tolerantes, en suelo permeable, buen drenaje y con exceso de agua para efectuar lavados.
- C5 y C6: Aguas de excesiva salinidad. No recomendado su uso.
- S1: Agua baja en sodio. Uso adecuado en la mayor parte de cultivos.
- S2: Agua media en sodio. Puede ser un peligro si hay un lavado deficiente, suelos de textura fina, cultivos sensibles y si no hay yesos.
- S3: Agua alta en sodio. En la mayoría de los suelos puede haber toxicidad por Na, necesario buen drenaje, lavados intensos, adición de materia orgánica, yeso. En suelo pestífero hay menos riesgo.
- S4: Agua muy alta en sodio. Poco apta para el riego, excepto con salinidades medias-bajas.

2.3 Balance hídrico

El balance hídrico no es más que la aplicación del principio de la conservación de masa (ecuación de continuidad) a una cierta región definida por unas determinadas condiciones de entorno (Custodio y Llamas, 1976).

En este contexto, el balance de agua no sería más que el equilibrio de los recursos hídricos que ingresan al sistema (Q_i), los recursos hídricos que salen del mismo (Q_e) y las variaciones en el almacenamiento (ΔQ), en un intervalo de tiempo determinado.

$$Q_i - Q_e = \pm \Delta Q$$

En el análisis del balance hídrico generalmente se presentan dos alternativas:

1° $Q_i > Q_e$: cuando lo que ingresa al sistema es mayor a los que sale, presentándose un superávit hídrico.

2° $Q_i < Q_e$: cuando lo que sale del sistema es mayor a lo que ingresa, presentándose un déficit hídrico.

Se sabe que la evaluación del balance hídrico permite obtener valores de excesos y déficit de agua que se registran en un área dada (sistema), lo cual para el sector agrario es útil por los siguientes fines:

- En la planificación y operación adecuada del riego y el drenaje de los campos agrícolas.
- Planificación y manejo de los recursos hídricos de una región.
- Estudios de predicción de rendimientos agrícolas.
- Para la elaboración de calendarios agrícolas.
- Estudios de predicción de inundaciones y sequías.
- Estudios sobre la erosión del suelo.
- Clasificaciones climáticas y agroclimáticas.
- Estudios sobre lixiviación o lavado de nutrientes químicos.

Se puede construir balances de forma general, incluyendo aguas superficiales y subterráneas, y parciales de solo aguas superficiales, de un acuífero, del agua del suelo, etc. En cualquier caso, el balance evaluará las entradas y salidas del sistema analizado.

2.4 Balance de sales

Los suelos regados reciben considerables cantidades de sales disueltas, parte aportada por el agua de riego y el resto por el agua sub superficial que entra en el área. Adicionalmente, los fertilizantes aportan cierta cantidad, a veces poco representativa, de sales solubles como nitrógeno, óxido de fósforo y óxido de potasio, considerados en agricultura como los macro nutrientes, que deben estar presentes en suelos destinados a cultivos de cualquier índole.

Bajo este contexto, el balance de sales, al igual que el balance hídrico, no es más que el equilibrio de la concentración de sales disueltas que ingresan al sistema (S_{qi}), las que salen del mismo (S_{qe}) y el cambio de salinidad en el sistema agua suelo (ΔS), en un intervalo de tiempo determinado. Todo ello expresado en la siguiente ecuación:

$$(Q_i \cdot S_{qi}) - (Q_e \cdot S_{qe}) = \pm \Delta S$$

2.5 Reúso de las aguas residuales tratadas en agricultura

El uso de las aguas residuales en la agricultura en lo que se llamó “cultivo con aguas negras” comenzó en Australia, Francia, Alemania, India, Reino Unido y Estados Unidos a finales del siglo XIX y en México en 1904. Sin embargo, el aprovechamiento indirecto, es decir, la extracción de agua de los ríos que reciben aguas residuales, es práctica común en todo el mundo.

En los últimos veinte años se ha incrementado el interés por el uso de las aguas residuales para el riego de cultivos en zonas áridas y semiáridas por la escasez de otras fuentes de agua y la necesidad de incrementar la producción de alimentos.

Esta práctica es de gran valor para la conservación de agua por la reutilización de nutrientes, y como forma de prevenir la contaminación del agua subterránea y superficial; además, las poblaciones no han hecho mayores objeciones debido a los a que existen normas de control establecidos para la protección de la salud.

Las aguas residuales en estado bruto se emplean para producción agrícola y piscícola en muchos países, a menudo en forma ilegal y sin la aprobación de las autoridades sanitarias. Por ello, es mejor ofrecer asistencia con modernas prácticas, no solo para minimizar los riesgos sanitarios sino también para incrementar la productividad, en lugar de prohibirlas por completo.

2.5.1 Aguas residuales como recurso

Las aguas residuales desempeñan una importante función en la ordenación de los recursos hídricos puesto que la utilización de las mismas libera diversas fuentes de agua fresca para beber y otros usos prioritarios.

Adicionalmente, las aguas residuales son un recurso nutricional importante para el suelo al agregarle materia orgánica, nitrógeno, y compuestos de fosforo y potasio (contaminantes que evacuados directamente al medio ambiente podrían causar graves problemas), al punto de poder reducir o eliminar por completo, la necesidad de aplicar

fertilizantes comerciales; la materia orgánica sirve también para incrementar su capacidad de retención de agua.

2.5.2 Limitaciones para el reuso en riego

Para fines de aprovechamiento de aguas residuales, la medida más importante de los resultados del proceso de tratamiento es la eliminación de agentes patógenos y no el retiro de sólidos en suspensión ni la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, como se exige normalmente para control de la contaminación.

Según el informe de un grupo de científicos de la OMS (E. Akin y otros, 1989), las recomendaciones finales sobre el tratamiento de aguas residuales para riego de cultivos que se consumen cocidos y para acuicultura se centraron en que los tratamientos primario y secundario eran esenciales y que, en ciertas circunstancias, se necesitaba tanto la “depuración” de los efluentes mediante filtración en arena y otro método (para retirar los sólidos en suspensión) como su desinfección. Se consideró que la desinfección y los tratamientos primario y secundario eran indispensables para el consumo de productos crudos y que en algunos casos se hacía necesaria la filtración en arena o en sistema de depuración equivalente; se determinó también que los productos que no fueran destinados directamente a consumo humano podían regarse con efluentes del tratamiento primario de aguas negras.

La contaminación de las aguas subterráneas, que bien podrían derivar del uso de aguas residuales para riego y del empleo cloacal en la tierra, depende de las condiciones locales y la intensidad de aplicación, es así que “(...) habrá un gran riesgo de acumulación de nitratos si hay una capa no saturada de poca profundidad o muy permeable encima de la fuente acuífera y sobre todo si esta zona tiene grietas” (E. Akin y otros, 1989, p.90).

a. Contaminantes químicos

Las aguas servidas municipales pueden contener contaminantes químicos provenientes de descargas industriales en el sistema de alcantarillado. De particular interés son los tóxicos para el hombre, plantas y la biota acuática, como los metales pesados y las sustancias orgánicas no degradables.

Un problema que a largo tiempo, puede crear el riego con aguas residuales, es la acumulación de materiales tóxicos o de salinidad en el suelo. “A medida que la capa no saturada retira los contaminantes químicos, su concentración en el suelo aumentara con el tiempo y, después de muchos años de riego, los cultivos pueden adsorber esos contaminantes en concentraciones toxicas para el hombre” (E. Akin y otros, 1989, p.90).

La mejor forma de evitar esto es impedir que los contaminantes químicos entren en las alcantarillas, la idea es que las zonas industriales cuenten con su propia planta de tratamiento de aguas residuales.

2.5.3 Marco legal nacional para el reuso de aguas residuales

Es importante incorporar el aprovechamiento de aguas residuales a la planificación nacional en materia de recursos hídricos y agricultura, sobre todo donde hay escasez de agua, no solo para proteger la calidad de ésta sino para minimizar los costos de tratamiento de las aguas residuales, proteger la salud pública y obtener máximos beneficios de los nutrientes que las aguas residuales empleadas en la agricultura.

El aprovechamiento de aguas servidas es una responsabilidad que compete a varios ministerios y organismos gubernamentales.

La ANA (Autoridad Nacional del Agua), a través del Consejo de Cuenca, es quien autoriza el reuso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine, en coordinación con la autoridad sectorial correspondiente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional.

Asimismo, en tanto no exista normatividad de calidad para las autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas, se aplican las directrices sanitarias de la Organización Mundial de la Salud (OMS) u otras normas internacionales que el Ministerio de Salud (MINSA) establezca.

a. Ministerio de Agricultura

a.1. Autoridad Nacional del Agua (ANA)

- **Autorización de reuso de aguas residuales industriales, municipales y domesticas tratadas**

Es el documento que otorga la Autoridad Nacional del Agua, a través de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA), al usuario que lo solicita, autorizando el reuso de aguas residuales únicamente cuando se cumplan con todas las condiciones indicadas en la Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento.

Base legal

- Decreto Legislativo N° 997, Primera Disposición Complementaria Final. (13/03/2008).
 - Ley N.°29338 – Ley de Recursos Hídricos, Art. 82°. (31/03/2009).
 - Decreto Supremo N.° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Art. 148° (24/03/2010).
 - Decreto Supremo N.°006-2010-AG, Reglamento de Organización y Funciones de la ANA, Art. 38° (08/07/2010).
 - Ley N.°27444 – Ley del Procedimiento Administrativo General, Art. 29° y 37°. (11/04/2001).

- **Programa de Adecuación de Vertimientos y Reuso de Agua Residual – PAVER**

El PAVER tiene como finalidad la adecuación a las disposiciones de la Ley de Recursos Hídricos de los vertimientos y reúsos de aguas residuales en curso que a la fecha de entrada en vigencia del Reglamento de la citada ley no cuenten con las autorizaciones correspondientes.

El proceso de adecuación concluye con el otorgamiento de la autorización a los vertimientos o reuso de aguas residuales tratadas que cumplan con las disposiciones del Título V de la Ley de Recursos Hídricos

Base legal

- Resolución Jefatural N.°274-2010-ANA. (30/04/2010).

- **Disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reúsos de aguas residuales**

Disposiciones para implementar el otorgamiento de autorización de vertimientos y reuso de aguas residuales como fuente original (industriales, domésticas o municipales), disposiciones sobre clasificación de cuerpos de agua de acuerdo a su calidad, disposiciones sobre valores límites, etc.

Base legal

- Resolución Jefatural N.º0291-2009-ANA. (01/06/2009).

a.2. Ministerio del Ambiente

- **Decreto Supremo N.º003-2010-MINAM.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**

Con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes o emisiones de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.

2.5.4 Tratamiento de aguas residuales

En el cuadro N.º 09 se enumera los procesos de tratamiento de aguas residuales y los rangos típicos de la remoción de patógenos de excreta.

Cuadro N.º 09: Unidad logarítmica de reducción o inactivación de patógenos excretados conseguida por medio del tratamiento de aguas residuales

Proceso de tratamiento	Unidad logarítmica de remoción de patógenos			
	Virus	Bacterias	Protozoos o quistes	Huevos de helminto
Procesos biológicos de baja velocidad				
Lagunas de estabilización	1-4	1-6	1-4	1-3 ^b
Almacenamiento de aguas residuales y reservorio de tratamiento	1-4	1-6	1-4	1-3 ^b
Humedales construidos	1-2	0.5-3	0.5-2	1-3 ^b
Procesos de alta velocidad				
<i>Tratamiento primario</i>				
Sedimentación primaria	0-1	0-1	0-1	0-<1 ^b
Tratamiento primario químicamente mejorado	1-2	1-2	1-2	1-3 ^b
Flujo aeróbico ascendente en reactores de lodo	0-1	0.5-1.5	0-1	0.5-1 ^b
<i>Tratamiento secundario</i>				
Lodos activados + sedimentación secundaria	0-2	1-2	0-1	1-<2 ^b
Filtros de goteo + sedimentación secundaria	0-2	1-2	0-1	1-2 ^c
Laguna de aireación + poza de decantación	1-2	1-2	0-1	1-3 ^c
<i>Tratamiento terciario</i>				
Coagulación/floculación	1-3	0-1	1-3	2 ^b
Filtro de materia granular (alta velocidad) o filtros de arena (lenta)	1-3	0-3	0-3	1-3 ^b
Dos tipos de filtro (antes mencionados)	1-3	0-1	1-3	2-3 ^{b,d}
Membranas	2.5->6	3.5->6	>6	>3 ^{b,d}
<i>Desinfección</i>				
Cloración (cloro libre)	1-3	2-6	0-1.5	0-<1 ^b
Ozonización	3-6	2-6	1-2	0-2 ^c
Radiación ultravioleta	1->3	2->4	>3	0 ^c

FUENTE: Capítulo 5, volumen II de las Guías de 2006. (Traducción propia).

^a Por lo tanto, una reducción de 1 unidad logarítmica = reducción del 90 %; 2 unid.log. = reducción del 99 %; 3 unid.log. = reducción del 99,9 %; etc.

^b Data de plantas a gran escala.

^c Eficiencia teórica basada en mecanismos de eliminación

^d En los ensayos que contienen hasta 2 unid. Log. de contenido inicial, la eliminación puede ser mayor que el reportado.

^e Datos de pruebas de laboratorio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del área de estudio

El valle Chancay-Lambayeque se ubica en el norte del Perú, en el departamento de Lambayeque, abarcando políticamente sus tres provincias: Chiclayo, Lambayeque y Ferreñafe. La primera, se ha convertido en un centro urbano de gran atracción poblacional, sede administrativa y polo de desarrollo socioeconómico de la Región Nor Oriental del País, y longitudinalmente es cruzada por la carretera panamericana, uniéndola por el sur con la ciudad de Trujillo y por el norte con la ciudad de Piura. También se encuentran centros turísticos de gran importancia como las Pirámides de Túcume y el Señor de Sipán.

El valle Chancay-Lambayeque pertenece a la vertiente del Pacífico y sus recursos hídricos benefician a la irrigación del Sistema Tinajones (Ver planos N.º3). Este valle comprende la zona costera que se ubica desde el nivel del mar hasta los 500 m.s.n.m., con muy poca pendiente de 0.1% a 2.0%, cuyo clima es árido con presencia casi nula de precipitaciones. Asimismo, muestra grandes contrastes, como áreas de riego o valle verde, y otras desérticas o dunas.

El clima de la zona de estudio ha sido establecido con la información de la estación climatológica CP-Lambayeque. La temperatura media anual es de 21°C, la precipitación total anual representan el mínimo con 23 mm, y el promedio anual y mensual de humedad relativa del aire es alto, con 82%. Debido a esta humedad solo se registra una evaporación diaria de aproximadamente 4 mm.

Los suelos del valle Chancay-Lambayeque responden a dos orígenes distintos:

- Suelos con predominancia de materiales aluviales depositados por el río en su recorrido al mar.

- Suelos en cuyo perfil se halla, preponderantemente, materiales eólicos que el viento acarreó desde la playa, de los desiertos aledaños y/o mesetas circundantes.

Los suelos son aluviales jóvenes de deposición reciente y con perfil desarrollado, donde se encuentra diferentes horizontes. Varían considerablemente en profundidad y textura, desde ligeros superficiales, hasta profundos y pesados.

Los cultivos predominantes son el arroz y la caña de azúcar, y en menor escala los cultivos de pan llevar: maíz, menestras, hortalizas, y algodón. La distribución de los cultivos en el valle obedece principalmente a la disponibilidad de agua: en la parte más baja del valle hay una mayor incidencia de los cultivos de pan llevar, en las ex cooperativas azucareras predomina el cultivo industrial de la caña de azúcar; y en la parte más alta del valle predomina el cultivo de arroz.

3.2 Materiales y equipos

Para el presente estudio se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Plano de Infraestructura Mayor de Riego y Drenaje del Valle Chancay – Lambayeque elaborado por el Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT) en 2006
- Información de áreas solicitadas y aprobadas para la campaña 2009 – 2010, elaborado por la Junta de Usuarios del Distrito de Riego Chancay Lambayeque (JUDRCHL) en 2010
- Información de asignaciones de agua por Sub Sector de Riego, elaborado por la JUDRCHL en 2010
- Información topográfica del valle
- Información de cultivos (plan de cultivo y riego).
- Teodolito
- Vertedero metálico (D-6000 y D-7100)
- Sistema de Posicionamiento Global – GPS navegador
- Equipo de cómputo
- Calculadora científica
- Correntómetro y Micro correntómetro marca Seba

- Wincha
- Embudos
- Plumón indeleble
- Cinta adhesiva
- Cámara fotográfica
- Bolsas plásticas, pomos, tarjetas y materiales de escritorio
- Plantillas para aforo

3.3 Metodología

La metodología empleada en esta investigación ha sido dividida en cuatro fases:

3.3.1 Recopilación y revisión de información básica de la zona de estudio

Esta actividad consistió en recopilar y revisar la siguiente información:

- Estudios de Riego y/o Drenaje realizados en el valle.
- Inventario de los sistemas de riego y drenaje.
- Información topográfica.
- Uso actual de la tierra.
- Información de áreas solicitadas y aprobadas para la campaña 2009 – 2010, así como las asignaciones de agua por sub sector de riego.
- Cédula de cultivos.

Para la identificación preliminar del área de estudio se contó con planos de la zona de estudio, elaborados por el PEOT y JUDRCHL, a escala 1:75,000.

Por tratarse de una zona costera y de bajas pendientes, no se rescató mayor información sobre el relieve topográfico (curvas de nivel), por lo cual se recurrió a información topográfica detallada en estudios y proyectos ya ejecutados.

Realizada la digitalización (escaneado, georeferenciado y dibujo digital), se procedió a unir todas las bases gráficas a fin de obtener un plano base sobre el cual se anotó detalles y observaciones a realizar en la siguiente fase.

3.3.2 Fase de campo

La fase de campo comprendió la ejecución de las siguientes labores:

a. Reconocimiento de campo

En esta etapa se utilizó el plano base impreso, conteniendo los detalles de la fase anterior, con el cual se efectuó el recorrido por el área de estudio, ubicando los límites del proyecto y 31 puntos de interés.

Cabe señalar que la fase de campo culminó con la evaluación de los 31 puntos de interés antes mencionados, pero para aplicaciones de la presente tesis solo fueron utilizados 07 puntos de control.

a.1. Ubicación de los puntos de control de caudales

La elección de los puntos de control se basó en el principal interés de la Gerencia de Desarrollo de Tinajones, del Proyecto Especial Olmos Tinajones, por conocer los caudales a la salida de los drenes, es decir, previos a la entrega o confluencia con el océano, a fin de calcular la cantidad de agua que discurre por ellos, y posteriormente evaluar su utilización.

Es así que se ubicaron 07 puntos de control de caudales, distribuidos en los 07 sistemas: D-1000, D-2000, D-3000, D-4000, D-5000, D-6000 y D-7000 (Ver plano N.º01- Sistema de Drenaje del Valle Chancay-Lambayeque).

a.2. Ubicación de los puntos de muestreo para análisis de calidad del agua

La ubicación de los puntos de muestreo para el análisis de la calidad de agua de los drenes se encontró ligada a los puntos de control de caudales, dado que cuentan con el mismo fin de reutilización (Ver plano N.º01- Sistema de Drenaje del Valle Chancay-Lambayeque).

Sin embargo, y debido a que se trató de 31 puntos de control (entre los que se encontró los 07 me interés para la presente tesis) en dos épocas distintas del ciclo de riego, los costos superaron el presupuesto y solo permitió extraer una muestra por dren en cada época, motivo por el cual los resultados de calidad del agua de drenes son referenciales.

b. Inventario de la infraestructura

En base a recorridos de campo y recolección de información acerca de la infraestructura construida en el sistema mayor de drenaje, se realizó un inventario de la condición actual en que se encontraban los drenes evaluados de los 07 sistemas.

c. Aforos

Para efectuar los aforos en los drenes se conformó una brigada que contaba con el apoyo de un técnico especialista y ayudantes. (ver fotos N.º01 y N.º 02)

Siguiendo el plan de trabajo, se programó aforos en los 7 puntos del sistema de drenaje cada dos semanas, iniciándose en la etapa de recarga (marzo) hasta la etapa de estiaje (setiembre), de la campaña agrícola del 2010. Ver cuadro N.º 10 que muestra la programación de aforos y la cantidad de muestras por aforo.

Para mejorar las condiciones existentes de las secciones hidrométricas, de los puntos de control de aforo, hubo que ejecutar trabajos de acondicionamiento con la ayuda de peones que desbrozaron la vegetación existente en los taludes (ver fotos N.º 03)

El aforo o medición de caudales se realizó de acuerdo a lo expuesto por DIGESA (2007), que indica tomar las siguientes precauciones:

- a) Utilizar correntómetro de mayor tamaño cuanto más alto sean los caudales o las velocidades.

Cuadro N.º 10: Programación de aforos y cantidad de muestras

Dren		Dren 1000	Dren 2000	Dren 3000	Dren 4000	Dren 5000	Dren 6000	Dren 7000	
Estación		Km. 29+250.5	Km. 9+760	Km. 19+240	Km. 13+936	Km. 4+020	Km. 3+400	Km. 3+575	
Marzo	1ª s.	1	3						
		2		3					
		3			3				
		4				3			
		5					3	3	
		6							3
	2ª s.	17	3	3					
		18			3	3			
		23					3	3	3
	3ª s.	29	3	3					
		30			3	3	3		
		31						3	3
Abril	4ª s.	12	3	3					
		13			3	3			
		14					3	3	
		15							3
	5ª s.	27	3	3					
		28			3	3			
		29					3	3	
		30							3
		31							
Mayo	6ª s.	10	3	3					
		11			3	3			
		12					3	3	
		13							3
	7ª s.	25	3	3					
		26			3	3			
		27					3	3	
		28							3
Junio	8ª s.	8	3	3					
		9			3	3			
		10					3	3	3
	9ª s.	22	3	3					
		23			3	3			
		24					3	3	3
Julio	10ª s.	5	3	3					
		6			3	3			
		7					3	3	
		8							3
	11ª s.	21	3	3	3				
		22				3	3	3	3
Set.	12ª s.	21	3	3					
		22			3	3			
		23					3	3	3

3= cantidad de muestras por aforo

Elaboración propia.

- b) Contar con la calibración del instrumento, donde pueda identificarse el número de vueltas de la hélice por segundo.
- c) Cuanto más ancha e irregular sea la sección donde se realice la medición, mayor será la cantidad de secciones transversales y de mediciones.
- d) Las profundidades en las cuales se mide las velocidades con el correntómetro en función de la altura del tirante de agua (ver cuadro N.º 11).

Cuadro N.º 11: Profundidades para medir velocidad con el correntómetro

Tirante de agua (d) – cm.	Profundidad de lectura del correntómetro – cm.
< 15	d/2
15 < d < 45	0.6(d)
>45	0.2(d) y 0.8(d) / 0.2(d), 0.6(d) y 0.8(d)

Fuente: DIGESA, 2007

Asimismo, se realizó la medición en los 2 vertederos metálicos instalados en los drenes D-6000 y D-7000 (ver Anexo 1, Foto N.º 24), empleando la fórmula hidráulica de vertederos rectangulares con contracciones.

Una vez obtenidas las mediciones en campo, se procedió a realizar los cálculos correspondientes, utilizando fórmulas propias del correntómetro y áreas de secciones donde se hizo las mediciones, para obtener los caudales, en m³/s o l/s.

d. Muestreo de agua

Para efectuar los muestreos de agua en los 07 puntos de control en el sistema de drenaje y uno en el repartidor de agua para riego “La Puntilla” se contó con una brigada, con el apoyo de una bióloga y ayudantes (ver Anexo 1, Foto N.º 06).

En el plan de trabajo se programó el muestreo de agua en los 07 puntos del sistema de drenaje y uno en el repartidor de agua para riego, en dos etapas distintas de la campaña agrícola: etapa de recarga (abril) y etapa de estiaje (setiembre).

Muestreo de agua durante la etapa de recarga: se programó realizarla en marzo del 2010, época de mayor demanda hídrica en el valle, pero por razones ajenas, recién se pudo efectuar a fines de abril e inicios de mayo.

Muestreo de agua durante la etapa de estiaje: se programó para julio del 2010, época donde existe menor demanda hídrica en el valle, pero también se retrasó hasta setiembre, periodo en el que los principales productos ya habían sido cosechados.

Se tuvo en cuenta las precauciones expuestas por DIGESA (2007), para obtener las muestras de agua:

- a) Las botellas que contengan las muestras deben estar limpias. Se debe enjuagar bien con el agua que constituirá la muestra.
- b) Llenar los registros de cada muestra recolectada e identificar cada frasco.
- c) El volumen de la muestra es del orden de un litro.
- d) La muestra debe ser lo más representativa posible. Se debe obtener una muestra o una serie de muestras que sean representativas de las condiciones de utilización.
- e) Si el agua procede de ríos o arroyos la muestra debe tomarse en zonas donde el agua esté en movimiento evitando zonas estancadas, a una profundidad entre 20 y 30 cm.
- f) Las muestras deben mantenerse en un lugar fresco hasta que sean analizadas. Si no pueden ser analizadas inmediatamente, se deben almacenar a una temperatura de unos 4°C.

3.3.3 Fase de laboratorio

Las muestras de agua, fueron llevadas al laboratorio Servicios de Investigación Biológica INVBIOL E.I.R.L., para el respectivo análisis físico químico y bacteriológico. Los parámetros a analizar se muestran en el cuadro N.º 12.

3.3.4 Fase de gabinete

En esta etapa se evaluó y procesó toda la información obtenida en campo y la recopilada de estudios anteriores. Entre las actividades realizadas se tiene:

a. Situación del sistema de drenaje

La evaluación del funcionamiento del sistema de drenaje se concentró en observar, cuantificar y diagnosticar los problemas en el normal y correcto funcionamiento de los drenes.

Cuadro N.º 12: Parámetros a analizar en cada punto de muestreo

Punto de muestreo	Tipo de muestra	n.º de muestras		Parámetros a analizar			
		Epoca de estiaje	Epoca de recarga	Físico-Químicos		Microbiológicos	
Dren 1000	C	1	1	Color (UC)	Cobre (Cu) (mg/L)	Alcalinidad Total (HCO ₃) (mg/L)	Coliformes Totales Coliformes Termotolerantes Fecales
Dren 2000	C	1	1	pH (a 25°C)	Plomo (Pb) (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	
Dren 3000	C	1	1	Conductividad (uS/cm)	Potasio (K) (mg/L)	Sulfatos (SO ₄) (mg/L)	
Dren 4000	C	1	1	Salinidad (0/00)	Cloruros (Cl) (mg/L)	Nitratos (NO ₃) (mg/L)	
Dren 5000	C	1	1	Sólidos Totales (mg/L)	Cloruro de Sodio (NaCl) (mg/L)		
Dren 6000	C	1	1	Dureza Total (CaCO ₃) (mg/L)	Sodio (Na) (mg/L)		
Dren 7000	C	1	1	Dureza Calcio (Ca) (mg/L)	Hierro (Fe) (mg/L)		
Repartidor La Puntilla	C	1	1	Dureza de Magnesio (Mg) (mg/L)	Alcalinidad Fenotaleinica de carbonatos (CO ₃) (mg/L)		

C= completo

Elaboración propia.

b. Revisión y análisis de los antecedentes del presente estudio

La información recopilada de estudios anteriores, permitió enriquecer los conocimientos sobre la problemática existente en todo el valle, con la oferta de agua y la cantidad que se pierde, así como el proceso de salinización y las soluciones planteadas anteriormente.

c. Cuantificación de los caudales de drenaje

La información obtenida en los aforos de los drenes, anotada en sus respectivas plantillas, se digitó en Excel.

Para interpretar los resultados de los aforos, se uniformizó los valores en unidades de m³/s, para posteriormente ser separados por meses y no por semanas de control como inicialmente estaban definidos.

Con los valores determinados se elaboró los gráficos para una mejor interpretación de los resultados, en donde se observa la tendencia o variación en el tiempo.

d. Calidad del agua

Con los resultados de la calidad del agua obtenidos en el laboratorio, se analizó la utilidad del recurso hídrico que discurre por los drenes para ser usado para la agricultura, en comparación a los valores estándar de la tolerancia a los cultivos y para el consumo de los animales.

Para el análisis e interpretación propiamente dicha de los resultados de calidad del agua se utilizó la información recopilada y detallada en la revisión bibliográfica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condiciones de drenaje

El sistema de drenaje en el valle Chancay – Lambayeque, está conformado por una red de drenes principales o colectores que son: D-1000, D-2000, D-3000, D-4000, D-5000, D-6000 y D-7000, así como drenes secundarios y de tercer orden construidos para beneficiar a 72 400 ha (Ver plano N.º 01: Sistema de Drenaje del Valle chancay – Lambayeque), que hacen un total de 647.26 km de drenes abiertos, distribuidos en los sectores de riego (Ver plano N.º 02: Sectores y subsectores), que se indican en el Cuadro N.º 13.

4.1.1 Evaluación del sistema de drenaje existente

Actualmente los drenes se caracterizan por tener un mantenimiento insuficiente en relación a la densidad de la red existente, esto debido a que la empresa ETECOM S.A., responsable de dicho mantenimiento, en aproximadamente 07 años de operación, solamente hizo el mantenimiento de una longitud total acumulada de 492,06 km que en promedio significa 70,3 km/año; se debe tener en cuenta que la longitud total de la red es 647.263 km y que ésta requiere como mínimo dos veces al año de los trabajos de mantenimiento para que pueda funcionar en condiciones óptimas.

Los problemas que desencadena la falta de mantenimiento del sistema de drenaje son: la colmatación de la sección hidráulica (ver fotos N.º07, 08 y 20) y en algunos casos, la fuerte erosión al pie de los taludes, y la invasión de la sección hidráulica por la totora (ver Foto N.º 03) lo cual disminuye la velocidad del flujo del agua y se produce el acelerado proceso de sedimentación disminuyendo la profundidad efectiva de drenaje, lo que origina el humedecimiento de los taludes y da lugar a grandes erosiones en los mismos (ver Foto N.º 05), sobre todo en zonas de textura ligera.

Cuadro N.º 13: Sistema de drenaje en el valle Chancay- Lambayeque

COMISIONES	Orden de los drenes	SISTEMAS							TOTAL
		D-1000	D-2000	D-3000	D-4000	D-5000	D-6000	D-7000	
Ferrefiafe	Colector	12							160.061
	1º	23							
	2º	40.487							
	3º e inferiores	85.104							
Capote	Colector	4.207							79.483
	1º	18.061							
	2º	28.96							
	3º e inferiores	28.255							
Lambayeque	Colector	1.751	11.1	7.483					101.644
	1º	21.057	7.395	0.827					
	2º	11.443	11.19						
	3º e inferiores	21.926	7.472						
Muy Finca	Colector								79.881
	1º	16.086							
	2º	36.842							
	3º e inferiores	26.953							
Mochumi	Colector								21.421
	1º	6.368							
	2º	11.487							
	3º e inferiores	3.566							
EA. Tuman	Colector								18.270
	1º	5.724							
	2º	5.509							
	3º e inferiores	7.037							
Morrope	Colector								8.853
	1º	5.624							
	2º	3.229							
	3º e inferiores								
Pitipo	Colector								51.055
	1º								
	2º	3.785							
	3º e inferiores	47.27							
Chiclayo	Colector			12.017	5.095				64.237
	1º			20.588	9.758				
	2º			5.945	9.684				
	3º e inferiores			1.15					
Monsefu	Colector				7.32	6.47	3.75	3.6	62.358
	1º				8.806	8.244	1.395		
	2º				6.425	8.2			
	3º e inferiores				5.25	1.812		1.086	
TOTAL (km)		463.519	37.157	48.01	52.338	24.726	5.145	4.686	647.263

(*) *Proyectado.*

Fuente: Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT).

(Ver plano N.º 3)

Además de ello, se puede mencionar las siguientes deficiencias en la infraestructura del sistema de drenaje.

- Las desembocaduras de los drenes colectores hacia el mar por acción eólica presentan gran acumulación de arena. (ver Foto N.º 20)
- Las secciones transversales de los drenes varía a lo largo de toda su longitud.
- La construcción de obstáculos en los drenes por parte de los agricultores para reutilizar el agua de drenaje en los sembríos impide el discurrir de las aguas, elevando el nivel freático en las zonas adyacentes y provocando el deslizamiento de los taludes. (ver Foto N.º 21)

- La rasante de los drenes en algunos tramos tiene pendiente cercana a cero produciéndose estancamientos y propagación de maleza (inea, junco, grama dulce y picantilla), además de acumulación de sedimentos, reduciendo la sección hidráulica del dren, velocidad del agua de drenaje y por consiguiente su capacidad de descarga.
- Los caminos de vigilancia presentan, en ciertos tramos, características arenosas e interrupciones.
- La operación de los drenes: D-1600, D-2210, D-4000, D-6100, entre otros, se ven afectados por la desembocadura a estos de tuberías de desagües urbanos, rebasando su caudal de diseño. (ver fotos N.º 10, 14, 15 y 19)

De las inspecciones efectuadas, se destaca la necesidad de atender con prioridad las siguientes deficiencias:

- La desembocadura del colector D-2000 hacia el mar, se encuentra ubicado en una zona de dunas, por lo que se construyó un conducto cubierto de 700 m para empalmar con una estructura de salida de 40 m:
 - Esta estructura, continuamente por acción eólica, se arena restringiendo el libre flujo del agua de drenaje, por lo cual es necesario atenderlo con periodicidad más frecuente, que si bien este mantenimiento implica mayores costos, garantiza la libre evacuación de agua de drenaje y de escorrentía superficial.
 - Adicionalmente, el conducto en mención hoy presenta, después de 20 años de servicio, su capa superior de concreto con grados de deterioro (en 20% de su longitud), llegándose incluso a observar el acero estructural. Ello implica su reparación urgente. (ver Foto N.º 22)
- El vertimiento de aguas residuales y residuos industriales a los canales de drenaje, mediante descarga directa o desde una poza de oxidación, ocasiona impactos sobre la salud y la ecología:
 - De manera especial se puede mencionar, que los residuos industriales que vierten las fabricas alcoholeras, el arrojo directo de desechos sólidos (basura), el vertimiento de agua residual y al final los residuos del terminal pesquero en Santa Rosa, han provocado que el dren D-4000 se convierta en el más

- contaminado del sistema de drenaje, donde incluso la flora de gran proliferación en otros drenes, tiene bajo crecimiento. (ver fotos 14, 15, 16 y 18)
- Los vertimientos de aguas residuales han creado condiciones adecuadas para la proliferación de una flora distinta que impide el flujo del agua y que es más difícil de eliminar.
 - Se ha eliminado especies hidrobiológicas que de cierta manera eran componente eventual de la alimentación de los lugareños.
- La escasez de agua y el incremento de su demanda ha llevado a la proliferación de puntos, a lo largo de los drenes, donde el agua es embalsada para su aprovechamiento en el riego de parcelas. Esta práctica causa dos situaciones críticas: a). al fajinar el cauce e impedir el libre flujo elevan el tirante del agua debilitando los taludes que con el paso de vehículos pesados ceden provocando deslizamientos, y b). el uso del agua, por parte de agricultores asentados a las riberas de los drenes, es irresponsable cuando riegan cultivos de tallo corto y de uso masivo y directo de la población y ganado (verduras, pastos, arroz).
 - Las secciones transversales del dren D-1000, varían a lo largo de toda su longitud debido a la erosión que produjo las avenidas que discurrieron por los drenes. También presenta deterioro en la caja hidráulica, que afecta parte de los caminos de vigilancia.

4.2 Cantidad de agua de retorno

4.2.1 Caudal evacuado por los drenes hacia el mar

Los caudales medidos, durante el periodo de observación en los 7 sistemas de drenaje existentes en el valle Chancay Lambayeque, cerca de la desembocadura al mar, se presentan en los cuadros N.º 14 y N.º 15:

Cuadro N.º 14: Caudales evacuados por los drenes colectores hacia el mar

Dren	Estación	Caudales registrados en m³/s											
		1º Semana (2 - 6 de marzo)	2º Semana (17, 18, 23 de marzo)	3º Semana (29, 30 y 31 de marzo)	4º Semana (12, 13, 14 y 15 de abril)	5º Semana (27, 28, 29 y 30 de abril)	6º Semana (10, 11, 12 y 13 de mayo)	7º Semana (25, 26, 27 y 28 de mayo)	8º Semana (8, 9 y 10 de junio)	9º Semana (22, 23 y 24 de junio)	10º Semana (5, 6, 7 y 8 de julio)	11º Semana (21 y 22 de julio)	12ª Semana (21, 22 y 23 de agosto)
Dren 1000	Km. 29+250.5	4.993	5.827	7.697	6.178	6.433	5.17	2.788	1.718	1.267	1.066	1.02	0.264
Dren 2000	Km. 9+760	0.18	0.204	0.179	0.132	0.38	0.207	0.024	0.075	0.043	0.048	***	***
Dren 3000	Km. 19+240	0.788	0.734	0.686	0.718	0.48	0.373	0.276	0.188	0.157	0.178	0.131	0.258
Dren 4000	Km. 13+936	0.716	0.597	0.582	0.577	0.593	0.277	0.315	0.277	0.23	0.36	0.161	0.112
Dren 5000	Km. 4+020	0.196	0.275	0.255	0.289	**	0.13	0.113	0.117	0.071	0.09	0.059	0.064
Dren 6000	Km. 3+400	0.057	0.048	0.033	**	0.056	0.036	0.042	0.036	0.036	0.033	0.029	0.08
Dren 7000	Km. 3+575	0.013	0.009	0.017	**	0.062	0.013	0.012	0.011	0.027	0.01	***	0

** Problemas para afinar debido a mantenimiento en el dren aguas arriba o en el punto, o que el caudal sea mínimo como para no poder subir el tirante ni mover la elice del correntometro.

*** Agua estancada.

Cuadro N.º 15: Caudales evacuados por los drenes hacia el mar. Promedio mensual

Sistema de drenaje	Ubic. Puntos de control	Marzo (m³/s)	Abril (m³/s)	Mayo (m³/s)	Junio (m³/s)	Julio (m³/s)	Agosto (m³/s)	Setiembre (m³/s)	Promedio (m³/s)
Dren 1000	Km. 29+250.5	6.172	6.516	3.979	1.542	1.043	0.658	0.273	2.883
Dren 2000	Km. 9+760	0.188	0.265	0.116	0.061	0.041	0.032	0.023	0.104
Dren 3000	Km. 19+240	0.736	0.619	0.325	0.178	0.155	0.211	0.267	0.356
Dren 4000	Km. 13+936	0.632	0.605	0.296	0.262	0.261	0.188	0.116	0.337
Dren 5000	Km. 4+020	0.242	0.299	0.122	0.097	0.075	0.07	0.066	0.139
Dren 6000	Km. 3+400	0.046	0.058	0.039	0.037	0.031	0.057	0.083	0.050
Dren 7000	Km. 3+575	0.013	0.064	0.013	0.02	0.01	0.005	0	0.018
PROMEDIO MENSUAL (m³/s)		1.147	1.204	0.699	0.314	0.231	0.174	0.118	0.555

Elaboración propia.

4.2.2 Volumen evacuado por los drenes hacia el mar

Los volúmenes de agua estimados a partir de los caudales medidos en los 7 sistemas de drenaje existentes en el valle Chancay Lambayeque, se presentan en el Cuadro N.º 16:

Cuadro N.º 16: Volúmenes evacuados por los drenes hacia el mar. Promedio mensual

Sistema de drenaje	Ubic. Puntos de control	Marzo (MMC)	Abril (MMC)	Mayo (MMC)	Junio (MMC)	Julio (MMC)	Agosto (MMC)	Setiembre (MMC)	Total (MMC)
Dren 1000	Km. 29+250.5	16.532	16.889	10.657	3.998	2.794	1.750	0.707	53.327
Dren 2000	Km. 9+760	0.503	0.686	0.309	0.158	0.108	0.084	0.059	1.907
Dren 3000	Km. 19+240	1.971	1.604	0.869	0.462	0.414	0.552	0.691	6.563
Dren 4000	Km. 13+936	1.692	1.567	0.793	0.679	0.698	0.499	0.30	6.228
Dren 5000	Km. 4+020	0.648	0.774	0.325	0.252	0.20	0.185	0.171	2.555
Dren 6000	Km. 3+400	0.123	0.150	0.104	0.096	0.083	0.149	0.214	0.919
Dren 7000	Km. 3+575	0.035	0.166	0.033	0.051	0.027	0.013	0.00	0.325
TOTAL (MMC)		21.504	21.836	13.090	5.696	4.324	3.232	2.142	71.824

Elaboración propia.

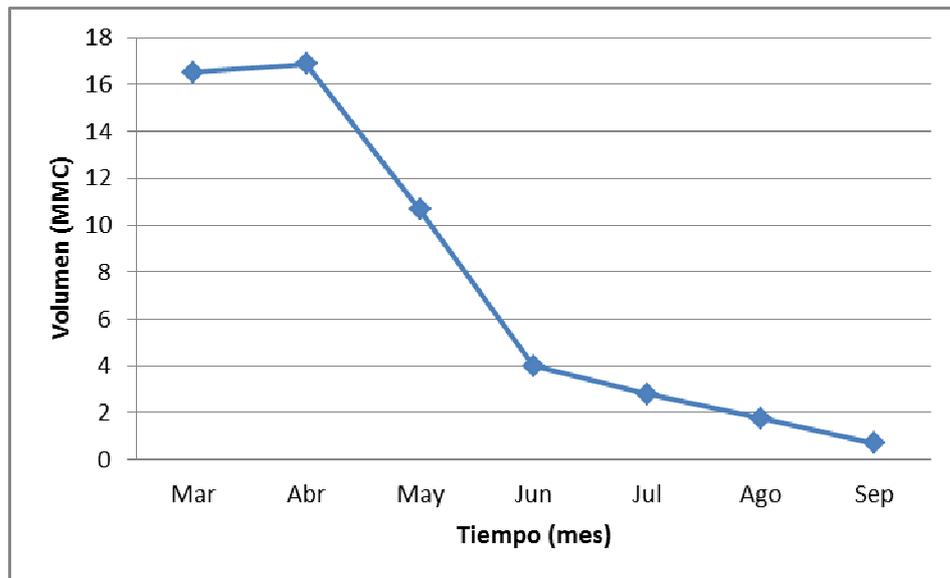
De los resultados de caudal y volumen de agua evacuada hacia el mar, en los 07 sistemas, se tiene lo siguiente:

- El caudal promedio mensual que ha sido evacuado en el periodo de marzo a septiembre hacia el mar ha sido de 0.555 m³/s, para un volumen de 71.824 MMC.
- El caudal máximo promedio mensual discurrido fue en abril de 1.204 m³/s, con un volumen de 21.836 MMC.
- El caudal mínimo promedio mensual discurrido fue de 0.118 m³/s, en septiembre, con un volumen de 2.142 MMC.
- Debido a su extensión, el sistema D-1000 fue el que drenó el mayor volumen de agua hacia el mar, 53.327 MMC, durante el tiempo evaluado. Caso contrario muestra el sistema D-7000 cuyo volumen total evacuado al mar es de 0.325 MMC.
- Los resultados de aforo de agua, que discurren por los sistemas de drenaje, tienen la misma tendencia para atender la campaña agrícola: mayores volúmenes entre marzo y abril, disminuyendo hacia setiembre.

a. Sistema de drenaje Dren D-1000

- Es el Sistema que mayor volumen de agua evacúa al mar, representando el 74.25% del total. Su comportamiento se muestra en el Gráfico N.º 01.

Gráfico N.º 01: Variación mensual del volumen de agua discurrido al mar por el dren-1000



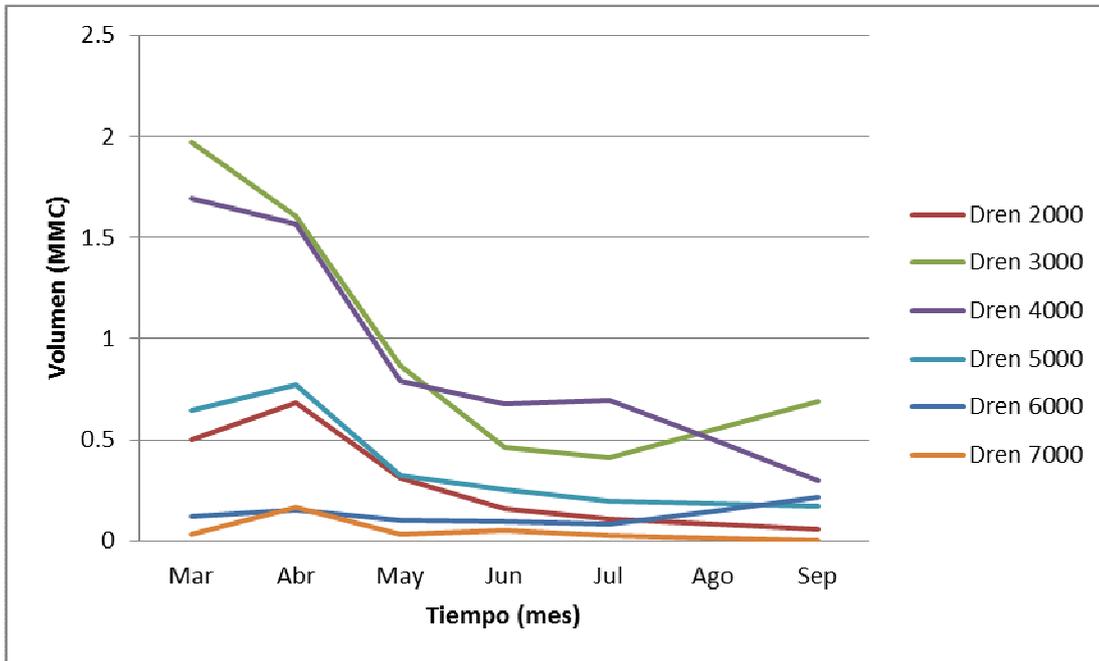
De los cuadros N.º 14 y 15, los resultados obtenidos son los siguientes:

- El caudal promedio mensual evacuado al mar, en el periodo de marzo a setiembre, ha sido de $2.883 \text{ m}^3/\text{s}$ que expresado en volumen corresponde a 53.326 MMC.
- El caudal promedio mensual máximo discurrido fue, en abril, de $6.516 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de 16.889 MMC.
- El caudal promedio mensual mínimo discurrido fue en setiembre, de $0.273 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de 0.707 MMC.
- El caudal, y por ende el volumen, disminuye en el periodo de abril a setiembre.

b. Sistema de drenaje Dren D-2000

- Este sistema evacúa un volumen de agua equivalente al 2.65% del total, siendo su comportamiento mensual el que se muestra en el Gráfico N.º 02.

Gráfico N.º 02: Variación mensual del volumen de agua discurrido hacia el mar. Drenes D-2000 a D-7000



De los cuadros N.º 14 y 15, los resultados obtenidos son los siguientes:

- El caudal promedio mensual evacuado al mar, en el periodo de marzo a septiembre, ha sido de $0.104 \text{ m}^3/\text{s}$ que corresponde a 1.907 MMC.
- El caudal máximo promedio mensual ocurrió en abril y fue de $0.265 \text{ m}^3/\text{s}$, y volumen de 0.686 MMC.
- El caudal mínimo promedio mensual discurrido fue en el mes de setiembre de $0.023 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de 0.059 MMC.

c. Sistema de drenaje Dren D-3000

Este sistema evacúa un volumen de agua equivalente al 9.14% del total, siendo su comportamiento tal como se muestra en el Gráfico N.º 02.

De los cuadros N.º 14 y 15, los resultados obtenidos son los siguientes:

- El caudal promedio mensual, en el periodo de marzo a setiembre, ha sido de $0.356 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a 6.563 MMC.
- El caudal máximo promedio mensual ocurrió en marzo y fue de $0.736 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de 1.971 MMC.
- El caudal mínimo promedio mensual ocurrió en julio y fue de $0.155 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de 0.414 MMC.

d. Sistema de drenaje Dren D-4000

Este sistema evacúa un volumen de agua equivalente al 8.67% del total, siendo su comportamiento tal como se muestra en el Gráfico N.º 02.

De los cuadros N.º 14 y 15, los resultados obtenidos son los siguientes:

- El caudal promedio mensual en el periodo de marzo a setiembre, ha sido de $0.337 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a 6.228 MMC.
- El caudal máximo promedio mensual fue en abril $0.632 \text{ m}^3/\text{s}$, para un volumen de 1.692 MMC.
- El caudal mínimo promedio mensual discurrido fue en setiembre ($0.116 \text{ m}^3/\text{s}$), volumen de 0.300 MMC.

e. Sistema de drenaje Dren D-5000

Este sistema evacúa un volumen de agua equivalente al 3.56% del total, siendo su comportamiento tal como se muestra en el Gráfico N.º 02.

De los cuadros N.º 14 y 15, los resultados obtenidos son los siguientes:

- El caudal promedio mensual, en el periodo de marzo a setiembre, ha sido de $0.139 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a 2.555 MMC.
- El caudal máximo promedio mensual fue en el mes de abril $0.299 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de 0.774 MMC.

- El caudal mínimo promedio mensual discurrido fue setiembre $0.066 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de 0.171 MMC.

f. Sistema de drenaje Dren D-6000

Este sistema evacúa un volumen de agua equivalente al 1.28% del total, siendo su comportamiento tal como se muestra en el Gráfico N.º 02.

De los cuadros N.º 14 y 15, los resultados obtenidos son los siguientes:

- El caudal promedio mensual, en el periodo de marzo a setiembre, ha sido de $0.050 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a 0.919 MMC.
- El caudal máximo promedio mensual fue en abril ($0.083 \text{ m}^3/\text{s}$), con un volumen de 0.214 MMC.
- El caudal mínimo promedio mensual fue en setiembre ($0.031 \text{ m}^3/\text{s}$), con un volumen de 0.083 MMC.

g. Sistema de drenaje Dren D-7000

Este sistema evacúa el menor volumen de agua durante la evaluación, equivalente al 0.45% del total, siendo su comportamiento tal como se muestra en el Gráfico N.º 02.

De los cuadros N.º 14 y 15, los resultados obtenidos son los siguientes:

- El caudal promedio mensual, en el periodo de marzo a setiembre, ha sido de $0.018 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a 0.325 MMC.
- El caudal máximo promedio mensual discurrido fue en abril $0.064 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de 0.166 MMC.
- El caudal mínimo promedio mensual discurrido fue en setiembre $0.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

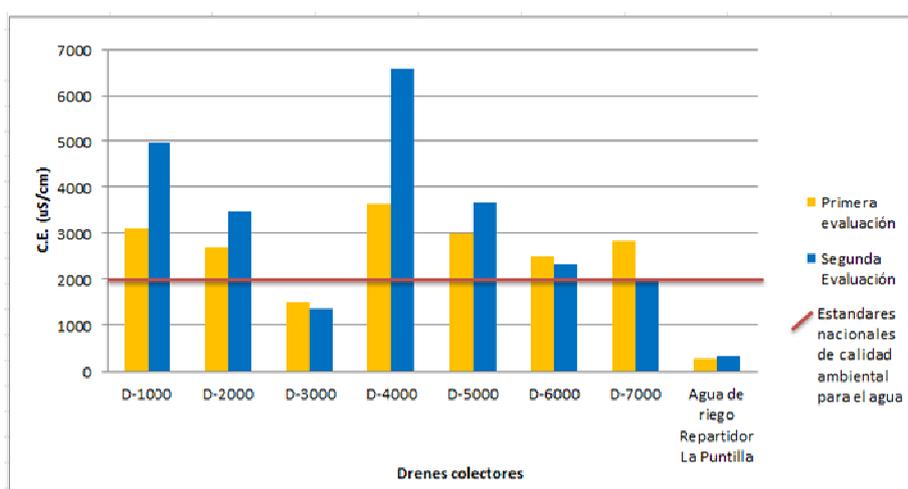
4.3 Calidad del agua de retorno

Los resultados de los análisis de agua de los drenes existentes en el valle Chancay Lambayeque y Repartidor La Puntilla, se presentan en los cuadros N° 17 y 18.

4.3.1 Parámetros que superan los estándares de calidad del agua

A continuación se presentan graficas de algunos de los parámetros que superaron los estándares de calidad del agua permisibles en las evaluaciones de calidad del agua de drenaje.

Gráfico N.º 03: Conductividad eléctrica



Cuadro N.º 17: Resultados de análisis de calidad del agua. Primera evaluación (Marzo 2010)

N° de orden	Dren colector	Referencia	Parametros																					
			Análisis Físico - Químico																	Microbiológicos				
			Color (UC)	pH (a 25°C)	C.E. (uS/cm)	Salinidad (0/00)	Solidos Totales (mg/L)	Dureza Total (CaCo3) (mg/L)	Dureza Calcio (Ca) (mg/L)	Dureza de Magnesio (Mg) (mg/L)	Sodio (Na) (mg/L)	Potasio (K) (mg/L)	Cloruros (Cl) (mg/L)	Cloruro de Sodio (NaCl) (mg/L)	Alcalinidad Fenotaleinica de carbonatos (CO3) (mg/L)	Alcalinidad Total (HCO3) (mg/L)	Sulfatos (SO4) (mg/L)	Nitratos (NO3) (mg/L)	Hierro (Fe) (mg/L)	Cobre (Cu) (mg/L)	Plomo (Pb) (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Termo tolerantes Fecales (NMP/100ml)
1	D-1000	Km. 29+250.5	12	7.51	3100	1.7	1642	570	320	250	604.9	66.47	290.69	472.29	49	329.2	206.5	2.1	0	0	0	0.6	4.5	<1.8
2	D-2000	Km. 9+760	15	7.32	2680	1.4	1418	510	290	220	561.2	117.3	269.42	444.2	28	268.2	203.83	2.7	0.2	0.01	0.02	2.7	4.7 x 10 ³	1.7 x 10 ²
3	D-3000	Km. 19+240	20	7.15	1508	0.8	815	350	320	30	381.8	215.05	148.89	245.49	5	326.29	121.17	34.2	0.6	0.02	0.01	4.8	2.7 x 10 ⁴	1.1 x 10 ³
4	D-4000	Km. 13+936	30	7.67	3640	2	1936	530	430	100	627.9	586.5	382.8	631.26	44	405.4	198.5	32	0.8	0.01	0.04	9.6	2.6 x 10 ⁴	1.7 x 10 ³
5	D-5000	Km. 4+020	25	7.44	3010	1.7	1657	490	270	220	462.3	27.37	276.5	455.91	47.04	337.3	206.5	6.4	0.4	0	0	18	2.4 x 10 ³	2 x 10 ³
6	D-6000	Km. 3+400	12	6.92	2490	1.4	1358	470	310	160	391	234.6	219.79	362.4	47.04	537.4	174.33	8.5	0	0	0	5.2	2.4 x 10 ³	
7	D-7000	Km. 3+575	20	7.24	2840	1.6	1532	620	290	330	416.3	31.28	226.8	374.1	30.02	470.4	185	5.8	0.1	0	0	9.07	2.2 x 10 ³	4.5 x 10 ²
8	Agua de riego Repartidor La Puntilla		6	7.59	265	0.7	134.8	220	160	60	25.3	23.46	8.51	17.53	2.5	115.1	27.17	1.1	0	0	0	1.21	4.5	<1.8
Estandares de calidad para el agua ⁽¹⁾				6.5 - 8.5	<2000		<1000		200	150	200		250		5	370	300	10	1	0.2	0.05	15	<5000	<1000/<2000

Elaboración propia

⁽¹⁾ Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM

Nota: los valores en color rojo son aquellos que superan los estandares ⁽¹⁾

Cuadro N.º 18: Resultados de análisis de calidad del agua. Segunda evaluación (Setiembre 2010)

N° de orden	Dren colector	Referencia	Parametros																					
			Análisis Físico - Químico																	Microbiológicos				
			Color (UC)	pH (a 25°C)	C.E. (mS/cm)	Salinidad (0/00)	Solidos Totales (g/l)	Dureza Total (CaCo3) (mg/L)	Dureza Calcio (Ca) (mg/L)	Dureza de Magnesio (Mg) (mg/L)	Sodio (Na) (mg/L)	Potasio (K) (mg/L)	Cloruros (Cl) (mg/L)	Cloruro de Sodio (NaCl) (mg/L)	Alcalinidad Fenotaleinica de carbonatos (CO3) (mg/L)	Alcalinidad Total (HCO3) (mg/L)	Sulfatos (SO4) (mg/L)	Nitratos (NO3) (mg/L)	Hierro (Fe) (mg/L)	Cobre (Cu) (mg/L)	Plomo (Pb) (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Termo tolerantes Fecales (NMP/100ml)
1	D-1000	Km. 29+250.5	10	7.84	4.98	3.2	3.13	1040	960	80	570.4	78.2	1063.5	1753.5	48.34	458.72	487.03	16.2	0	0	0	142.8	17*10 ⁴	21*10 ³
2	D-2000	Km. 9+760	18	7.25	3.47	2.7	2.04	1140	1100	40	437	156.4	638.1	1052.1	60.95	397.25	325.29	15	0.4	0.02	0	31.8	130*10 ⁴	12*10 ³
3	D-3000	Km. 19+240	15	7.74	1.37	0.9	869	1140	920	220	264.5	198.41	177.25	295.25	42.03	441.39	147.69	38.7	0.5	0.04	0.02	86.3	26*10 ⁴	6.8*10 ³
4	D-4000	Km. 13+936	35	7.82	6.6	4.2	4.05	980	920	60	634.8	1438.88	992.6	1636.6	147.13	821.83	508.73	41	0.9	0.06	0.04	493.5	17*10 ⁷	68*10 ⁴
5	D-5000	Km. 4+020	15	7.5	3.66	2.6	2.06	660	590	70	437	19.55	545.93	900.13	63.05	504.45	383.71	9.6	0.2	0	0.01	54.3	6.8*10 ³	4.5*10 ³
6	D-6000	Km. 3+400	20	7.46	2.33	1.4	1.416	560	856	160	372.6	269.79	283.6	467.6	96.68	638.97	179.19	12.3	0.2	0	0	142.5	6.8*10 ⁴	4*10 ⁴
7	D-7000	Km. 3+575	10	7.72	2.03	1.3	1.298	960	240	720	381.8	19.55	319.05	526.05	50.44	374.13	372.92	14.6	0.1	0.02	0	235.3	6.8*10 ⁵	4.5*10 ⁴
8	Agua de riego Repartidor La Puntilla		4	7.48	339	0.2	175.9	280	220	60	32.2	19.55	14.18	23.38	4.4	147.13	35.44	1.4	0	0	0	1.21	4.5	<1.8
Estandares de calidad para el agua ⁽¹⁾				6.5 - 8.5	<2000 (uS/cm)		<1000 (mg/L)		200	150	200		250		5	370	300	10	1	0.2	0.05	15	<5000	<1000/<2000

Elaboración propia

⁽¹⁾ Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM

Nota: los valores en color rojo son aquellos que superan los estandares ⁽¹⁾

Gráfico N.º 04: Solidos totales disueltos

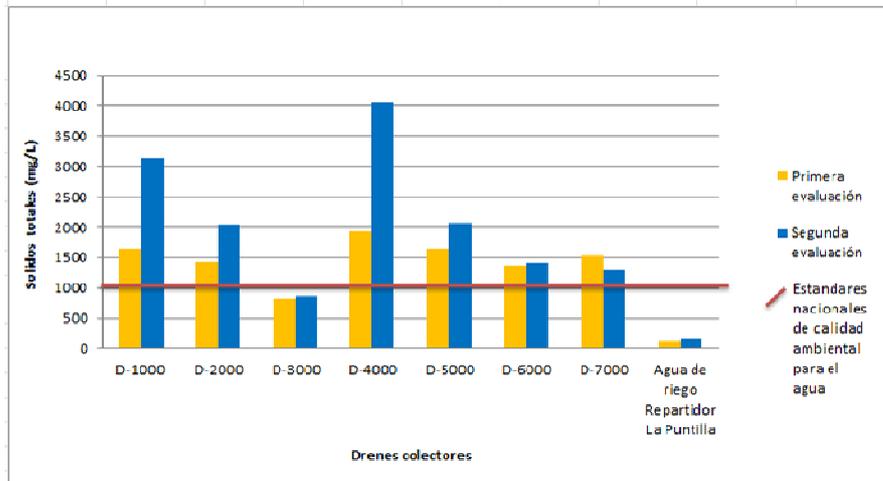


Gráfico N.º 05: Dureza de calcio

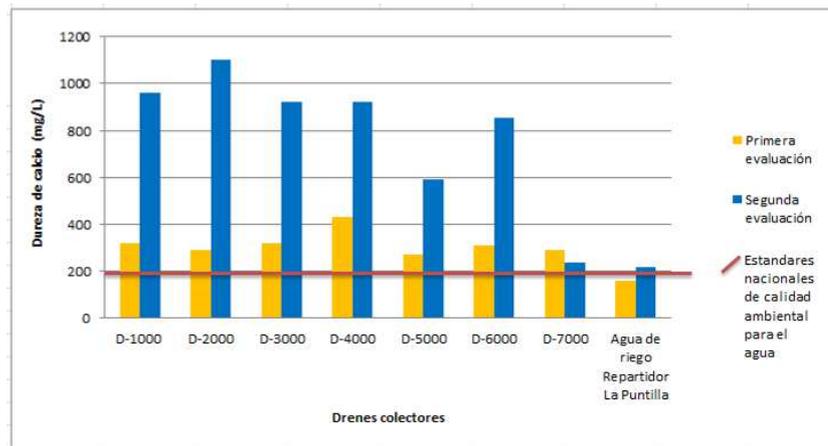


Gráfico N.º 06: Sodio

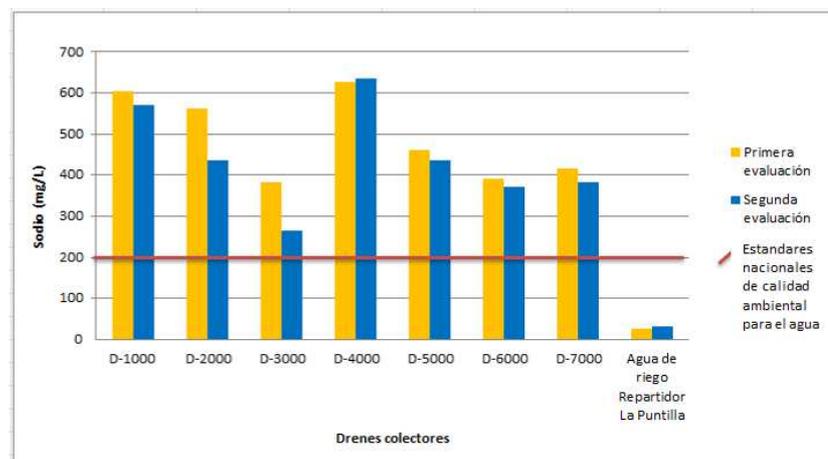


Gráfico N.º 07: Carbonatos

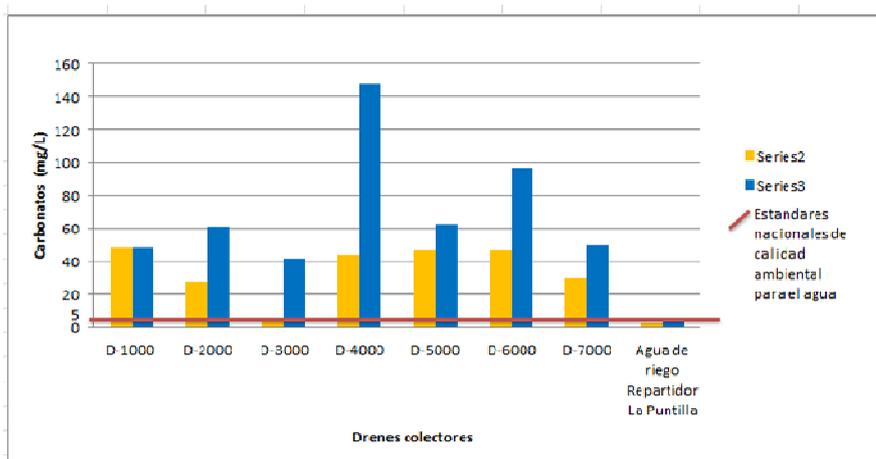


Gráfico N.º 08: Bicarbonatos

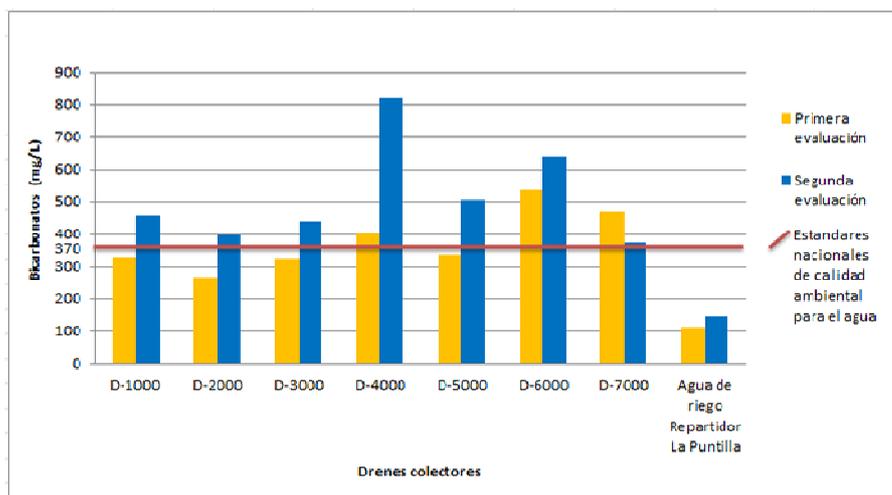


Gráfico N.º 09: DBO

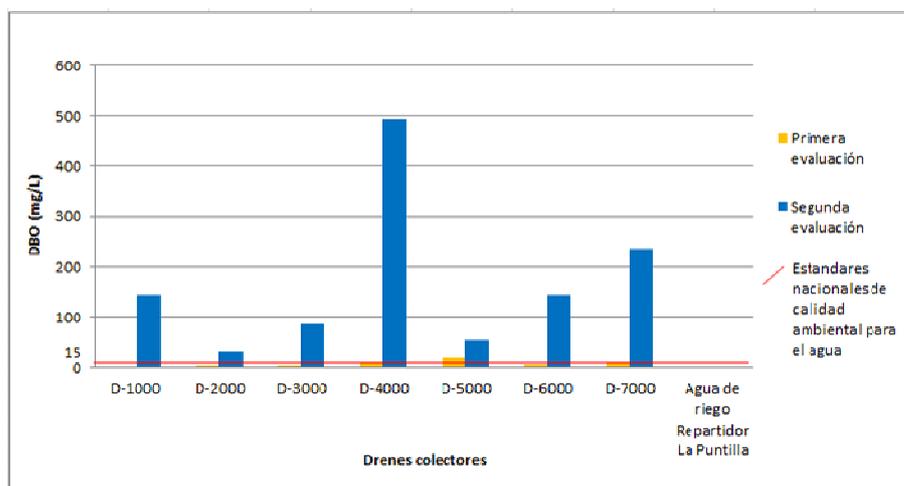


Gráfico N.º 10: Coliformes Totales

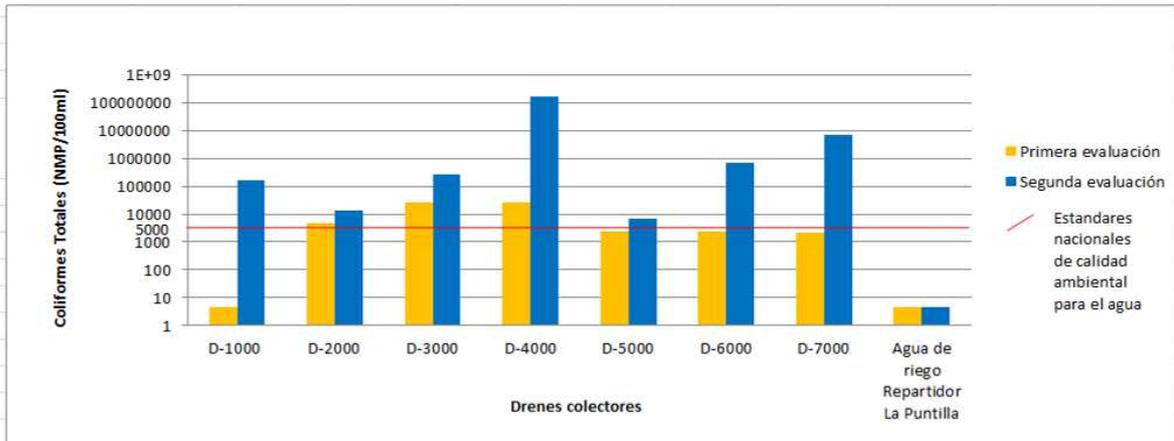
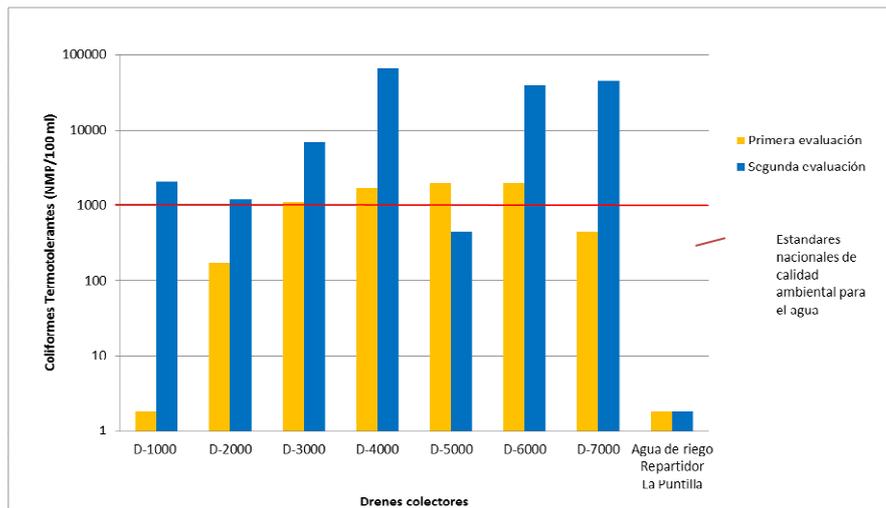


Gráfico N.º 11: Coliformes Termotolerantes



4.3.2 Primera evaluación de calidad del agua (marzo 2010)

En el Cuadro N.º 19 se presenta los grados de restricción de uso de agua para riego según su calidad frente a los potenciales problemas, y su clasificación según normas de Riverside, para la primera campaña de muestreo.

Cuadro N.º 19: Grado de restricción en el uso de agua para riego y clasificación, según su calidad

Sistema de drenaje	Grado de restricción en el uso de agua para riego								Clasificación según Riverside ⁽³⁾
	Problemas potenciales ⁽¹⁾								
	Salinidad		Infiltración	Toxicidad			Problemas varios		
	C.E. ⁽²⁾	SDT (mg/l)		Sodio	Cloruro	Elementos traza	Nitrogeno	pH	
Repartidor La Puntilla ⁽⁴⁾	N	N	L	N	N	N	N	N	C2S1
D-1000	M	S	N	M	M	N	N	N	C4S2
D-2000	M	M	N	M	M	N	N	N	C4S2
D-3000	L	L	N	L	L	N	S	N	C3S2
D-4000	S	M	N	M	M	N	S	N	C4S2
D-5000	M	M	N	L	M	N	L	N	C4S2
D-6000	M	M	N	L	L	N	L	N	C4S2
D-7000	M	M	N	L	L	N	L	N	C4S1

N: Ninguna. L: Ligera. M: Moderada. S: Severa

⁽¹⁾ Según Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego. Manual FAO N°29 Rev. 1 Riego y Drenaje, 1994 (1)

⁽²⁾ Conductividad Eléctrica

⁽³⁾ Clasificación del agua para riego según las normas Riverside

⁽⁴⁾ El Repartidor La Puntilla, constituye la principal estructura de repartición en el Sistema Mayor de Riego Tinajones.

Agua de repartidor La Puntilla

El agua tiene un RAS de 0.43 y una CE de 265 µS/cm, situándolo en el cuadro de Normas de Riverside en C2S1. Es agua de salinidad media, baja en sodio, que puede usarse para plantas no sensibles y con moderado lavado de suelos, generando una presión osmótica moderada en el suelo, es decir, habría una ligera afectación en la disponibilidad de agua para el cultivo.

Agua de drenes

El agua del dren D-3000 se encuentra clasificada, según el cuadro de normas de Riverside en C3S2, el agua del dren D-7000 en C4S1, mientras que el resto se ubica en C4S2. En cuanto a pH, sulfatos, hierro, cobre y plomo, la FAO (1994) no emite restricción alguna para su uso en riego.

El ECA de DBO solo es superado por el agua del dren D-5000 con 18 mg/l. El color del agua para los siete sistemas supera el valor de 12 UC.

Dren 1000 (km 29+295- desembocadura al mar)

El agua del dren D-1000 tiene un grado de restricción severo de uso para riego por el alto contenido de sales, y moderado por el contenido de sodio y cloruros. Además, supera los ECA de carbonatos, y dureza de magnesio y calcio.

El agua del dren D-1000 sólo puede usarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavados, sin embargo puede representar un peligro en condiciones de lavado deficientes. No es apta para el riego.

Dren 2000 (km 9+760- desembocadura al mar)

El agua del dren D-2000 tiene un severo grado de restricción para usarse en riego por la alta salinidad, por ello solo puede utilizarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavado. Tiene además, un grado moderado por el contenido de sodio y cloruros. También, supera los ECA de carbonatos, y dureza de magnesio y calcio. No es apta para el riego.

Dren 3000 (km 19+240- desembocadura al mar)

El agua del dren D-3000 no se recomienda si hay un mal drenaje del suelo, debido al ligero grado de restricción de uso para riego. Solo debe utilizarse en cultivos tolerantes, aun con un drenaje adecuado. Supera los ECA de dureza de calcio y nitritos, además en sodio, lo cual puede representar un peligro en condiciones de lavado deficientes.

Desde el punto de vista microbiológico, supera los valores permisibles de coliformes (totales y fecales), por ello no es apta para el riego

Dren 4000 (km 13+936- desembocadura al mar)

El agua del dren D-4000 tiene un grado de restricción severo de uso para riego por el alto contenido de sales y nitratos, y moderado por el contenido de cloruros y sodio. Además, supera los ECA en dureza de calcio, carbonatos y bicarbonatos.

El agua de este dren solo puede usarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavados. Se trata de agua media en sodio lo cual puede representar peligro en condiciones de lavado deficientes.

Desde el punto de vista microbiológico, supera los valores permisibles de coliformes (totales y fecales), por ello no es apta para el riego.

Dren 5000 (km 4+020- desembocadura al mar)

El agua tiene un RAS de 5.06 y CE de 3010 $\mu\text{S}/\text{cm}$, situándose en la clasificación de Normas de Riverside como C4S2. Es un agua de salinidad muy alta que solo puede usarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavados. Se trata de agua media en sodio lo cual puede representar peligro en condiciones de lavado deficientes.

Tiene un grado de restricción de uso moderado para riego por el contenido de cloruros, además, supera los valores permisibles de dureza de calcio y magnesio, carbonatos, y coliformes termotolerantes (fecales). No es apta para el riego.

Dren 6000 (km 3+400- desembocadura al rio Reque)

El agua del dren D-6000 tiene un grado de restricción moderado de uso para riego por el contenido de sales, y ligero por el contenido de sodio, nitratos y cloruros, a pesar de no superar los ECA. Por otro lado, excede los ECA de carbonatos, bicarbonatos, dureza de magnesio y calcio, y coliformes termotolerantes (fecales).

El agua solo puede usarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavados. Se trata de agua media en sodio lo cual puede representar peligro en condiciones de lavado deficientes. No es apta para el riego.

Dren 7000 (km. 3+575- desembocadura al rio Reque):

El agua del dren D-7000, con moderada restricción de uso para riego, solo puede usarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavados. Tiene bajo contenido de sodio. Por otro lado, si excede los ECA de carbonatos,

bicarbonatos, dureza de magnesio y calcio, y Coliformes Termotolerantes (Fecales). No es apta para el riego.

4.3.3 Segunda evaluación de calidad del agua (septiembre 2010)

En el Cuadro N.º 20 se presenta los grados de restricción de uso de agua para riego según su calidad frente a los potenciales problemas, y su clasificación según normas de Riverside, para la segunda campaña de muestreo.

Cuadro N.º 20: Grado de restricción en el uso de agua para riego y clasificación, según su calidad

Sistema de drenaje	Grado de restricción en el uso de agua para riego								Clasificación según Riverside ⁽³⁾	C.E. (µS/cm)	RAS
	Problemas potenciales ⁽¹⁾										
	Salinidad		Infiltración	Toxicidad			Problemas varios				
	C.E. ⁽²⁾	SDT (mg/l)		Sodio	Cloruro	Elementos traza	Nitrogeno	pH			
Repartidor La Puntilla ⁽⁵⁾	N	N	L	N	N	N	N	N	C2S1	339 µS/cm	0.5
D-1000	S	S	N	L	S	N	L	N	C5S2	4.98 mS/cm	4.75
D-2000	S	S	N	L	S	N	L	N	C4S2	3.47 mS/cm	3.52
D-3000	S	L	N	N	L	N	S	N	--	1371 mS/cm	2.03
D-4000	S	S	N	L	S	N	S	N	C6S3	6.60 mS/cm	5.47
D-5000	S	S	N	L	S	N	L	N	C4S2	3.66 mS/cm	4.53
D-6000	M	M	N	L	M	N	L	N	C4S1	2.33 mS/cm	3.07
D-7000	M	M	N	N	M	N	L	N	C3S1	2.03 mS/cm	2.78

N: Ninguna. L: Ligera. M: Moderada. S: Severa

⁽¹⁾ Según Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego. Manual FAO N°29 Rev. 1 Riego y Drenaje, 1994 (1)

⁽²⁾ Conductividad Eléctrica

⁽³⁾ Clasificación del agua para riego según las normas Riverside

⁽⁴⁾ El Repartidor La Puntilla, constituye la principal estructura de repartición en el Sistema Mayor de Riego Tinajones.

Agua de Repartidor La Puntilla

Desde el punto de vista de la salinización y sodificación, esta agua tiene un RAS de 0.5 y una CE de 339 µS/cm, situándolo en la clasificación de Normas de Riverside como C2S1. Es agua de salinidad media, baja en sodio, que puede usarse en plantas no sensibles y con moderado lavado de suelos.

Agua de drenes

Para esta etapa, y como era de esperarse, el agua de drenaje eleva su concentración, en comparación a la primera evaluación.

En cuanto a pH, y elementos traza como fierro, cobre y plomo, no hay restricción alguna para su uso en riego, debido a los bajos valores. Sin embargo, parámetros como conductividad eléctrica, dureza de calcio, sodio, carbonatos y bicarbonatos, DBO y coliformes totales, superaron los ECA.

Dren 1000 (km 29+295- desembocadura al mar)

El agua del dren D-1000 tiene un grado de restricción severo de uso para riego por el alto contenido de sales disueltas y cloruros, además de haber superado los ECA de dureza cálcica, sodio, carbonatos y bicarbonatos, sulfatos, nitratos, DBO y coliformes termotolerantes y totales.

Dada la excesiva salinidad, el agua del dren D-1000 puede representar un peligro en condiciones de lavado deficientes. No es recomendada para el riego.

Dren 2000 (km 9+760- desembocadura al mar)

El agua del dren D-2000 tiene un severo grado de restricción para ser usada en agricultura por el alto contenido de sales disueltas y cloruros, por ello solo puede utilizarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavados. Tiene una ligera restricción por el contenido de sodio.

Por otra parte, conductividad eléctrica, dureza de calcio, carbonatos y bicarbonatos, sulfatos, nitratos, DBO, coliformes termotolerantes y totales son superiores a los límites permitidos. No es apta para el riego.

Dren 3000 (km 19+240: desembocadura al mar)

El agua del dren D-3000 supera los rangos establecidos en el cuadro de normas de Riverside. Es un agua de salinidad excesiva, además, en cuanto al aspecto biológico, se encuentra por encima de los ECa (DBO, coliformes termo tolerantes y totales) por ello se le considera no apta para el riego.

Dren 4000 (km 13+936- desembocadura al mar)

El agua del D-4000 tiene un RAS de 5.47 y una CE de 6.6 mS/cm, situándose en la clasificación de Normas de Riverside como C6S3. Agua de salinidad excesiva que solo debe emplearse en casos muy contados, extremando las precauciones. Contenido alto de sodio.

En cuanto al aspecto biológico, se encuentra por encima de los ECA (DBO, coliformes termo tolerantes y totales), como también la dureza de calcio, sodio, cloruros, carbonatos y bicarbonatos, sulfatos, nitratos, DBO, por ello se le considera no apta para el riego.

Dren 5000 (km 4+020- desembocadura al mar)

El agua del dren D-5000 es de salinidad muy alta que solo puede usarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavados. Se trata de agua media en sodio lo cual puede representar un peligro en condiciones de lavado deficientes. Se encuentra por encima de los ECA en cuanto a parámetros microbiológicos (DBO y coliformes termotolerantes), entre otros, por ello se le considera no apta para el riego.

Dren 6000 (km 3+400- desembocadura al rio Reque)

El agua del dren D-6000 tiene un grado de restricción moderado de uso para riego por el contenido de sales, y ligero por el contenido de sodio, y nitratos. Por otro lado, excede los ECA de carbonatos, bicarbonatos, dureza de magnesio y calcio, sodio, nitratos, DBO, y parámetros microbiológicos como coliformes termotolerantes (fecales) y totales.

El agua solo puede usarse en cultivos muy tolerantes con suelos permeables y exceso de agua para efectuar lavados pues en condiciones de lavado deficiente puede representar un peligro. No es apta para el riego.

Dren 7000 (km 3+575- desembocadura al rio Reque)

Desde el punto de vista de la salinización y sodificación, esta agua tiene un RAS de 2.78 y una CE de 2.03 mS/cm, situándose en la clasificación de Normas de Riverside como C3S1. Es agua de salinidad alta. No se recomienda si hay mal drenaje del suelo (arcillosos). Solo debe utilizarse en cultivos tolerantes.

En cuanto al aspecto biológico, se encuentra por encima de los ECA (DBO, coliformes termotolerantes y totales), entre otros parámetros, por ello se le considera no apta para el riego.

En términos generales, la calidad del agua de riego proveniente del Repartidor La Puntilla, se mantiene constante a lo largo del año, clasificando, según las normas de Riverside, en C2S1: agua de salinidad media, y baja en sodio, útil para plantas no sensibles, mientras que el agua del sistema de drenaje varía de acuerdo al periodo de evaluación, y entre sistemas.

Por otro lado, el agua drenada durante la época de recarga es de salinidad muy alta (C4) y media en sodio (S2), con un moderado grado de toxicidad; mientras que durante la época de estiaje, el agua drenada varía de muy alta a excesivamente salina (C4-C5), la cantidad de sodio va de ninguna a ligera, con moderados y severos grados de toxicidad. Sin embargo, para ambos periodos, el agua no es apropiada para el riego bajo condiciones ordinarias por superar los estándares de calidad del agua permisibles de parámetros microbiológicos, entre otros.

4.4 Puntos de vertimiento de desechos poblacionales e industriales

Todo aquel dren que cruza cerca de un centro poblado se ve afectado por vertimientos contaminantes de tipo sólido o líquido.

Existen 10 puntos críticos a lo largo de los drenes 4000, 3000 y 3100, donde se verifica vertimientos principalmente procedentes del sistema de alcantarillado de Chiclayo y distritos de José Leonardo Ortiz, La Victoria, Santa Rosa y Pimentel, así como vertimientos de origen industrial procedentes, entre otros, de las destilerías de alcohol y plantas de procesamiento de pollos; también el vertimiento de las aguas residuales

domésticas de la población de Monsefú (hacia el dren 6100), el mismo que descarga hacia el dren 6000 y este a su vez al Río Reque, sin la correspondiente autorización. Estos vertimientos ocasionan la contaminación del agua de drenaje agrícola que circula por la mencionada infraestructura, afectando la fauna acuática local, las condiciones de vida de los asentamientos rurales aledaños y las aguas marinas ribereñas de los Balnearios de Pimentel y Santa Rosa.

Además, entre los drenes completamente obstruidos por desechos sólidos se puede destacar el D-3000, alrededor de la Asociación Urbanista Progresista “El Eden” (km 6+282), en José Leonardo Ortiz - Chiclayo.

En el Cuadro N.º 21 se presenta la información de los drenes afectados, así como la clase de vertimiento contaminante que sobre ellos se echa.

La calidad del agua del sistema de drenaje se ve seriamente afectada por el arrojado de residuos sólidos y el vertimiento de efluentes líquidos, provenientes de los desagües de las poblaciones aledañas.

4.5 Balance de agua y sales. Campaña 2009-2010

Agua de riego

El agua de riego es distribuida por la Junta de usuarios del distrito de riego Chancay-Lambayeque (JUDRCHL). Esta organización calcula el agua a entregar, a cada comisión de regantes, de acuerdo a la aprobación del área a sembrar en cada campaña.

En la campaña 2009-2010, el cultivo predominante fue el arroz (41,738 ha), seguido de la caña de azúcar (30,413 ha), y que en conjunto hacen un total de 72,151 ha, que representa el 83.68% de toda el área sembrada (86,226 ha).

Cuadro N.º 21: Drenes afectados por vertimientos poblacionales e industriales

Sistema de drenaje	Dren	Observaciones		
D-1000	D-1400	Vertimiento de residuos solidos de la ciudad de Lambayeque		
	D-1500-3	Vertimiento de aguas residuales por desagues del distrito de Mochumi		
	D-1600	Vertimiento de aguas residuales por desagues de la provincia de Ferreñafe Vertimiento de aguas residuales por desagues del distrito de Pueblo Nuevo		
D-2000	D-2000	Vertimientos a lo largo de su extension (casas, granjas, establos, molinos)		
	D-2210	Vertimiento residual. Granja de pollos.		
		Vertimiento poblacional AA.HH Los Angeles, Virgen de las Mercedes y Santa Rosa		
		Vertimiento de aguas residuales por desagues de la ciudad de Lambayeque Vertimiento de aguas residuales por desagues del distrito Nuevo Moche-Lambayeque		
D-3000	D-3000	Vertimiento de aguas servidas por desagues del balneario de Pimentel Vertimiento industrial: empresa Jorvex, hostal "El Bunker" Desechos solidos Asoc. Urbana Progresista "El Eden" (Chiclayo)		
		D-3100	Vertimiento de aguas servidas por desagues de la Victoria y parte de Chiclayo (EPSEL).	
		D-4000	D-4000	Descarga de aguas residuales por desagues del Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES). Descarga de aguas residuales por desagues de los minoristas del Centro de Procesamiento Artesanal de Pescado Seco Salado. Vertimiento de aguas residuales, sin tratar, por desagues de la ciudad de Santa Rosa. Vertimiento de aguas residuales, sin tratar, por desagues desde la granja de pollos. Vertimiento de aguas residuales por desagues de Las Poncianas (burdel). Vertimiento de residuos de agua de enfriamiento y productos de destilacion por la empresa alcoholera Naylamp. Vertimiento de aguas residuales sin tratar por desagues del Sector La Victoria.
D-4000-FAP	Vertimiento de residuos poblacional de la base de la FAP-Chiclayo y de Chiclayo			
D-5000	D-5000			Vertimiento de aguas residuales sin tratar, del distrito de Monsefú
D-6000	D-6100			Vertimiento de aguas residuales sin tratar, del distrito de Monsefú

Elaboración propia.

En el Cuadro N.º 22 se presentan las áreas sembradas en las campañas de 1974-1976 y 2008-2011.

**Cuadro N.º 22: Área total sembrada por cultivo en los diferentes periodos, en el valle
Chancay-Lambayeque**

Campaña	Caña de azúcar (ha)	Arroz (ha)	Algodón (ha)	Menestras (ha)	Maiz (ha)	Otros (ha)	Total (ha)
1974-75	27,785.00	28,178.00	5,402.00	6,531.00	6,512.00	8,594.00	83,002.00
1975-76	29,690.00	34,822.00	1,530.00	6,200.00	6,498.00	6,792.00	85,532.00
2008-09	30,976.01	41,957.20	4,794.29	5,424.41	6,190.97	5,972.71	95,315.59
2009-10	30,413.13	41,737.65	1,796.19	1,618.11	4,595.53	6,065.08	86,225.69
2010-11	30,661.48	31,652.35	5,640.56	178.95	4,338.44	4,934.06	77,405.84
Promedio total (ha)	29,905.12	35,669.44	3,832.61	3,990.49	5,626.99	6,471.57	85,496.22

Fuente: JUDRCHL (2011)

Para la campaña 2009-2010, la JUDRCHL entregó agua a las diferentes Comisiones de Regantes, tal como se detalla en el Cuadro N.º 23.

**Cuadro N.º 23: Volúmenes de agua (MMC) recibida por las comisiones de regantes
del DRCHL. Campaña 2009-2010**

COMISIONES Y TOMAS	2010							Total
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	
Mochumi	9.896	7.179	0.726	0.255	4.914	0.178	0.000	23.148
Morrope	7.158	11.983	10.230	6.502	0.000	0.000	0.000	35.873
Muy Finca	21.621	15.534	4.257	0.800	0.512	0.105	0.000	42.830
Chiclayo	14.920	9.105	1.929	1.146	1.499	1.408	1.272	31.279
Lambayeque	17.058	10.484	2.426	1.041	1.071	2.096	0.000	34.177
Monsefu	6.556	5.757	3.097	3.740	1.439	2.477	2.997	26.064
Capote	7.881	5.783	1.194	0.668	0.536	0.673	0.000	16.735
Ferreñafe	34.070	26.710	9.234	2.388	2.696	1.709	0.853	77.659
Pitipo	9.195	6.214	1.774	0.423	0.724	0.402	0.266	18.996
E.A.Tuman	6.140	12.114	11.139	6.965	5.147	3.596	2.534	47.636
Total mensual	134.496	110.863	46.007	23.928	18.538	12.644	7.922	354.398

Fuente: COPEMA. Area de Operaciones - Hidrología. Campaña 2009-2010.

Balance de agua

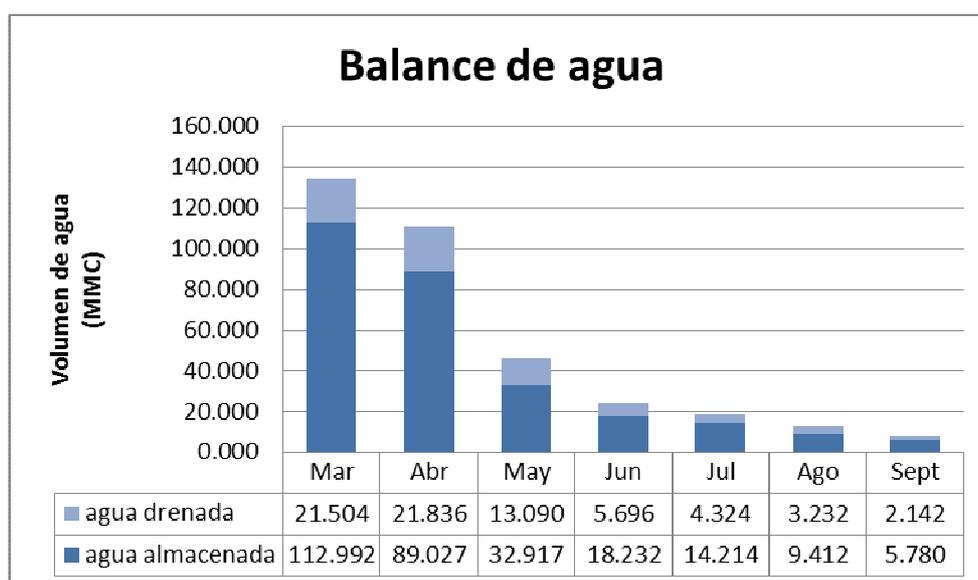
Relacionando los volúmenes de agua de riego a las comisiones de regantes, con los volúmenes de agua de los drenes colectores del sistema, y haciendo uso de la ecuación general de balance hídrico (3.3), se obtiene una variación positiva de 282.574 MMC/año u 8.95 m³/s, la misma que se detalla en el Cuadro N.º 24.

Cuadro N.º 24: Balance de agua. Campaña 2009-2010

Fuente de agua	2010							TOTAL (MMC)
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	
Agua entregada por la JUDRCHL (MMC)	134.496	110.863	46.007	23.928	18.538	12.644	7.922	354.398
Agua drenada (MMC)	21.504	21.836	13.090	5.696	4.324	3.232	2.142	71.824
Agua almacenada (MMC)	112.992	89.027	32.917	18.232	14.214	9.412	5.780	282.574

Elaboración propia

Gráfico N.º 12: Balance de agua. Campaña 2009-2010



Fuente: Elaboración propia

Balance de sales

Relacionando los caudales de cada dren colector del sistema, el día de toma de muestra para el análisis de calidad del agua, con la cantidad de las sales obtenidas del resultado de dicho análisis de calidad (CE), y haciendo uso de la ecuación general de balance de sales (3.4), se obtiene una variación negativa en ambos periodos (recarga y estiaje), ver cuadro N.º 25.

Cuadro N.º 25: Balance de sales. Campaña 2009-2010

Clase de agua	Ubic. Puntos de control	Epoca de recarga				Epoca de estiaje				
		Caudal (m³/s)	C.E. (µS/cm)	Concentracion de sales ⁽¹⁾ (Kg/m³)	S ⁽²⁾ (kg/s)	Caudal (m³/s)	C.E. (µS/cm)	Concentracion de sales ⁽¹⁾ (Kg/m³)	S ⁽²⁾ (kg/s)	
Agua de riego	Partidor La Puntilla	61.63 ⁽³⁾	265	414,062.50	25,518,671.88	13.35 ⁽³⁾	339	529,687.50	7,071,328.13	
Agua de drenaje	Dren 1000	Km. 29+250.5	6.433	3,100	4,843,750.00	31,159,843.75	0.273	4,980	7,781,250.00	2,124,281.25
	Dren 2000	Km. 9+760	0.38	2,680	4,187,500.00	1,591,250.00	0.023	3,470	5,421,875.00	124,703.13
	Dren 3000	Km. 19+240	0.736	1,508	2,356,250.00	1,734,200.00	0.267	1,371,000	2,142,187,500.00	571,964,062.50
	Dren 4000	Km. 13+936	0.593	3,640	5,687,500.00	3,372,687.50	0.116	6,600	10,312,500.00	1,196,250.00
	Dren 5000	Km. 4+020	0.13	3,010	4,703,125.00	611,406.25	0.066	3,660	5,718,750.00	377,437.50
	Dren 6000	Km. 3+400	0.036	2,490	3,890,625.00	140,062.50	0.083	2,330	3,640,625.00	302,171.88
	Dren 7000	Km. 3+575	0.013	2,840	4,437,500.00	57,687.50	0	2,030	3,171,875.00	0.00

ΔS (kg/s)	-13,148,465.63
ΔS (Ton/s)	-13,148.47

ΔS (kg/s)	-569,017,578.13
ΔS (Ton/s)	-569,017.58

⁽¹⁾ Kg/m³ = 1,562.5 µS/cm

⁽²⁾ Flujo de sales

⁽³⁾ Fuente: COPEMA. Area de Operaciones - Hidrología. Campaña 2009-2010.

4.5.1 Balance de agua y sales, antes y después de la construcción del sistema de drenaje D-1000

Se ha tomado los datos de caudales y salinidad del aguas de drenaje obtenidos durante los estudios de: Investigación en el Sistema de Drenaje D-1000 (1974 – 75, SIG), Evaluación del Primer Sistema de Drenaje (1975-76, Dirección Ejecutiva del Proyecto Tinajones- DEPTI), y Balance de Agua y Sales (1980 – 81, 1981 – 82, Grupo Asesor Alemán); que fueron efectuados antes y después de la construcción del nuevo sistema y que permiten aproximar un balance de agua y sales.

a. Balance de agua y sales antes de la construcción: campaña agrícola 1974-75 y 1975 - 76.

En mayo de 1974 SIG inicio la Evaluación del Primer Sistema de Drenaje que concluyo en junio de 1975. La Dirección Ejecutiva del Proyecto Tinajones- DEPTI continúo con dicha evaluación desde octubre de 1975 hasta setiembre de 1976.

La finalidad de estas evaluaciones no fue efectuar el balance de agua y sales sino encontrar algunos parámetros para ser utilizados en la remodelación del Colector Principal D-1000, aguas abajo de su cruce con la carretera Panamericana.

En el Cuadro N.º 26 se presenta el balance de agua y sales para el sistema D-1000 durante las campañas 1974-75 y 1975-76.

Cuadro N.º 26: Balance de agua y sales. Campañas 1974/75 y 1975/76

	Campaña de riego	
	1974/75	1975/76
Agua de riego (MMC)	318.2	267.3
Masa de sales (Ton)	47,730	46,115
Agua de drenaje (MMC)	45	48.8
Masa de sales (Ton)	57,525	70,668
Almacenamiento (MMC)	273.2	218.5
Masa de sales (Ton)	-9,795	-24,553

Elaboración propia

b. Balance de agua y sales después de la construcción: campaña agrícola 1980-81 y 1981-82

Después de construido el sistema de Drenaje D-1000, entre el periodo de diciembre de 1977 a enero de 1981, con la finalidad de evaluar su incidencia en la desalinización de los terrenos de cultivo, el Grupo Asesor Alemán efectuó el balance de agua y sales durante las campañas 1980-81 y 1981-82, llevando a cabo la ejecución de un programa de mediciones de descargas del agua de drenaje.

En el Cuadro N.º 27, se presenta el balance de agua y sales para el sistema D-1000 durante las campañas 1980-81 y 1981-82.

Cuadro N.º 27: Balance de agua y sales. Campañas 1980/81 y 1981/82

	Campaña de riego	
	1980/81	1981/82
Agua de riego (MMC)	207.20	187.50
Masa de sales (Ton)	26,517	29.44
Agua de drenaje (MMC)	40.0	20.3
Masa de sales (Ton)	138,871	100.36
Almacenamiento (MMC)	167.2	167.2
Masa de sales (Ton)	-112,354	-70.91

Conociendo la incidencia positiva del sistema de drenaje D-1000 en la desalinización de los terrenos de cultivo, la DEPTI continuó con el programa de

mediciones para elaborar el “Balance de Agua y Sales para la Campaña Agrícola 1982-83”.

Debido a las inundaciones originadas por el río La Leche durante abril y mayo de 1983, el sistema de drenaje D-1000 fue seriamente afectado y las estaciones de aforo prácticamente destruidas, de modo que resultó imposible, continuar con los trabajos planificados.

V. CONCLUSIONES

- En época de recarga, el agua del colector principal D-1000, del sistema de drenaje, cuenta con suficiente agua y calidad microbiológica permisible, en condiciones naturales, para ser reutilizada en la agricultura; tomando en cuenta una buena elección de cultivo y el método multi barrera que ofrece la OMS.
- Para ambas épocas de evaluación, el agua de los drenes colectores principales del sistema de drenaje, exceptuando el D-1000 en época de recarga, no son adecuados para ser reutilizados en la agricultura por superar los estándares de calidad del agua y/o no contar con la cantidad de agua que justifique el costo de inversión para implementar algún tratamiento.
- La cantidad de agua de drenaje evacuada al mar varía significativamente entre las épocas de recarga y estiaje, con 21.836 y 2.142 MMC.
- El volumen total de agua vertida al mar por el sistema de drenaje del valle Chancay Lambayeque, durante el periodo comprendido entre marzo y setiembre, fue de 71.824 MMC.
- El sistema D-1000 es el más extenso de todo el valle, con 463.52 km de longitud, por ello es que evacúa el mayor volumen de agua al mar (53.327 MMC), representando el 74.25% del total.
- Existen puntos de aporte de residuos sólidos de origen vegetal y vertimientos de aguas residuales crudas, sin la correspondiente autorización de vertimientos, de organizaciones públicas y privadas como son: EPSEL. S.A., Municipalidad Distrital de Monsefú, Municipalidad Distrital de Pueblo Nuevo, Municipalidad Distrital de Pimentel, Municipalidad Distrital de Santa Rosa, Empresa Mayorista de Comercialización de Productos Hidrobiológicos (ECOMPHISA), Fondo Nacional

de Desarrollo Pesquero (FONDEPES), Comerciantes Minoristas del Centro de Procesamiento Artesanal de Pescado Seco Salado, Empresa Alcohólica Grupo Bari, Empresa Alcohólica Naylamp, prostíbulo, camal de pollos, camal de cerdos y la población del distrito de la Victoria, sector Villa Los Leones.

- Ningún distrito ni comuna, dentro del área de investigación, cuenta con autorización de reuso de aguas residuales tratadas en cultivos de tallo largo o raíz profunda, por lo cual se considera una falta grave contra la salud de las personas, el consumo de vegetales de tallo corto o largo, regados con aguas de drenaje totalmente contaminadas.
- La cantidad de agua almacenada durante la campaña 2009-2010 es alta, representando un 79.73% del total de agua entregada para riego; este volumen incrementa el aporte hídrico dando lugar a que el agua se infiltre a través del suelo y arrastre los nutrientes perjudicando el desarrollo vegetativo de los cultivos, y recargando el acuífero, generándose problemas de drenaje y salinidad.
- El balance de agua resulta positivo debido a que el agua que discurre por los drenes es menor que la entregada al valle para riego, y esto se debe a que el sistema de drenaje existente es insuficiente porque solamente se limita a conducir aguas de precipitación, aguas de exceso de riego superficial y poca agua de percolación porque los drenes de campo o a nivel de parcela, que controlan el nivel freático, aún no se han construido.
- El balance de sales arroja resultados negativos, ello indica que salen más sales de las que ingresan al sistema. Estas son 1.51 y 81.47 veces mayores que las sales que ingresan en los periodos de recarga y estiaje, respectivamente.
- El exagerado valor de sales del agua de drenaje en la época de estiaje, se debe al concentrado aporte de sales que ofrece el sistema D-3000, y este a su vez por el aporte del dren D-3100, que durante de su recorrido recibe vertimientos de aguas servidas por el desagüe del distrito de la Victoria (Chiclayo), y de la misma ciudad (EPSEL).

- Los balances de agua y sales para 1974-75 y 1975-76 tuvieron la finalidad de evaluar la incidencia del reciente sistema de drenaje (D-1000) en el valle, y si bien, muestran que ha existido un equilibrio entre la masa de sales que ingresaban y egresaban, ello no indicaba que el drenaje fuese suficiente por cuanto solamente el Sector Ferreñafe presentaba más de la cuarta parte de su área con agudos problemas de salinidad y mal drenaje.

VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario establecer puntos de control permanentes: estaciones de aforo y de monitoreo de calidad de agua, para comparar el balance de agua y sales, con el fin de mejorar las condiciones del sistema de drenaje y reutilización del agua que por el discurre.
- Para la evaluación de la calidad del agua de drenaje, así como para cualquier otro análisis, se debe contar con al menos tres muestras para un mismo tiempo y espacio, con la idea de que este muestreo resulte significativo, y reduzca el margen de error.
- Con respecto a los vertimientos poblacionales se recomienda:
 - Iniciar el procedimiento sancionador a EPSEL S.A. por realizar vertimientos de aguas residuales sin tratar (crudas) al dren 3100, reincidentemente, del colector Sur que proviene de la población parte de Chiclayo y La Victoria.
 - Iniciar los procedimientos sancionadores de acuerdo a la normatividad vigente a las Municipalidades distritales de Pueblo Nuevo, Monsefú y Pimentel, así como a las Empresa Mayorista de Comercialización de Productos Hidrobiológicos (ECOMPHISA), Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES), Comerciantes Minoristas del Centro de Procesamiento Artesanal de Pescado Seco Salado, Empresa Alcohólica Grupo Bari, Empresa Alcohólica Naylamp, prostíbulo, camal de pollos, camal de cerdos y la población del distrito de la Victoria sector Villa Los Leones, por la contaminación del sistema de drenaje, en los puntos correspondientes.
 - Convocar a una reunión conjunta entre representantes de DESA, Defensoría del Pueblo de Lambayeque, Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental de Lambayeque, Junta de Usuarios Chancay Lambayeque, Comisión de Regantes de Chiclayo, Gerencia Regional de Agricultura de

Lambayeque, EPSEL S.A., Municipalidades Distritales de Santa Rosa, Pimentel, Monsefú, Pueblo Nuevo y a la Segunda Fiscalía de Prevención del Delito de Chiclayo, con la finalidad de buscar la solución frente a la contaminación ambiental por vertimientos de aguas residuales sin autorización correspondiente.

- Para que el agua del sistema de drenaje del valle Chancay Lambayeque puede reusarse con fines agrícolas, el primer requerimiento es la eliminación de vertimientos de aguas residuales poblacionales (principal contaminante); solo a partir de ello se puede pensar en un tratamiento de agua. Para este caso, y tomando también en cuenta el método de multi barrera que ofrece la Organización Mundial de la Salud, se debe usar hasta un tratamiento secundario. Un tanque de aireación y un posterior sedimentador secundario son ideales, porque tratan la materia orgánica pero permiten que el agua aun mantenga nutrientes de valor para los agricultores, como el nitrógeno y fosforo importantes para la fertilización.
- Otra alternativa para lograr un mayor beneficio es utilizar el agua de drenaje, que contiene gran cantidad de materia orgánica, para el tratamiento de suelos y la incorporación de estos a la agricultura con la producción de plantas de consumo industrial como el algodón, que es altamente resistente a la salinidad (hasta 2,250 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Realizar este tipo de investigación en otros valles de la costa, por la gran cantidad de agua que se vierte al mar.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CENTRO DE DRENAJE Y RECUPERACION DE TIERRAS (CENDRET). Estudio para la Rehabilitación de 15,000 has del Sector de Riego Taymi – (no publicado). 1972. 70 p.
2. CENTRO DE DRENAJE Y RECUPERACION DE TIERRAS (CENDRET). ALVA, C.A.; ALPHEN, J.G.; TORRE A. DE LA; y MANRIQUE, L. Problemas de drenaje y salinidad en la costa peruana. Países Bajos. 1976. 45 p.
3. CHEREQUE MORAN, Wendor. Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. 223 p.
4. DIRECCION EJECUTIVA DEL PROYECTO OLMOS TINAJONES (DEPOLTI)-INADE. Diagnóstico de Gestión de la Oferta de agua. Cuenca Chancay-Lambayeque. Versión 04. Lambayeque, Perú. 2001.
5. DIRECCION EJECUTIVA DEL PROYECTO TINAJONES (DEPTI). Evaluación del Primer Sistema de Drenaje. (no publicado). Lambayeque, Perú. 1976
6. DIRECCION EJECUTIVA DEL PROYECTO TINAJONES (DEPTI). Evaluación del Sistema de Drenaje del Sector Ferreñafe 1981 – 1982. Lambayeque, Perú. 1982.
7. DIRECCION GENERAL DE SALUD (DIGESA). Dirección de Ecología y Protección del Ambiente. Área de Protección de los Recursos Hídricos. Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima. 2007
8. ESTRELA, T. Metodología y Recomendaciones para la Evaluación de Recursos Hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos - Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete de Formación y Documentación, Madrid, España. 1992. 52 p.

9. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION-FAO. Estudio FAO: Riego y Drenaje N° 24. Las Necesidades de Agua de los Cultivos, Roma, 1976. 194 pág.
10. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION-FAO. AYERS, R.S. y WESTCOT, D.W. Water of Agriculture. Irrigation and drainage paper 29 Rev. 1, Roma. 1994.
11. GOICOCHEA R., Javier A. Ingeniería de drenaje. Primera Edición. Perú. 2012. 190 p.
12. GUSTODIO, Emilio y RAMOS LLAMAS, Manuel. Hidrología subterránea. Tomos I y II. Ed. Omega. Barcelona. 1976
13. IDRC – OPS/HEP/CEPIS 2000 – 2002. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial Convenio. Estudio complementario del caso Mendoza, Argentina.
14. ILACO. Cooperación Técnica Peruano–Holandesa. Manual de Diseño – Drenaje de Campo. 1985
15. ISRAELSEN, ORSON, W. y HANSEN, Vaughn. Principios y aplicaciones del riego. Editorial Reverté S.A., Barcelona, España. 1981. 396 p.
16. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Capítulo V: Balance hídrico. Estudio Evaluaciones Ambientales Complementarias del Proyecto Agro energético Central Hidroeléctrica Pucará. Perú. 2010.
17. MOSCOSO, Julio y ALFARO, Tomas. Programa de experiencias de tratamiento y usos de aguas residuales en Lima Metropolitana y Callao. Primera edición. Lima, Perú. 2009.
18. NIEMYER, R. Evaluación de las mediciones para un balance de agua y sales en el sistema de drenaje D-1000, del Distrito de Riego Chancay Lambayeque. Lambayeque, Perú. 1982.
19. NIEMYER, R. Balance de Agua y Sales 1982. Lambayeque, Perú. 1982.
20. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). AKIN, E.; AL-SALEM, S.; CAIRNCROSS, A. y otros. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas

- residuales en agricultura y acuicultura. Serie de Informes Técnicos 778. Ginebra, 1989. 90 p.
21. PROSAP & MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA DE ARGENTINA. Estudio del potencial del uso alternativo de fuentes de agua: las aguas residuales.
- http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/estudio/aguasresiduales/REUSO_SEGURO_DE_AGUAS_RESIDUALES_EN_ARGENTINA.pdf
22. SALZGITTER CONSULT GMBH. Investigación en el Sistema de Drenaje D-1000. 1975.
23. SALZGITTER CONSULT GMBH. Estudio de Evaluación Proyecto Tinajones. 1981.
24. SALZGITTER CONSULT GMBH. Proyecto de Tinajones. Estudio de riego y drenaje en el valle Chancay-Lambayeque. Tomo I. 1982
25. SARTOR, A., CIFUENTES, O. Propuesta de Ley Nacional para Reuso de Aguas Residuales. 18° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, Abril 2012. Editorial Universidad Tecnológica Nacional. GEIA - Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental,– U.T.N. Argentina
26. UNIVERSITARIA DE LA PLATA, 2011. La cuestión del agua: consideraciones sobre el estado de situación de los recursos hídricos de la Argentina. - 1a ed. - La Plata. 128 p.
27. VAZQUEZ V., Absalón y CHANG – NAVARRO, L. El riego. UNALM. Lima. 1988. 163 p.
28. VISO RODRIGUEZ, Alejandro, ESAMUR- Consejería de Agricultura y Agua, Región Murcia, Centro Tecnológico de la Energía y del Medio Ambiente, Centro Tecnológico Nacional de la Conseva y Alimentación. Reutilización de aguas residuales para riego. Tendencias tecnológicas. Capítulo 4.3., España, 2005.

VIII. ANEXOS

ANEXO N.º 01: FOTOS

Aforo de drenes



Foto N.º 01: Aforo de drenes desde el interior del canal de drenaje



Foto N.º 02: Aforo de drenes desde el exterior del canal de drenaje

Mantenimiento del sistema de drenaje



Foto N.º 03: Quema de vegetación al interior del dren.



Foto N.º 04: Desbroce manual y mecánico de totora en los drenes.



Foto N.º 05: Mejoramiento de taludes después de derrumbe

Muestreo de agua



Foto N.º 06: Recolección de muestras de agua de drenes

Colmatación de sección hidráulica de drenes



Foto N.º 07: Colmatación parcial de la sección hidráulica del dren D-1400.



Foto N.º 08: Colmatación total de la sección hidráulica del dren D-2210 (km 0+000)

Vistas panorámicas de los puntos de vertimiento

• **Sistema D-1000**



Foto N.º 09: Vertimiento poblacional de la provincia de Ferreñafe. D-1000 Km 7+860

- **Sistema D-2000**



Foto N.º 10: Vertimiento de aguas residuales de la ciudad de Lambayeque, D-2210 km 2+064



Foto N.º 11: Vertimiento de aguas residuales de la ciudad de Lambayeque, D-2210 km 2+064

- **Sistema D-3000**



Foto N.º 12: Se observa la rotura del sistema de alcantarillado de EPSEL S.A. que proviene del distrito de la Victoria y parte de Chiclayo hacia el dren D-3100. Km 9+350



Foto N.º 13: Se observa el vertimiento de aguas residuales de la población de Pimentel al dren D-3000

- **Sistema D-4000**



Foto N.º 14: Se observa el vertimiento de la destilería Naylamp en el dren D-4,000



Foto N.º 15: Se observa el vertimiento de ECOMPHISA en el dren D-4,000



Foto N.º 16: Se observa el vertimiento de los comerciantes minoristas del Centro de Procesamiento Artesanal de Pescado Seco Salado en el dren D-4,000



Foto N.º 17: Se observa el vertimiento de la población de Santa Rosa en el dren D-4000



Foto N.º 18: Evidente contaminación de las aguas de drenaje en el dren D-4000

- **Sistema D-6000**



Foto N.º 19: Se observa el vertimiento de agua de desagüe y residuos sólidos poblacionales del distrito de Monsefú al D-6100 km 1+240

Vistas de diferentes problemas



Foto N.º 20: Se observa el arenamiento de la sección hidráulica del dren D-2000 hacia el final del mismo.



Foto N.º 21: Se observa la construcción de obstáculos por parte de los agricultores.



Foto N.º 22: Se observa el desgaste de la parte superior del conducto cerrado del D-2000.



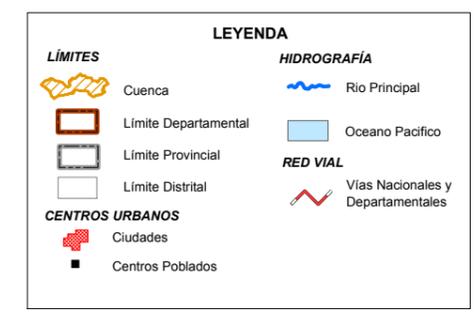
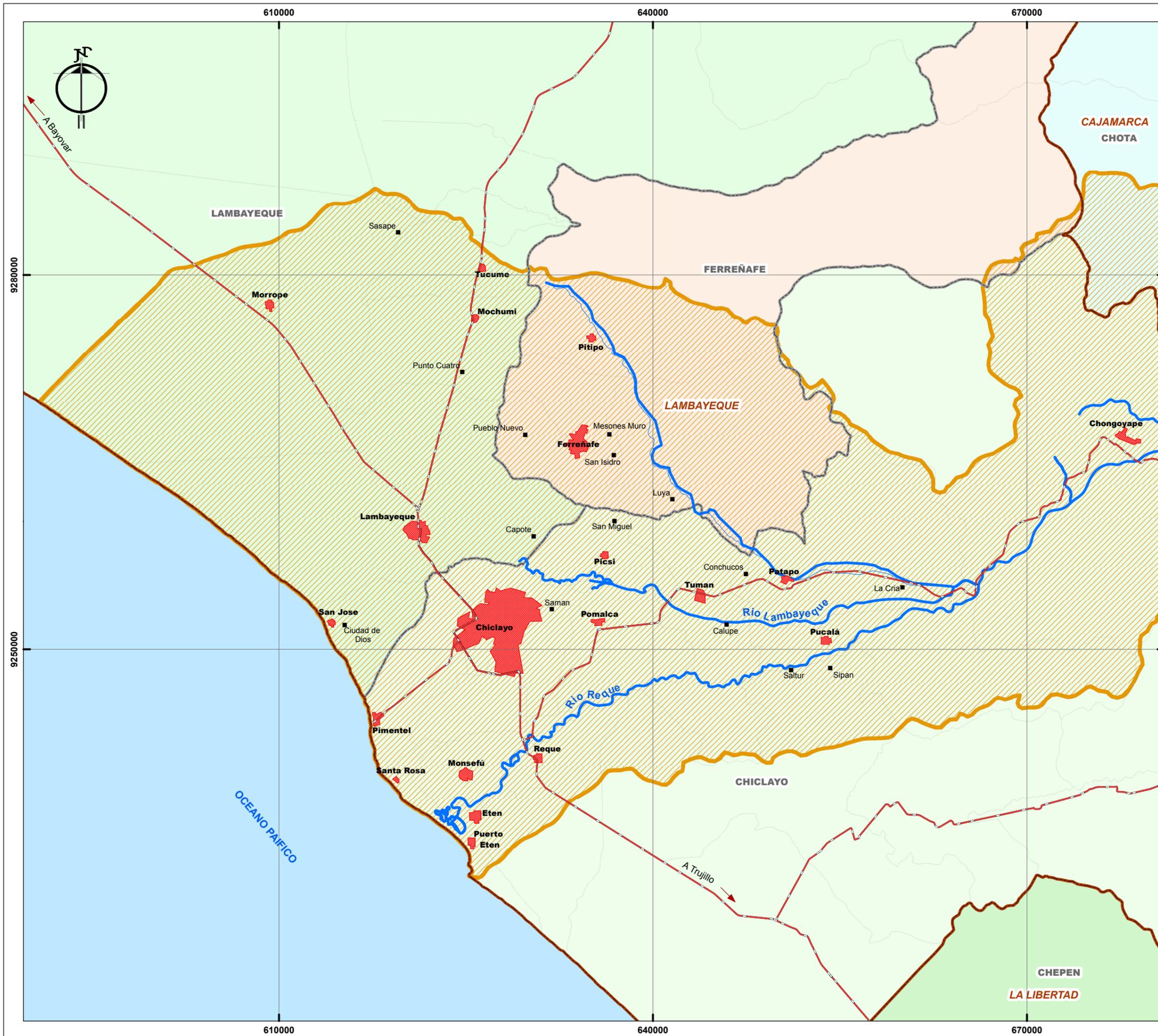
Foto N.º 23: Se observa pequeñas lagunas, producto de no construir los drenes hasta su entrega al mar.

Vistas de instalación de vertederos



Foto N.º 24: Vertedero metálico sobre la sección del dren D-5000.

ANEXO N.º 02: PLANOS

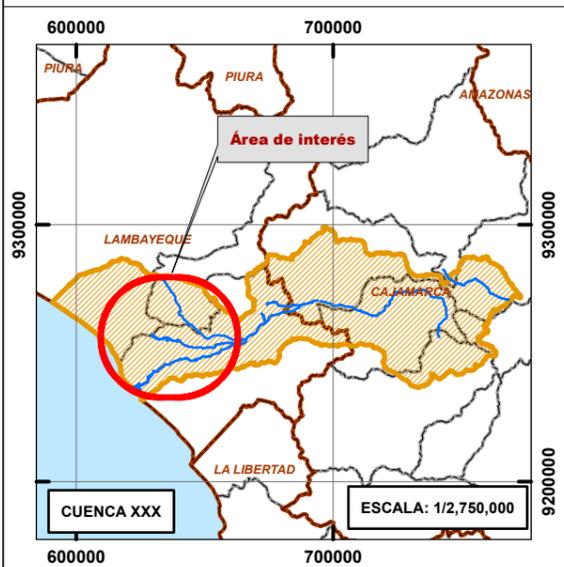
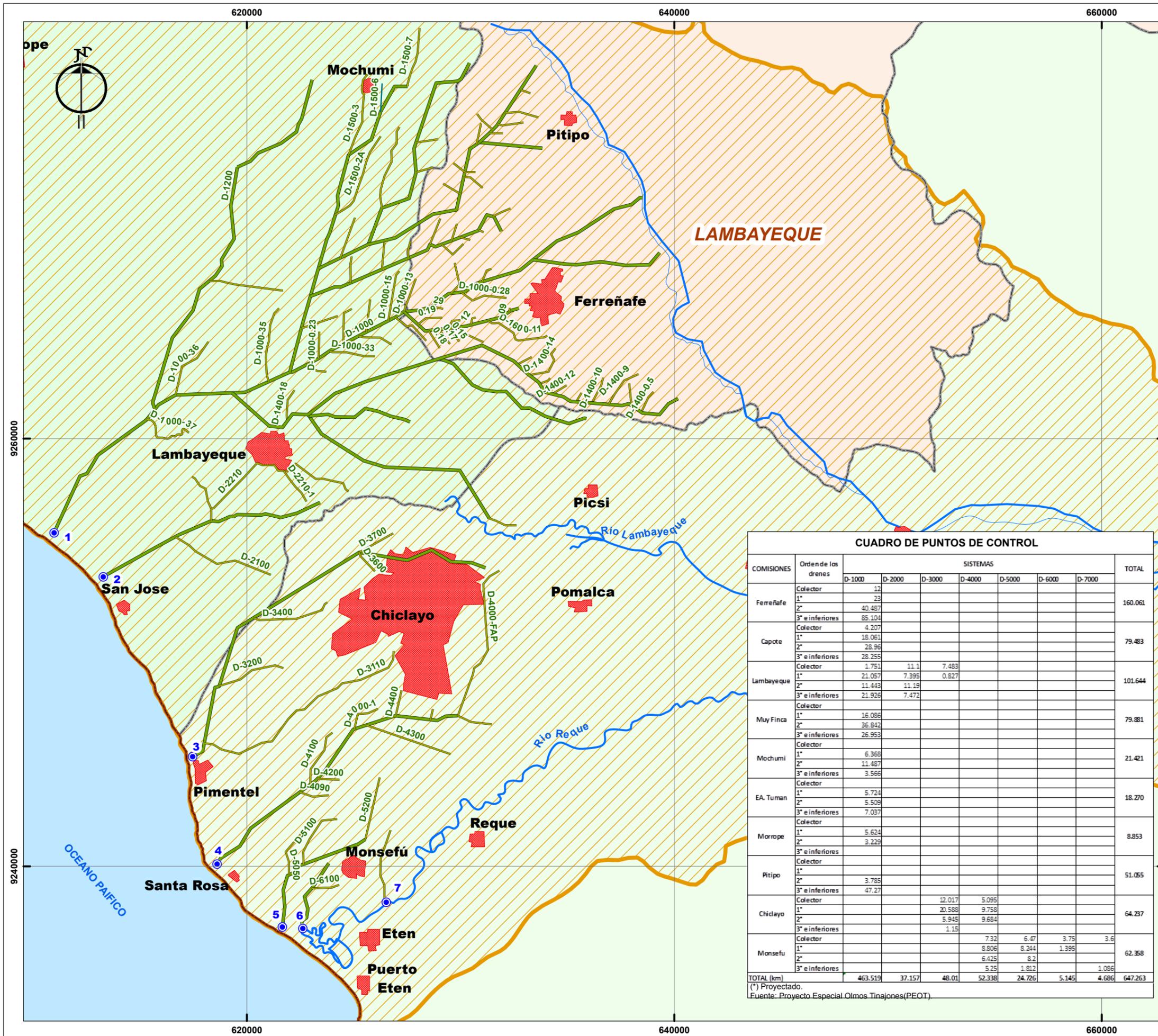


TESIS: EVALUACIÓN DE LOS VOLUMENES DE LAS AGUAS DE DRENAJE EN EL VALLE CHANCAY LAMBAYEQUE CON FINES DE REUTILIZACIÓN

PLANO:

UBICACIÓN

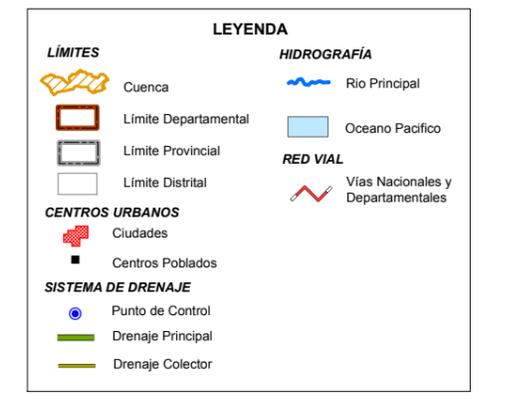
DPTO: LAMBAYEQUE	PROV: LAMBAYEQUE / FERREÑAFA / CHICLAYO
DATUM: UTM WGS 84 ZONA 17S	
ESCALA: 1:25,000,000	FECHA: MARZO 2013
	LAMINA: 1/3



CUADRO DE PUNTOS DE CONTROL

COMISIONES	Ordene los drenes	SISTEMAS						TOTAL	
		D-1000	D-2000	D-3000	D-4000	D-5000	D-6000		D-7000
Ferreñafe	Colector	12							
	1*	23							
	2*	40.487							
	3* e inferiores	85.104						160.061	
Capote	Colector	4.207							
	1*	18.061							
	2*	28.36							
	3* e inferiores	28.255						79.483	
Lambayeque	Colector	1.751	11.1	7.483					
	1*	21.057	7.395	0.827					
	2*	11.443	11.19						
	3* e inferiores	21.928	7.472					101.644	
Muy Finca	Colector	16.086							
	1*	36.842							
	2*	26.953							
	3* e inferiores	26.953						79.881	
Mochumi	Colector	6.368							
	1*	11.487							
	2*	3.566							
	3* e inferiores	3.566						21.421	
EA. Tuman	Colector	5.724							
	1*	5.509							
	2*	7.037							
	3* e inferiores	7.037						18.270	
Morope	Colector	5.624							
	1*	3.229							
	2*								
	3* e inferiores							8.853	
Pitipo	Colector	47.27							
	1*	3.785							
	2*								
	3* e inferiores							51.055	
Chiclayo	Colector		12.017	5.095					
	1*		20.588	9.758					
	2*		5.945	9.684					
	3* e inferiores		1.15					64.237	
Monsefu	Colector			7.32	6.47	3.75	3.6		
	1*			8.806	8.244	1.395			
	2*			6.425	8.2				
	3* e inferiores			5.25	1.612		1.086	62.358	
TOTAL (km)		463.519	37.157	48.01	52.338	24.726	5.145	4.686	647.263

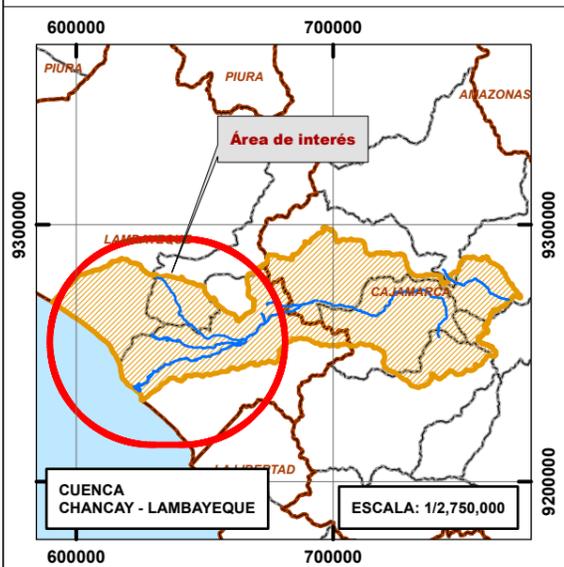
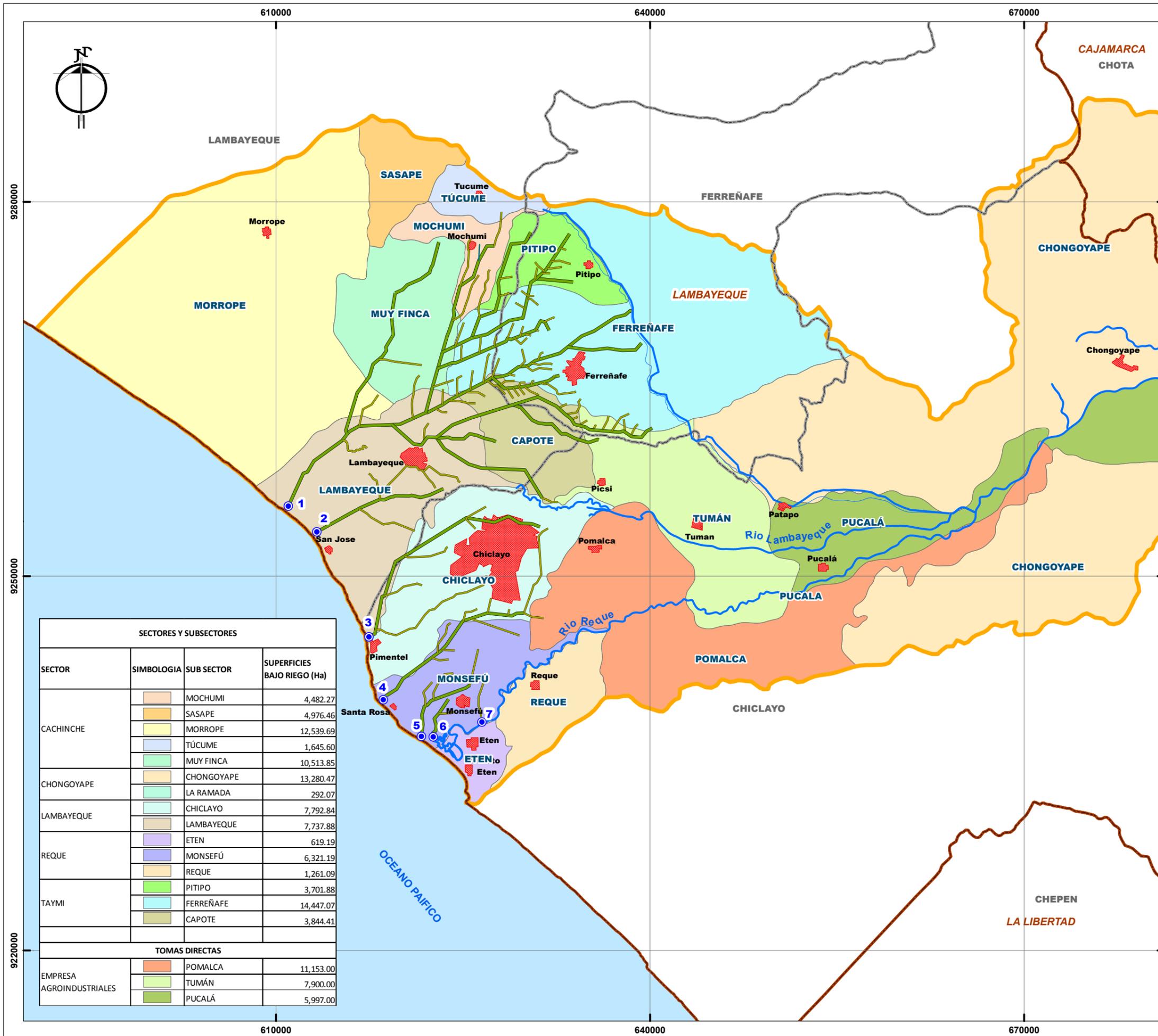
(*) Proyectado.
Fuente: Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT).



TESIS: EVALUACIÓN DE LOS VOLUMENES DE LAS AGUAS DE DRENAJE EN EL VALLE CHANCAY LAMBAYEQUE CON FINES DE REUTILIZACIÓN

PLANO: **SISTEMA DE DRENAJE DEL VALLE CHANCAY - LAMBAYEQUE**

DPTO: LAMBAYEQUE	PROV: LAMBAYEQUE / FERREÑAFE / CHICLAYO
DATUM: UTM WGS 84 ZONA 17S	
ESCALA: 1:175,000	FECHA: MARZO 2013
LAMINA: 2/3	



SECTORES Y SUBSECTORES			
SECTOR	SIMBOLOGIA	SUB SECTOR	SUPERFICIES BAJO RIEGO (Ha)
CACHINCHE		MOCHUMI	4,482.27
		SASAPE	4,976.46
		MORROPE	12,539.69
		TÚCUME	1,645.60
CHONGOYAPE		MUY FINCA	10,513.85
		CHONGOYAPE	13,280.47
LAMBAYEQUE		LA RAMADA	292.07
		CHICLAYO	7,792.84
REQUE		LAMBAYEQUE	7,737.88
		ETEN	619.19
TAYMI		MONSEFÚ	6,321.19
		REQUE	1,261.09
EMPRESA AGROINDUSTRIALES		PITIPO	3,701.88
		FERREÑAFE	14,447.07
		CAPOTE	3,844.41
TOMAS DIRECTAS			
EMPRESA AGROINDUSTRIALES		POMALCA	11,153.00
		TUMÁN	7,900.00
		PUCALÁ	5,997.00

LEYENDA	
LÍMITES	HIDROGRAFÍA
	RED VIAL
CENTROS URBANOS	
SISTEMA DE DRENAJE	

TESIS: EVALUACIÓN DE LOS VOLUMENES DE LAS AGUAS DE DRENAJE EN EL VALLE CHANCAY LAMBAYEQUE CON FINES DE REUTILIZACIÓN

PLANO:		
SECTORES Y SUB SECTORES		
DPTO: LAMBAYEQUE	PROV: LAMBAYEQUE / FERREÑAFE / CHICLAYO	
DATUM UTM WGS 84 ZONA 17S		
ESCALA: 1:300,000	FECHA: MARZO 2013	LAMINA: 3/3