



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS

**VARIACIÓN DE HUMEDALES COSTEROS E IRRIGACIONES AGRÍCOLAS: EL CASO
DE LA ALBÚFERA DE MEDIO MUNDO Y EL ÁREA AGRÍCOLA DE HUAURA**

Tesis para optar el título de Licenciada en Geografía y Medio Ambiente que presenta
la Bachiller:

MARIA ISABEL RODRIGUEZ VASQUEZ

ASESORA: Mg. PAOLA MOSCHELLA MILOSLAVICH

2017



AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia por el tenaz acompañamiento y apoyo incondicional que me brindaron en todo momento.

A todos los docentes de la especialidad de Geografía y Medio Ambiente, quienes dieron recomendaciones para direccionar este trabajo por un mejor camino. Un agradecimiento especial al profesor Carlos Tavares por su tiempo y críticas constructivas a mis primeros avances. Asimismo, al profesor Fabian Drenkhan, por apoyarme con la metodología SIG al inicio de este estudio.

A mi estimada asesora de tesis, Paola Moschella, que gracias a su experiencia en el tema de humedales costeros supo orientarme en todo el proceso del desarrollo de mi tesis.

A todos mis compañeros de la carrera que me motivaron a seguir con la investigación. Un agradecimiento especial a mi compañero de clases y amigo, Eduardo Sobrino, quien se dio la molestia de apoyarme en varios trabajos de campo.

A todas las personas entrevistadas en el área de estudio, por su tiempo y amabilidad. Un agradecimiento especial al Ing. Cesar Chilca, Téc. Máximo León y sectorista de riego Juan Chávez, de la Junta de Usuarios del Agua de Huaura, por brindarme información imprescindible para cumplir con mis objetivos de estudio.

Al ambientalista Rolando Quezada, por su disposición a apoyarme en mis trabajos de campo en la Albufera de Medio Mundo, y por coordinar con la familia Rovegno para el libre acceso al área privada de la Albufera, durante el período que lo requería.

A Sumpa S.A.C., por el préstamo de un receptor GPS y GLONASS, de mucha utilidad para los trabajos de campo. Agradezco la buena flexibilidad laboral de la empresa, ello facilitó el avance de mi tesis. Asimismo, a todo el equipo de trabajo por la motivación y el soporte emocional en la etapa final de esta investigación.

RESUMEN

La pérdida y degradación global de los humedales costeros se relacionan con el uso intensivo del agua en las actividades humanas y el desconocimiento del impacto de este uso sobre los humedales. Ante dicho escenario, el objetivo principal de este estudio fue aportar al conocimiento sobre los humedales de la costa árida peruana y su relación con las irrigaciones agrícolas, considerando la influencia del uso del agua de regadío en la formación, los cambios de extensión y la sostenibilidad de estos ecosistemas. Para ello, se abordó el caso de la Albufera de Medio Mundo y la irrigación San Felipe, ubicados en la provincia de Huaura, departamento Lima.

A través del análisis multitemporal de imágenes aeroespaciales, la revisión bibliográfica, observaciones de campo y entrevistas; se determinaron: la variación de la superficie hídrica de la Albufera; los cambios históricos en el uso agrícola del agua en la irrigación San Felipe y las actividades que influyen en el balance hídrico del acuífero de la intercuenca San Felipe-Medio Mundo.

Los resultados mostraron que la implementación del riego en la irrigación San Felipe propició la formación de la Albufera de Medio Mundo. Posteriormente, la eficiencia de riego en San Felipe se duplicó, principalmente debido a la introducción de técnicas de riego moderno y presurizado, lo que a su vez generó la ampliación del área bajo cultivo. Sin embargo, la mejora en la eficiencia de riego reduce la recarga del acuífero y, por tanto, la tendencia de la superficie hídrica del humedal es la disminución. Esta también es afectada por la explotación de agua subterránea en actividades avícolas y el uso poblacional.

Esta investigación reafirma la ventaja del estudio de las interrelaciones entre los humedales costeros y los otros usos de agua, tales como el agrícola, desde un enfoque geográfico; pues facilita la comprensión holística e integral de las múltiples articulaciones. En ese sentido, y con base a dicho enfoque, es necesario fomentar y aplicar la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en las localidades costeras con presencia de humedales e irrigaciones.

ABSTRACT

The global loss and degradation of coastal wetlands is related to the intensive use of water in human activities and the lack of awareness of the impact of this use on wetlands. In view of this, the main objective of this study was to contribute to the knowledge about the wetlands of the peruvian arid coast and its relation with agricultural irrigations, considering the influence of the use of irrigation water in the formation, the changes of extension and the sustainability of these ecosystems. For this, the case of the Medio Mundo lagoon and San Felipe irrigation, located in the province of Huaura, Lima region, was addressed.

Through multitemporal analysis of aerospace images, bibliographic review, field observations and interviews were determined: the lagoon water surface's variation; the historical changes in the agricultural use of water in San Felipe irrigation and the activities that influence the water balance of the San Felipe-Medio Mundo inter-basin's aquifer.

The results showed that the implementation of San Felipe irrigation led to the formation of the Medio Mundo lagoon. Subsequently, the irrigation efficiency in San Felipe doubled, mainly due to the introduction of modern and pressurized irrigation techniques, which allowed the increase of the area under cultivation. However, the improvement in irrigation efficiency reduces aquifer recharge and, therefore, the tendency of the wetland's water surface is the decrease. This is also affected by the exploitation of groundwater in poultry activities and population use.

This research reaffirms the advantage of studying the interrelationships between coastal wetlands and other water uses, such as agriculture, from a geographic focus; since it facilitates the holistic and integral understanding of the multiple articulations. In this sense and based on this approach, it is necessary to promote and implement Integrated Management of Water Resources in coastal locations with the presence of wetlands and irrigations.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
TABLA DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE MAPAS.....	x
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
I. PROBLEMÁTICA	3
II. JUSTIFICACIÓN.....	5
III. ANTECEDENTES	6
III.1. Estudios sobre humedales costeros peruanos y la Albufera de Medio Mundo.....	6
III.2. Investigaciones sobre irrigación y producción agrícola en San Felipe.....	10
IV. HIPÓTESIS.....	14
V. OBJETIVOS.....	14
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Agricultura de regadío y evolución del manejo del agua en el Perú	16
2.2. Uso de agua para el riego	26
2.2.1. Eficiencia de riego.....	28
2.3. Humedales	32
2.3.1. Clasificación de humedales	33
2.3.2. Humedales de la costa peruana.....	34
2.3.3. Características físicas de los humedales costeros	36
2.3.4. Características biológicas de humedales costeros	37
2.3.5. Servicios ecosistémicos de los humedales costeros	40
2.3.6. Conservación de los humedales costeros del Perú.....	41
2.3.7. Relación ciclo hidrológico-humedales	43
2.4. Análisis de humedales desde la teledetección espacial	45
2.5. Investigaciones sobre la influencia de las irrigaciones agrícolas en los humedales	47
CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO.....	51
3.1. Ubicación	51
3.1.1. Ubicación política	51
3.1.2. Ubicación geográfica	53
3.2. La Cuenca del río Huaura	55
3.2.1. Localización.....	55
3.2.2. Parámetros morfométricos	56

3.2.3. Hidrología	58
3.2.4. Agricultura	59
3.2.5. Manejo y gestión del agua para riego	61
3.3. Clima	65
3.4. Geoformología	66
3.5. Geología.....	68
3.6. Hidrogeología	68
3.7. Albufera de Medio Mundo	70
3.7.1. Características físicas.....	71
3.7.2. Características biológicas.....	73
3.7.3. Gestión del humedal	79
3.8. Población	82
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	86
4.1. Análisis multitemporal de imágenes aeroespaciales	87
4.2. Análisis del uso de los recursos hídricos para el riego	92
4.3. Análisis de correlación entre superficie de cuerpos de agua, dotación de riego y tasa de utilización de la tierra	93
4.4. Análisis de otros elementos influyentes	96
4.5. Entrevistas.....	96
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	98
5.1. Variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo.....	98
5.2. Uso de los recursos hídricos para el riego en San Felipe	102
5.2.1. Características del sistema de riego actual	102
5.2.2. Análisis de la variación del uso del agua para el riego.....	107
5.3. Influencia del riego agrícola de San Felipe en la variación de la extensión de la laguna de Medio Mundo.....	131
5.4. Otros factores con influencia en la recarga del acuífero	136
CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN.....	146
6.1. La contradicción entre eficiencia de riego y humedales costeros en zonas desérticas..	146
6.2. La necesidad de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos para la agricultura y la conservación de ecosistemas.....	150
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
BIBLIOGRAFÍA	162
ANEXOS	175
ANEXO 1: Especies de aves en los ambientes de un humedal costero.....	175
ANEXO 2: Características de las imágenes satelitales utilizadas	176

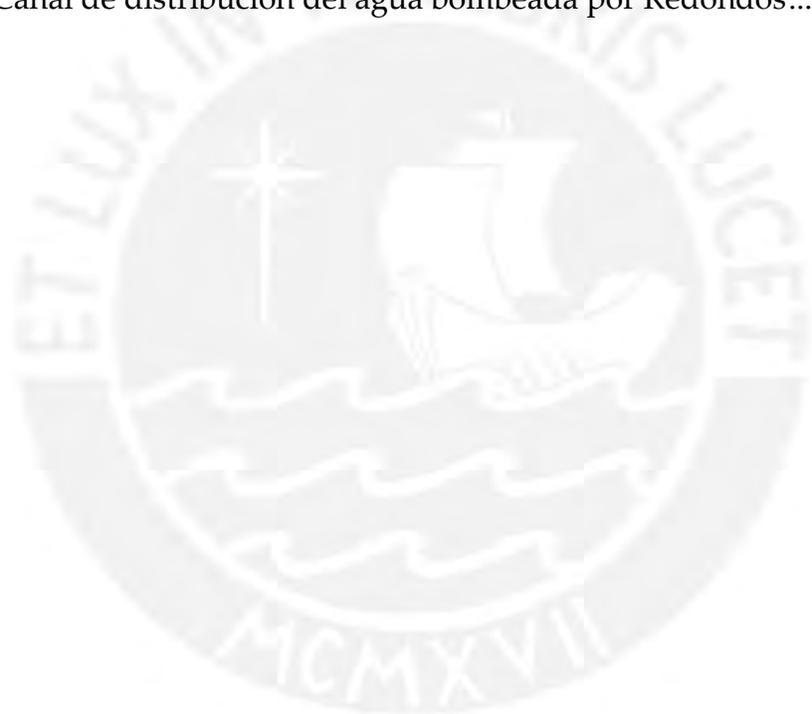
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Los trece Sitios Ramsar del Perú.....	35
Tabla 2.2. Humedales del Perú como ANPs.....	36
Tabla 3.1. Tipos de vegetación identificados en el ACR AMM	75
Tabla 3.2. Crecimiento de la población en el distrito de Végueta.....	83
Tabla 3.3. Distribución de la población, intercensal, urbana y rural de Végueta.....	84
Tabla 3.4. Población del 2007 y 2012 por centro poblado del distrito de Végueta	85
Tabla 4.1. Imágenes aeroespaciales del área de estudio	87
Tabla 4.2. Umbrales definidos para la clasificación del MNDWI.....	91
Tabla 4.3. Especificaciones de las imágenes satelitales usadas para el mapa de variación de áreas de cultivo y evapotranspiración	93
Tabla 4.4. Meses y años utilizados para la correlación entre el área de los cuerpos de agua (ha) y la dotación de agua para riego (m ³ /s)	95
Tabla 4.5. Meses y años agrícolas utilizados para la correlación entre el área de los cuerpos de agua (ha) y la tasa de utilización de la tierra (%)......	96
Tabla 4.6. Actores entrevistados en el área de estudio.....	97
Tabla 5.1. Áreas de la superficie de agua de la Albufera de Medio Mundo según las fotografías aéreas. Período 1945-1971.....	99
Tabla 5.2. Áreas de la superficie de agua de la Albufera de Medio Mundo según las imágenes satelitales. Período 1984-2015.....	99
Tabla 5.3. Caudales mensuales de dotación de agua. Período 1966-1967	110
Tabla 5.4. Eficiencias de riego para el sistema de riego San Felipe	114
Tabla 5.5. Variación de la nivelación del terreno en San Felipe.....	117
Tabla 5.6. Situación histórica de las condiciones físicas del sistema hidráulico.....	118
Tabla 5.7. Situación histórica de la aplicación y prácticas de riego	121
Tabla 5.8. Situación histórica de la tenencia, uso de la tierra y administración	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Usos del agua en el área de estudio	28
Figura 2.2. Fórmula de la eficiencia de riego	28
Figura 3.1. Probabilidad de descargas hídricas del río Huaura.....	57
Figura 3.2. Modelo Hidrogeológico de la Albufera de Medio Mundo	72
Figura 3.3. Cuerpos de agua.....	77
Figura 3.4. Arenal	77
Figura 3.5. Gramadal.....	77
Figura 3.6. Totoral.....	77
Figura 3.7. Juncal.....	78
Figura 3.8. Carrizal	78
Figura 3.9. Hito mal ubicado.....	82
Figura 4.1. Georreferenciación, unión y recorte de fotografías aéreas de 1945	89
Figura 4.2. Visualización de colores en imagen satelital con composición en falso color (bandas 7-4-2)	90
Figura 4.3. Fórmula del MNDWI	91
Figura 4.4. Correlación de Pearson	94
Figura 5.1. Variación de las áreas de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo en los meses marzo-abril. Período 1945-2016	100
Figura 5.2. Variación de las áreas de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo en los meses marzo-abril. Período 1966-2016	100
Figura 5.3. Toma rústica actual.....	103
Figura 5.4. Bocatoma inoperativa desde el año 2015.....	103
Figura 5.5. Cultivos instalados en San Felipe. Campaña Agrícola 2014-2017.....	107
Figura 5.6. Variación mensual de la dotación promedio de agua (m ³ /s) para riego al canal San Felipe. Período 1967-2016	109
Figura 5.7. Variación del caudal anual de dotación de agua para riego al canal San Felipe. Período 1967-2016	111
Figura 5.8. Variación anual de dotación de agua para riego al canal San Felipe. Período 2001-2016	113
Figura 5.9. Variación de la tasa de utilización de la tierra. Período 1966-2017.....	125
Figura 5.10. Correlación entre la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo (ha) y la dotación de agua (m ³ /s). Período 1966-2016.....	133

Figura 5.11. Correlación entre el área de los cuerpos de agua de la Albufera (ha) y la tasa de utilización de la tierra (%). Período 1966-2016.....	135
Figura 5.12. Vista desde el noreste de la Albufera: estación de bombeo (caseta blanca) del CP. Medio Mundo.....	138
Figura 5.13. Estación de bombeo y filtraciones de agua	139
Figura 5.14. Cartel de propiedad privada de la JASS Medio Mundo	139
Figura 5.15. Camino hacia la zona de bombeo de Redondos.....	142
Figura 5.16. Estación de bombeo de Redondos.....	142
Figura 5.17. Una de las estaciones de distribución del agua bombeada	143
Figura 5.18. Galpones de Redondos con tanques de agua	143
Figura 5.19. Instalaciones turísticas del ACR AMM hacia el otro lado de la laguna..	144
Figura 5.20. Canal de distribución del agua bombeada por Redondos.....	144



ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 3.1. Ubicación política del área de estudio.....	52
Mapa 3.2. Ubicación geográfica del área de estudio	54
Mapa 3.3. Ubicación de las Comisiones de Regantes del Distrito de Riego Huaura....	64
Mapa 3.4. Geomorfología del área de estudio.....	67
Mapa 3.5. Unidades de Vegetación del ACR AMM.....	76
Mapa 5.1. Variación del área de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo 1945-2015.....	101
Mapa 5.2. Infraestructura hidráulica principal del sector de riego San Felipe	105
Mapa 5.3. Variación de la vigorosidad o intensidad de los cultivos en San Felipe. Período 1989-2015.....	130
Mapa 5.4. Variación del área urbana del CP. Medio Mundo. Período 1971-2016.....	137
Mapa 5.5. Variación de la superficie de galpones de Redondos. Período 1996-2016 .	140

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACR	Área de Conservación Regional
ALA-HUAURA	Administración Local de Agua de Huaura
ANA	Autoridad Nacional del Agua
ANP	Área Natural Protegida
ATDR	Administración Técnica de Distrito de Riego
CD	Canal de Derivación
CEPES	Centro Peruano de Estudios Sociales
CIGA-PUCP	Centro de Investigación de Geografía Aplicada de la Pontificia Universidad Católica del Perú
COELVISAC	Consortio Eléctrico de Villacuri Sac
CONAF	Corporación Nacional Forestal
CP	Centro Poblado
CR(s)	Comisión(es) de Regante(s)
CRSF	Comisión de Regantes de San Felipe
DARH	Dirección de Administración de Recursos Hídricos
DIDP	Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
EM	Evaluación de los Ecosistemas del Milenio
FAO	Food and Agriculture Organization
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GORE-Lima	Gobierno Regional de Lima
GSAAC	Gestión Social del Agua y el Ambiente de Cuencas
GSAGUA	Gestión Sostenible del Agua
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
IUCN	International Union for Conservation of Nature
JASS	Junta Administradora de Servicios y Saneamiento
JUAH	Junta de Usuarios del Agua de Huaura
JU(s)	Junta(s) de Usuario (s)
LGA	Ley General de Aguas
MINAG	Ministerio de Agricultura

MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINCETUR	Ministerio de Comercio Exterior y Turismo
MMA	Ministerio del Medio Ambiente de Chile
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index (Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado)
MPH	Municipalidad Provincial de Huaura
PAT	Plan de Acondicionamiento Territorial
PCR	Plan de Cultivo y Riego
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROCOMHCC	Proyecto de Conservación de Humedales de la Costa Central
PSI	Programa Subsectorial de Irrigaciones
SAN	Servicio Aerofotográfico Nacional
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINANPE	Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
SNGRH	Sistema Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
WCS Perú	Wildlife Conservation Society Perú

INTRODUCCIÓN

La presente investigación muestra el análisis de la relación entre los cambios en los humedales de la costa central del Perú y el uso del agua para el riego agrícola. El área de estudio comprende la Albufera de Medio Mundo y la zona de irrigación San Felipe, ubicadas en el distrito de Végueta, provincia de Huaura, departamento Lima.

En zonas áridas como la costa peruana, la recarga de los humedales costeros ocurre por las filtraciones del agua subterránea provenientes de las descargas hídricas de los ríos en épocas de avenidas y de los excedentes hídricos de las irrigaciones agrícolas aguas arriba. En muchos casos, esta última es la principal fuente de recarga del humedal a escala local, pues aporta mayores volúmenes de agua al acuífero como producto de la baja eficiencia del riego de los campos de cultivos (García, 2015).

Más allá de la importancia de las filtraciones agrícolas al acuífero para el suministro de agua que da origen y mantiene el volumen hídrico de los cuerpos de agua de los humedales costeros, cualquier tipo de cambio en la hidrología del acuífero (tanto en la cantidad como en la calidad del agua) podría alterar la salud del ecosistema del humedal, considerando que la relación entre los humedales y el agua es indisoluble; es decir, ambos están íntimamente interconectados (Ramsar, 2005, p.3).

La gestión de los ecosistemas de humedales es global, transectorial y requiere de la participación conjunta de los entes gubernamentales y de la sociedad civil. En las últimas décadas, muchos humedales han experimentado un proceso de revaloración y conservación a través de muchas iniciativas a nivel global y nacional, tales como la Convención de los Humedales de Importancia Internacional (Convención Ramsar), de la cual el Perú es miembro desde el año 1991, así como la Estrategia Nacional de Humedales en el Perú, respectivamente.

Por otro lado, la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338), marco regulatorio para el uso y gestión integrada del agua en el Perú, plantea una gestión integral al tomar en cuenta los diversos usos del agua y buscar un manejo equitativo de este recurso, de manera que las demandas de agua de los sectores puedan verse satisfechas y estos favorecidos por su aprovechamiento.

El desarrollo agrícola y la conservación de los humedales costeros podrían llevarse a cabo en paralelo de implementarse, de forma plena y adecuada, las políticas referentes a la conservación de los humedales y, en general, al uso sostenible e integrado de los recursos hídricos. Para darse ese caso, como primer paso, es necesario la generación de información respecto al tema.

La información existente sobre la hidrología de los humedales costeros, así como los efectos de las actividades antrópicas, con demandas de agua del mismo acuífero, sobre el balance hídrico de estos ecosistemas es escasa. Por ello es imprescindible la generación de información que aporte a la comprensión de la dinámica hidrológica de los humedales costeros y sus relaciones con los diversos usos del agua en un mismo ámbito territorial. En otras palabras, se requiere de estudios con un enfoque holístico del territorio que desde la Geografía es posible abordar, ya que, de por sí, el estudio de diversos fenómenos desde una dimensión espacial será integral.

En este sentido, el enfoque geográfico encamina a esta investigación para comprender y analizar uno de los cambios más evidentes de los humedales costeros, que es la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo y su relación con el uso de los recursos hídricos para el riego del área agrícola de San Felipe; a fin de comprobar si la agricultura de regadío es la actividad que regula, en mayor proporción, la hidrología del acuífero de la intercuenca San Felipe-Medio Mundo.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

I. PROBLEMÁTICA

En las últimas décadas, la presión antrópica por los recursos naturales se ha venido incrementando, de manera que muchos ecosistemas terrestres han sido alterados, modificados o, incluso, han llegado al punto de la extinción. Los humedales, ecosistemas muy importantes para los seres humanos y una gran fuente de biodiversidad (SERNANP, 2013), no han sido la excepción.

En efecto, según Ramsar, en poco más de 40 años se ha degradado, aproximadamente, el 40% de los humedales y la tendencia de reducción de la extensión de los humedales continúa a un ritmo acelerado del 1.5% anual. Así también, en los últimos 100 años, un 64% del total de humedales del planeta se han perdido, mientras que la población de especies de estos ecosistemas se ha reducido en un 66% (2015 y 2016). En el caso concreto de los humedales costeros, algunos reportes señalan que están desapareciendo a una tasa anual del 1% (Gu et al., 2007). Según los inventarios de ProNaturaleza y Mundo Azul, ambas ONGs peruanas, son 12 los humedales costeros del Perú extintos (ProNaturaleza, 2010; Mundo Azul, 2005 y Moschella, 2012).

A nivel mundial, una de las actividades antrópicas con mayor impacto en los humedales es la actividad agrícola, cuyo uso del agua puede determinar no sólo las variaciones de la extensión de la frontera agrícola, sino también del régimen hidrológico del cual dependen los humedales aledaños para su estabilidad y funcionamiento como ecosistema (EM, 2005, p.5).

En la costa peruana, por ser una zona árida pero de tierras fértiles, casi la totalidad de la agricultura depende del riego. Según el último Censo Nacional Agropecuario, solo el 4.8% de la superficie costera no cuenta con riego (INEI, 2012); en

otras palabras, el desarrollo agrícola acelerado de la costa no habría sido posible sin el agua, elemento fundamental y condicionante en este contexto (Oré, 1986, p. 18).

La modernización de la agricultura en los últimos años ha sido un proceso clave para el desarrollo agrícola. Esta modernización trae consigo la implementación de nuevas infraestructuras de riego, así como la práctica de técnicas de riego más eficientes que implican una mejora en la gestión de la distribución y uso del agua (Eguren, 2003, p.3). En efecto, una de las formas más concretas de mostrar estas mejoras en el uso agrícola del agua es el incremento de la eficiencia de riego, que no es más que el porcentaje de agua de riego que suple la demanda neta de los cultivos, de manera que estos puedan desarrollarse sin problemas.

Si bien un uso más eficiente del agua, reduce las pérdidas y promueve la reutilización del agua para irrigar, existen efectos ambientales sobre la hidrología de los acuíferos y diversos ecosistemas, como los humedales costeros, que no han sido aún lo suficientemente estudiados en el Perú. Cabe recordar que en la costa peruana muchos humedales han aparecido gracias al surgimiento de manantiales formados por la recarga de los acuíferos costeros (Santos y Peña, 2016).

Considerando esta problemática, la presente investigación pretende responder y aportar con información a la comunidad académica en relación a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la relación entre la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo y el uso del agua en la irrigación San Felipe? A partir de esta pregunta general surgen las siguientes preguntas específicas:

- ¿Cómo ha variado la extensión de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo desde mediados de la década de los años 40?
- ¿Cómo ha variado el uso de los recursos hídricos, a través de la dotación de agua para riego, la eficiencia de riego y la tasa de utilización de la tierra en la zona

agrícola de San Felipe? ¿Cuál es la relación entre la variación de la extensión de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo con la dotación de riego y la tasa de utilización de la tierra?

- ¿Qué otros factores intervienen directa e indirectamente en la variación de las áreas de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo?
- Con base en los resultados previos ¿de qué manera puede mejorar la Gestión de los Recursos Hídricos (GIRH) en la zona de estudio?

II. JUSTIFICACIÓN

La importancia de esta investigación radica en que busca contribuir a un mayor conocimiento sobre los humedales costeros, tan relevantes para el ambiente, como para la sociedad. Por otro lado, pretende aportar con información sobre el uso de los recursos hídricos para el riego agrícola en el área de interés. Asimismo, la amplia escala temporal a ser considerada en todos los objetivos propuestos demostrará la importancia del desarrollo de estudios que consideren la evolución histórica de las variables de la investigación. Con la información histórica, además de la información estadística y actualizada, se podría propiciar una base más adecuada para desarrollar pronósticos de situaciones futuras. Ello es fundamental para orientar eficientemente procesos de gestión para el desarrollo sostenible en el ámbito local, nacional e internacional.

Por otro lado, esta investigación realza el enfoque geográfico al procurar describir y analizar, de forma holística, las interrelaciones de las actividades humanas con el medio físico; en este caso, el riego agrícola con los humedales. Este tipo de estudios adquiere importancia y utilidad para promover iniciativas de GIRH, que aseguren la sostenibilidad de estos ecosistemas y, al mismo tiempo, la estabilidad y el desarrollo socioeconómico.

III. ANTECEDENTES

En este acápite se presenta el resultado de la revisión de la literatura; es decir, aquellas investigaciones y estudios previos pertinentes en relación con los temas específicos de la investigación. Esto permitirá conocer el estado del conocimiento de los temas, así como resaltar los vacíos de información.

III.1. ESTUDIOS SOBRE HUMEDALES COSTEROS PERUANOS Y LA ALBÚFERA DE MEDIO MUNDO

El estudio de los humedales costeros en el Perú ha sido abordado principalmente desde enfoques ecológicos, turísticos y biológicos. En primer lugar, destacan los inventarios que muestran la situación integral actual de estos ecosistemas: ProNaturaleza (2010) y Mundo Azul (2005). En el “Inventario de humedales costeros en el Perú”, Mundo Azul, ONG peruana, busca lograr el fortalecimiento de la base para la Estrategia Nacional de Humedales, así como crear estrategias regionales y locales de conservación de humedales costeros, a través de la evaluación de numerosos humedales costeros, entre ellos la Albúfera de Medio Mundo.

En cuanto al Proyecto de Conservación de Humedales de la Costa Central (PROCOMHCC, 2007), “Humedales de la costa central del Perú”, es una iniciativa que integra diferentes líneas de acción. Este proyecto implementa propuestas participativas enfocadas a la conservación de los humedales de la costa central del Perú en paralelo al fortalecimiento institucional, educación ambiental de la sociedad civil, la generación de capacidades y la construcción de alternativas de desarrollo.

El Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) (2013), a través de su publicación “Humedales en Áreas Naturales Protegidas, fuentes de vida y desarrollo”, presenta a nueve humedales reconocidos internacionalmente por su importancia en el Perú, designados como Sitios Ramsar y ubicados en ocho Áreas

Naturales Protegidas (ANP)s; de estas cuatro son humedales costeros. Se presenta, desde un enfoque ecológico, los servicios ecosistémicos que cada uno de estos humedales ofrece. Además, muestra los avances de este organismo público en cuanto a la implementación de iniciativas de conservación de los humedales y desarrollo socioeconómico de la población local.

En esa misma línea, pero enfocado en el departamento Lima, el estudio de Castillo (2010) presenta los seis principales humedales de la costa central del Perú, entre ellos la Albufera de Medio Mundo. En esta fuente se hace una síntesis de las características ecológicas, biológicas (inventario de flora y fauna), culturales y socioeconómicas del humedal.

Otra línea de estudios hace un acercamiento a los humedales costeros desde un interés específico para su sostenibilidad y conservación, tal es el caso de Jiménez (2010), a través del “Sistema de Monitoreo y Evaluación de humedales frente al cambio climático”, en donde se identifica las vulnerabilidad de los humedales costeros frente a los efectos del cambio climático y se plantean propuestas para aminorar dichos efectos.

Aponte et al. (2014) en su artículo “Notas sobre el uso y mercado de *Schoenoplectus americanus* ‘junco’ en la costa central del Perú: implicancias para su manejo y conservación” estudian el manejo y uso del junco, desde un enfoque socioeconómico, en cuatro humedales de la costa central, entre los cuales está la Albufera de Medio Mundo. Con base a ello, los autores brindan recomendaciones y medidas que pueden ser implementadas tanto por los entes regionales y municipales, como por los mismos pobladores y artesanos, con el objetivo de mejorar el aprovechamiento sostenible de esta fibra y mejorar las condiciones socioeconómicas.

Una de las medidas planteadas por Aponte et al. (2014) es el establecimiento de un circuito turístico que permita la visita de personas no sólo a los humedales costeros, sino también a las lomas, de esta manera se podría ampliar la demanda turística de los productos fabricados con junco y ser parte de una alternativa sostenible para su gestión y conservación, además de beneficiar económicamente a la población local.

Por otra parte, Moschella (2012), a través de su tesis magistral “Variación y protección de humedales costeros frente a procesos de urbanización: casos Ventanilla y Puerto Viejo”, analiza los impactos de la urbanización en dichos ecosistemas y evalúa, con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la aplicación de los instrumentos de ordenamiento territorial para asegurar la armonía entre el crecimiento de las ciudades y la conservación de los humedales costeros.

García y Lleellish (2011) presentan la “Estimación espacial de la evapotranspiración usando imágenes de satélite Landsat y el modelo SEBAL en el humedal Paraíso, Huacho” en donde se calculó la evapotranspiración o consumo de agua del humedal Paraíso. De esta publicación se destaca el uso y factibilidad de la metodología conocida como SEBAL, en conjunto con información meteorológica e imágenes satelitales, para contribuir al estudio de las condiciones ecohidrológicas de los humedales costeros y, en consecuencia, a la conservación de estos.

Sin embargo, hay deficiencias de una mayor cantidad de estudios centrados en la hidrología de estos ecosistemas, más aun considerando que la gran mayoría de los humedales costeros del Perú son dependientes de los excedentes hídricos de las cuencas o irrigaciones agrícolas. Dicho esto, un conocimiento de su demanda hídrica y otras cuestiones hidrológicas es crítico para asegurar su conservación.

El “Plan Maestro para el Área de Conservación Regional (ACR) Albufera de Medio Mundo (AMM) 2009-2013” (GORE-Lima, 2009) es un documento de gestión en

donde se puede encontrar amplia información referente a la Albufera y a las interrelaciones de las actividades internas y externas con este ecosistema. Además, por ser un instrumento de gestión, se realiza un análisis integral de la situación y condiciones del área de conservación, a partir de un diagnóstico detallado del área de interés. De este diagnóstico se propone una serie de objetivos estratégicos que buscan la mejora en la gestión por parte del Gobierno Regional de Lima (GORE-Lima) y de las partes involucradas con el humedal. La información presentada en este documento será de gran utilidad para el desarrollo del primer objetivo de estudio. Cabe señalar que el GORE-Lima (2014) actualizó el Plan Maestro del ACR AMM para el período 2015-2019.

Otros estudios de la Albufera de Medio Mundo se enfocan en sus características biológicas, específicamente en la vegetación, como en la investigación de Mendoza y Castro (2016), "Evaluación de las Unidades de Vegetación, mediante imágenes Worldview 3, en el Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura, Lima-Perú". Se identifican y clasifican las unidades de vegetación a través de una técnica de teledetección para el tratamiento digital de imágenes satelitales, denominada clasificación supervisada. El producto final es un mapa de unidades de vegetación del ACR AMM, el cual se mostrará en esta investigación.

La publicación de Tovar (1977) "Sinecología de la laguna Medio Mundo" presenta un estudio bastante completo de la Albufera, enfocando sus características físicas y biológicas. El autor hace una descripción de la formación y morfometría del lecho de la laguna. Este tipo de información es importante para esta investigación, pues, a partir de ella, la tendencia que ha seguido la laguna, en cuanto a la variación de su área, se esclarece. Entre otras características físicas de este humedal presentadas está la limnología, hidrología y datos químicos. Dentro de las características biológicas,

menciona un inventario de especies, así como los campos vitales y la biocenosis dentro de estos ambientes, entre otros aspectos.

En otro tipo de estudios de la Albufera de Medio Mundo se trata el impacto de las actividades económicas como la avicultura. Como ejemplo está el “Análisis preliminar del impacto ambiental de la empresa avícola Redondos en los humedales ‘laguna el paraíso’ y ‘albufera de medio mundo’” de Gonzales (2007). En este estudio se identifican algunos aspectos e impactos ambientales que una de las plantas de la empresa Redondos realiza hacia ambos humedales de la costa norte de Lima. Si los impactos no son mitigados, se pone en riesgo la conservación de dichos ecosistemas; en este sentido, se proponen algunas recomendaciones para reducir dichos impactos.

En este panorama, el presente estudio aporta desde un enfoque geográfico u holístico el estudio de la Albufera de Medio Mundo en cuanto a su interrelación con agentes externos. Es decir, no pretende enfatizar en el estudio de las características específicas de esta, sino entender la interconexión de este ecosistema con otras actividades económicas, como la agricultura, a partir del ciclo hidrológico.

III.2. INVESTIGACIONES SOBRE IRRIGACIÓN Y PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN SAN FELIPE

La FAO (1970), con apoyo del Fondo Especial de las Naciones Unidas, presenta una serie de informes denominados “Reconocimiento sobre el uso de aguas y tierras para el desarrollo de la cuenca del río Huaura, Perú”. Estos están clasificados en diez volúmenes en los que se describen, de manera bastante completa y minuciosa, algunos de los más importantes proyectos de irrigación de aquella época ubicados en la parte baja de la cuenca del río Huaura, entre los cuales está San Felipe. Cada volumen refiere a un tema específico, por lo cual la caracterización física y, en general, el análisis de los aspectos técnicos de dichas irrigaciones es diferenciada.

Los informes de la FAO (1970) son referentes a las dinámicas históricas de la irrigación San Felipe en el período 1966-1969 y años cercanos. Estos extensos documentos presentan datos cualitativos y cuantitativos que aportarán significativamente a esta investigación, especialmente para el segundo resultado, en el que se caracterizará y analizará el uso de los recursos hídricos para el riego en el área agrícola de San Felipe y su variación a lo largo del tiempo.

Por otro lado, otra de las principales fuentes que presenta información histórica y relevante sobre la irrigación San Felipe es MINAG (1987a y 1987b). Son dos volúmenes titulados “Proyecto PLANHERATI III: Rehabilitación y mejoramiento de los sistemas de riego y drenaje del Valle de Huaura”. En una primera aproximación este proyecto incluyó un conjunto de diez valles costeros pre-seleccionados a partir de los estudios de evaluación de las condiciones de drenaje y salinidad en los valles de la Costa Peruana entre 1970 y 1975, realizados por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). Entre estos valles pre-seleccionados estuvo el valle de Huaura.

En el marco de las propuestas que se describen en ambos volúmenes del MINAG (1987a y 1987b) se realizó, al igual que en los documentos de la FAO (1970), una extensa caracterización sobre las condiciones de aquella época en relación con la agricultura y el uso del agua para el regadío de zonas como San Felipe. Además, aporta con datos puntuales que representarán en este estudio la única información disponible para finales de los años 80. Ello es importante para analizar las variaciones históricas de las variables mencionadas en los objetivos del primer capítulo.

Los siguientes autores: Oré (1989); Apacla et al. (1991) y Alfaro et al., (1991) han realizado estudios de carácter social, histórico y político sobre la agricultura en la costa del Perú y que, indudablemente, aportarán valiosa información a esta investigación,

especialmente para entender el contexto sociopolítico en que la zona de irrigación San Felipe se empezó a desarrollar y expandir.

Gracias a la contribución de estas fuentes se podrá realizar un análisis sobre el tema con un enfoque integral, buscando entender las causas que posiblemente llevaron a los agricultores o usuarios del riego a tomar ciertas decisiones, que, finalmente, afectan el desenvolvimiento de la actividad agrícola. Se destaca el trabajo de la socióloga María Teresa Oré, quien ha realizado numerosas investigaciones en torno a temas relacionados con los recursos hídricos y agricultura en la costa del Perú.

Para el año 2005, el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), además de caracterizar la cuenca del río Huaura, realizó un estudio hidrológico del valle. Este incluyó la descripción de su oferta hídrica, la determinación de la demanda hídrica agrícola, a partir de la cédula de cultivo representativa de los bloques, entre los cuales se incluyó el bloque de riego de San Felipe. Asimismo, se evaluó las asignaciones de agua a los distintos bloques, así como la dotación con fines de riego.

En resumen, se describen muchos aspectos concernientes al riego agrícola en cada una de las dieciséis CRs en el valle, entre los cuales se encuentra San Felipe. Al igual que las fuentes ya expuestas, este documento aportará con información general sobre el valle del río Huaura y específica en cuanto a los datos referentes al riego y organización de usuarios en San Felipe durante aquellos años.

La Junta de Usuarios del Agua de Huaura (JUAH, 2017), a través de la “Evaluación de la disponibilidad hídrica en la irrigación San Felipe-Eficiencias”, describe y caracteriza la situación actual del riego en San Felipe. Es quizás la fuente más importante y la base de datos cuantitativa a nivel de la Comisión de Regantes de San Felipe (CRSF), desde el año agrícola 2001-2002 hasta el 2016-2017. De esta fuente, se seleccionarán datos históricos declarados en los Planes de Cultivo y Riego (PCRs),

como por ejemplo, la dotación de agua al canal principal, así como las áreas bajo cultivo registradas en la CRSF. Además, la Autoridad Local del Agua de Huaura (ALAHuaura) proporcionó información espacial, actualizada al año 2017, en los formatos shapefile y dwg referentes a los predios agrícolas e infraestructura hidráulica de San Felipe. Estos fueron usados para la elaboración de un mapa en la investigación.

Cabe resaltar que según Guerra et al., los PCRs son instrumentos de gestión que se elaboran sobre la base del pronóstico de disponibilidad de agua. Estos asignan a cada sector, sub-sector y usuario determinadas áreas y cultivos por regar. Además, permite calcular la demanda de agua en el tiempo por cada sector y subsector y, de esta manera, controlar durante la campaña agrícola los volúmenes de entrada en cada uno de los canales de distribución (1991, p. 55). Todos estos datos se muestran a nivel mensual, anual y por cultivo.

Gran parte de las fuentes mencionadas y utilizadas en esta investigación presenta información sobre la irrigación San Felipe a partir del año 2000. Tomando en consideración que el objetivo de esta investigación es identificar relaciones espacio-temporales, esta limitación de información histórica podría considerarse una desventaja, pues no permite explicar, con mayor plenitud y detalle, las condiciones pasadas del riego y la gestión del agua en San Felipe.

Pese a los vacíos de información, el presente estudio explora, desde un enfoque integrador, un ámbito espacial más amplio (intercuenca San Felipe-Medio Mundo), de esta manera se favorece al entendimiento de una realidad compleja y facilita la comprensión de la actuación de factores externos, como el uso agrícola del agua en San Felipe, y su posible afectación a la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo. En este sentido, la información generada podría ser un complemento

importante a todos los estudios existentes y un aporte al conocimiento sobre los humedales costeros, las irrigaciones costeras y sus diferentes interrelaciones.

IV. HIPÓTESIS

Dada la baja eficiencia de riego en la zona agrícola San Felipe, los flujos de retorno del riego¹, o drenaje subsuperficial, recargan al acuífero que sostiene a la Albufera de Medio Mundo. Así, a mayor eficiencia de riego en San Felipe menor será el área de los cuerpos de agua de dicho humedal costero.

Uno de los indicadores visualmente más evidentes de una mayor eficiencia de riego en zonas áridas es la tasa de utilización de la tierra; es decir, el porcentaje de la superficie agrícola bajo riego que está cultivada. En este sentido, a mayor tasa de utilización de la tierra en San Felipe, menor será la superficie de la Albufera de Medio Mundo.

Por último, en las últimas décadas, otros usos cuyas demandas hídricas generan una menor recarga del acuífero de la intercuenca San Felipe-Medio Mundo, son los usos avícola y poblacional.

V. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Aportar al conocimiento sobre los humedales costeros del Perú y su relación con las irrigaciones agrícolas, considerando principalmente la influencia del uso del agua para el riego en la formación, los cambios de extensión y la sostenibilidad de estos ecosistemas.

¹ La Asociación del Riego Sostenible lo define como “aguas sobrantes, fugas o filtraciones de sistemas de riego, que se reintegra al dominio hidrográfico natural, siendo susceptibles de reúso”. (2016)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la variación de la extensión de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo en los últimos setenta años.
2. Caracterizar el uso del agua para el regadío en la zona agrícola de San Felipe en los últimos setenta años.
3. Identificar la relación del uso del agua para el riego en San Felipe sobre la variación de la extensión de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo.
4. Identificar la presencia de otros factores que afectan la recarga del acuífero de la intercuenca San Felipe-Medio Mundo.



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

El presente capítulo presentará los principales conceptos y las bases teóricas sobre la agricultura de regadío en la costa peruana, el uso agrícola del agua, la eficiencia de riego y las clasificaciones, características, formas de conservación e hidrología de los humedales costeros. Para los antecedentes, se hará hincapié a la investigación en cuanto a las metodologías para la teledetección espacial aplicadas al estudio de los humedales costeros y a las investigaciones referentes a la influencia de las irrigaciones agrícolas sobre los humedales costeros.

2.1. AGRICULTURA DE REGADÍO Y EVOLUCIÓN DEL MANEJO DEL AGUA EN EL PERÚ

La agricultura de regadío o bajo riego es una de las actividades económico-productivas que según la convención Ramsar (2004, p. 39) tiene el mayor uso de agua en el mundo, pues llega a alcanzar las dos terceras partes del agua dulce extraída de los ríos y otros cursos de agua, lagos y acuíferos. Por otro lado, la FAO (2002) asegura que el nivel de productividad de este tipo de agricultura, aun con el uso de bajos insumos, es mayor que el de la agricultura de secano con altos insumos (p. 16).

En el Perú, según Zegarra y Orihuela (2005), casi el 100% de la agricultura de la costa y aproximadamente un 40% de la agricultura de la sierra es de riego (p. 4). Asimismo, la frontera agrícola, entendiendo a la frontera como un sistema de relaciones entre una forma específica de producción y un ámbito físico determinado (Reboratti, 1990), se ha ampliado sobre la base de grandes inversiones en obras de irrigación, especialmente en la costa norte del Perú (Eguren, 2003, p. 18).

Ian S. Farrington, un investigador de las culturas prehispánicas, apuntaba que “la historia de la agricultura en la costa peruana es la historia de la irrigación. El manejo

del agua es la técnica agrícola dominante a lo largo de esta secuencia y, en su mayor parte, el sistema de canales delimita el área de cultivo". (citado por Figallo, 1987, p.21)

Así, el desarrollo histórico de las irrigaciones costeras en el Perú ha sido influenciado por la evolución en el manejo del agua, la cual está estrechamente asociada con la organización social del riego y los cambios en el tiempo generados por el contexto sociopolítico y económico en el que el país estuvo inmerso.

Para facilitar un mejor entendimiento de lo dicho se plantea, a continuación, una línea de tiempo sobre los hechos más significativos para esta investigación de la política agraria y del manejo del agua, a través de la organización social del riego:

En el período de 1890 a 1920, técnicos y políticos del Estado buscaban el desarrollo agrícola del país. Se discutían los proyectos de nuevas irrigaciones en los valles de la costa, para lo cual se debía tomar en cuenta un elemento esencial y condicionante para la realización de estos en una región árida, ese elemento era el agua, cuyo uso y manejo para el riego, en aquellos tiempos, estaba bajo el poder de los grandes hacendados. En este contexto, se iniciaron los estudios de ampliación y mejora hidráulica para los valles de la costa peruana (Oré, 1989, p.18).

En el año 1902, durante el gobierno de Eduardo López de Romaña, se promulgó el nuevo Código de Aguas, primera norma republicana sobre gestión de recursos hídricos, que estableció un nuevo régimen de distribución de aguas públicas, bajo nuevas formas de control y regulación; en síntesis, el agua se privatizó. Esta ley reconocía el derecho de propiedad de las aguas al dueño del predio; de manera que se favorecía a los latifundios, al mismo tiempo que perjudicaba a los pequeños agricultores y campesinos (Apacla et al., 1991, p. 63).

Durante el primer gobierno de Augusto Leguía (1908-1912), se hizo un primer intento de control estatal en la construcción de grandes obras de riego en la costa

peruana. Asimismo, se implementó una Administración Estatal del Agua, a través de las Comisiones Técnicas de Riego en 1911 en los valles costeros. Charles Sutton, ingeniero geógrafo norteamericano, quien trabajó para el presidente Leguía durante el período 1908-1912, fue crucial a lo largo de este proceso y su influencia también fue decisiva durante el segundo período de Leguía (Zegarra, 2002, p. 9).

Por otro lado, a pesar de las leyes que le siguieron al Código de Aguas de 1902, el Estado no erradicó el sistema hacendario. En el segundo gobierno de Augusto Leguía (1919-1930) se intentó llevar a cabo una gestión estatal del agua en la costa, que puso en riesgo el control del agua por parte de los terratenientes; sin embargo, no pasó mucho tiempo para que dicho proyecto se viera truncado con el derrocamiento de Augusto Leguía en 1930 y el encarcelamiento de su asesor, el Ingeniero Sutton (Oré y Del Castillo, 2006, p. 3).

A pesar de todo, fue durante el gobierno de Leguía que hubo avances significativos para la historia agraria en el país. Prueba de ello fue el desarrollo de grandes proyectos de irrigación en la costa peruana, tales como: “El Imperial” y “Olmos”, los que favorecieron a los grandes terratenientes. Estos fueron presentados por el ingeniero Sutton en el año 1929, durante el Primer Congreso de Irrigación y Colonización del Norte, realizado en la ciudad de Lambayeque. Cabe mencionar que estos proyectos también fueron interrumpidos por la caída de Leguía (Pérez, 1949).

Entre el período 1930-1960, el Estado tuvo una preocupación por la ampliación de la frontera agrícola y por las obras de mejoramiento en la infraestructura hidráulica. Fue un período en el que se llevaron a cabo grandes proyectos de irrigación en la costa y se introdujo tecnología moderna. Estos proyectos iban a estar centrados en el desarrollo los cultivos de exportación a los cuales los hacendados se habían abocado (Alfaro et al., 1991, p. 136).

En 1930, se crea la Dirección de Aguas e Irrigación en el Ministerio de Agricultura y el 28 de setiembre de 1931 fue promulgado el Decreto Ley N° 7335, el cual estableció que las Administraciones Técnicas de Riego (ATDR) sustituyan a las Comisiones Técnicas y se encarguen de la distribución de las aguas de regadío en los valles de la costa (Chang, 2013). A partir de la creación de la Dirección de Aguas e Irrigación y de las ATDR, se empezaron a realizar los primeros estudios técnicos sobre el potencial de riego de los valles costeros (Zegarra, 2002, p.8). Más adelante, entre los años 1945 y 1948, se elaboró el Plan Nacional de Irrigación y Mejoramiento de Riego; y, entre 1948 y 1956, el peso de las inversiones públicas alcanzó niveles sin precedentes (MINAGRI, 2015).

En este marco histórico, los dueños de las haciendas seguían teniendo mucho poder en la distribución de aguas. Tuvo que pasar 67 años para suprimir el Código de Aguas de 1902. En el año 1969 fue promulgado durante el gobierno del General Velasco Alvarado un Nuevo Código de Aguas (Ley General de Aguas) mediante el Decreto Ley N° 17752, un mes después de la promulgación de la Ley de la Reforma Agraria (Apaclla et al., 1991, p. 73).

Según la Ley General de Aguas (LGA), las aguas superficiales y subterráneas eran propiedad del Estado: “las aguas, sin excepción alguna, son propiedad del Estado; y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada de las aguas ni derechos adquiridos sobre ellas. El uso justificado y racional del agua, sólo puede ser otorgado en armonía con el interés social y el desarrollo del país” (Art. 1). Además, establece los ámbitos geográficos para la administración del agua a través de los Distritos y Subdistritos de riego con sus Sectores y Subsectores de Riego (Chang, 2013).

De esta manera, la antigua organización del riego controlada por los hacendados desapareció. Las haciendas fueron expropiadas en la totalidad o en la mayor parte de su

extensión. Varios de ellos se quedaron en el agro como medianos propietarios con el mínimo de tierras legalmente inafectable por la Reforma Agraria (Oré, 1989, p. 26). Además la aprobación de esta ley significó el término del poder de operación unilateral de los sistemas hídricos por parte de las haciendas. A partir de entonces, el Estado se encargaría del manejo del agua; particularmente de la operación y el mantenimiento de los sistemas hídricos a través de las ATDR (Guerra et al., 1991, p. 92).

En el año 1979, durante el gobierno del General Morales Bermúdez, se promulgó el Decreto Supremo N° 005-79-AA, que aprobó el Reglamento de Organizaciones de Usuarios del Riego, por el cual “reconocía la posibilidad de conformación de Juntas de Usuarios (JUs), Comisiones de Regantes (CRs) e incluso de Comités de Regantes, que debían servir como órgano de apoyo a la autoridad local de aguas” (CEPES, 2003). Asimismo, con este reconocimiento se desconoció cualquier otra forma de organización. Las CRs agrupaban a los beneficiarios por sectores de riego, a nivel local, y la JUs, a aquellos de todo un distrito de riego (Alfaro et al. 1991 y Oré, 1989, p. 27).

Con este Reglamento Especial, promulgado en febrero del año 1979, se les da una mayor importancia a las organizaciones de usuarios, a diferencia del tratamiento que se les dio en el artículo 136° de la LGA en 1969, en la cual se asignó a las CRs y a las JUs un papel muy reducido, especialmente en la elaboración de los PCRs. Posteriormente, el Capítulo III (art. 17 al 31), del Título X del Reglamento en el año 1971, también se ocupó de ellas de forma muy breve. En el artículo 24 del mismo se consideró a estas organizaciones como instancias de apoyo al Administrador Técnico del Distrito de Riego, mientras que a las CRs no se les señaló funciones específicas. (CEPES, 2003). Pese a todo ello, desde la implementación de la LGA en 1969 la organización del riego comenzó a ser dirigida desde el Estado.

En el año 1980, durante el 2^{do} Gobierno de Fernando Belaúnde, se promulgó la Ley de Promoción y Desarrollo Agrario mediante el Decreto Legislativo N° 2. Con esta ley se buscó aumentar la producción y la productividad de la agricultura, por lo cual se comenzaron a establecer normas, las cuales modificaron sustancialmente la Ley de Reforma Agraria, poniéndose plazos para la conclusión de las acciones de afectación, abriendo el mercado de tierras (a través de la ampliación de las posibilidades de hipotecas con el consiguiente fraccionamiento de los predios rurales). Todo esto tuvo como consecuencia que las Cooperativas Agrarias de Producción creadas por la Reforma Agraria comiencen a parcelarse o, en muchos casos, disolverse. Se inició un proceso de reestructuración del sistema agrario, hacia una modalidad empresarial, especialmente en la costa (CEPES, 2003 y GSAAC, 2003).

Para el año 1989, la administración del riego estatal (representado por las ATDR) estuvo debilitada principalmente por la crisis económica que atravesaba el primer gobierno del presidente Alan García; por lo cual el Estado realizó la transferencia en el manejo del riego a las organizaciones de usuarios mediante la promulgación de un nuevo Reglamento de Organización de Usuarios a través del Decreto Supremo N° 037-89-AG.

De esta manera, las CRs y las JUs, fueron quedando bajo el control de los grupos de poder local (Oré, 1989; Alfaro et al., 1991 y Apacla et al., 1991). En otras palabras, las CRs y las JUs “de simples entidades colaboradoras de las funciones de la Autoridad de Aguas y en particular del Administrador Técnico del Distrito de Riego, asumieron la responsabilidad y la ejecución de una serie de tareas que la LGA había reservado para la Autoridad de Aguas”. (CEPES, 2003)

En 1991, durante el gobierno de Alberto Fujimori y bajo un nuevo marco económico para el país, la LGA promulgada en el año 1969 sufrió algunos cambios. Se

promulgó el Decreto Legislativo N° 653, Ley de Promoción de las Inversiones en el Sector Agrario, que desregulaba el mercado de tierras y mediante el cual se crearon las Autoridades Autónomas de Cuenca Hidrográfica. Esto rompió la lógica de la ley, particularmente afectando el principio de aleatoriedad en el uso del agua (CEPES, 2003). De esta forma, el esquema organizativo de la Autoridad de Aguas en el ámbito agrario presentó tres niveles: Director General de Aguas, Autoridad Autónoma de Cuenca Hidrográfica (en los lugares donde se instalen) y Administrador Técnico del Distrito de Riego (GSAAC, 2003).

En marzo del año 2009, durante el segundo gobierno de Alan García, se derogó la Ley General de Aguas de 1969 y se promulgó la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, que actualmente sigue vigente y es el marco legal que respalda cualquier tipo de actividad que requiera del uso del agua. Esta ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y de los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.

Asimismo, esta ley promueve la GIRH con el propósito de lograr eficiencia y sostenibilidad en la gestión del agua, por cuencas hidrográficas y acuíferos, para la conservación e incremento de la disponibilidad del agua, así como para asegurar la protección de su calidad, fomentando una nueva cultura del agua. Esta ley crea el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos y establece el marco institucional para la gestión del agua en el Perú. Regula la articulación del accionar del Estado para conducir los procesos de gestión integrada y multisectorial de los recursos hídricos (Pinto, 2011).

Es conveniente mencionar dos aspectos importantes respecto a las JUs y el uso agrícola del agua, explicados en el Reglamento de Organizaciones de Usuarios de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante el Decreto Supremo N° 021-2012-AG.

El primer aspecto incluye algunas de las funciones más importantes de las JUs (art. 22).

- Operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.
- Distribución del agua y el cobro.
- Administración de las tarifas de agua.

Estas están sujetas a las disposiciones que emita la máxima autoridad del agua, la Autoridad Nacional del Agua (ANA). La actuación de la ANA sobre las JUs, está dirigida a garantizar la eficiente prestación del servicio que realizan y la sostenibilidad de la infraestructura hidráulica pública.

Con relación al uso del agua, la ley aclara el uso prioritario del este con fines agrarios, después del uso poblacional y por encima de los demás usos productivos (art. 5).

Otro aspecto importante es el rol que cumplen otras instituciones estatales como se señala en la Cuarta Disposición Complementaria del Reglamento de la Ley N° 29338. Por un lado, la Dirección General de Infraestructura Hidráulica del Ministerio de Agricultura es responsable de brindar asistencia técnica a las organizaciones de usuarios de agua agrarias; mientras que los Gobiernos Regionales, a través de sus Direcciones o Gerencias Regionales Agrarias, supervisan la distribución de agua de riego (MINAGRI y ANA, s.f.a).

Dos años más tarde, el 19 de enero del año 2014, durante el gobierno de Ollanta Humala, se promulgó la Ley de Organizaciones de Usuarios de Agua (Ley N° 30157). Se realizaron algunas modificaciones en esta ley respecto a la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, en relación con las organizaciones de usuarios. Una de ellas fue la reafirmación del rol de la ANA en la supervisión, fiscalización y sanción de las organizaciones de usuarios. En general, esta ley indica una mayor y mejor regulación

de “la gestión y la institucionalidad de las organizaciones de usuarios poniendo fin a un situación de desgobierno en aspectos de distribución y de fiscalización de recursos generados por el uso de un patrimonio de la nación, el agua y por la infraestructura hidráulica”. (GSAGUA, 2014).

En abril del año 2015, se aprobó el reglamento de la Ley N° 30157, Ley de Organizaciones de Usuarios, mediante el Decreto Supremo N° 005-2015-MINAGRI. Este reglamento tiene como finalidad “regular la participación de los usuarios de agua en la gestión multisectorial y uso sostenible de los recursos hídricos; la constitución, organización y funcionamiento de las organizaciones de usuarios de agua; y, las acciones de supervisión, fiscalización y sanción, a cargo de la ANA”. (Art. 1)

Asimismo, mediante la Resolución Jefatural N° 105-2015-ANA, se designó de manera provisional, a la Dirección de Administración de Recursos Hídricos (DARH) como órgano de línea encargado del reconocimiento administrativo, fiscalización y fortalecimientos de las organizaciones de usuarios de agua.

El Estado, a través de la aprobación de nuevas leyes y reglamentos referentes a la Organización de Usuarios del Agua, decide invertir en la mejora de la gestión institucional de estas organizaciones, las cuales van desarrollando más capacidades y consiguiendo la formalización de un mayor número de usuarios.

El 12 de mayo del 2015, se promulgó la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos en el Perú, mediante el Decreto Supremo N° 006-2015-MINAGRI. Esta es la versión más actualizada de dicho documento. El haber sido aprobada por el poder ejecutivo es un paso importante para garantizar el uso sostenible de los recursos hídricos en el Perú, ya que constituye un instrumento conceptual de planificación vinculante; es decir, de cumplimiento obligatorio para todas las instituciones involucradas en la gestión de los recursos hídricos.

Esta política aterriza en un Plan Nacional de Recursos Hídricos aprobada el 16 de julio del mismo año, a través del Decreto Secreto N° 013-2015-MINAGRI. Este es otro instrumento de planificación, en el cual se determinan las acciones estratégicas para cumplir con los objetivos nacionales predefinidos en la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos en el Perú; además, se establecen los costos y las fuentes de financiación, y su programa de implementación.

Tres meses después, se aprobó, mediante Resolución Ministerial N° 0507-2015-MINAGRI, los lineamientos de la Política y Estrategia Nacional del Riego 2015-2025. En esa misma Resolución, a través del Informe N° 0064-2015-MINAGRIDVPA-DIPNA/DGPA, la Dirección General de Políticas Agrarias concluye que este proyecto tiene por objetivo incrementar la eficiencia del uso de agua para riego y el acceso al riego en áreas de secano.

Finalmente, en el presente año 2017, bajo el gobierno del presidente Pedro Pablo Kuczynski, se aprobó el Reglamento del Fondo Sierra Azul y se creó el grupo de trabajo denominado Comité Técnico del Fondo Sierra Azul, mediante el Decreto Supremo N° 002-2017-MINAGRI. La finalidad de este Fondo es financiar proyectos de inversión pública declarados viables destinados a mejorar el acceso y uso eficiente de los recursos hídricos a nivel nacional, a través de tres componentes: la mejora en la eficiencia de riego, la tecnificación del riego parcelario y las intervenciones de siembra y cosecha de agua para mejorar la intercepción, almacenamiento y regulación del agua (art. 2).

Si bien Fondo Sierra Azul financia proyectos que, en su mayoría, se ubican en zonas altoandinas o lugares con comunidades en situación crítica de pobreza, es un programa aprobado por el ejecutivo que forma parte de la implementación de la Política y Estrategia de Recursos Hídricos en el Perú. Este programa busca impulsar el uso eficiente de los recursos hídricos para el riego a nivel nacional.

De este modo, está implícita la preocupación del Estado por orientar, establecer e implementar una serie de lineamientos, objetivos y acciones estratégicas para una mejor gestión del agua en el Perú. La práctica y ejecución de la política hídrica implicaría la conservación de ecosistemas como los humedales costeros; así como la mejora en la eficiencia del riego agrícola para la ampliación sostenible de la frontera agrícola.

Es conveniente evaluar, analizar y decidir las acciones específicas a tomar para lograr la coexistencia de estos dos escenarios. Las soluciones enmarcadas en el ámbito de estudio deberían, ser consideradas en un Plan de Gestión de Recursos Hídricos en las Cuencas que, hasta la actualidad, queda pendiente su aprobación.

2.2. USO DE AGUA PARA EL RIEGO

Frecuentemente se confunden los términos uso y consumo del agua. La aclaración de estos términos es importante, especialmente para un mayor entendimiento de la variación de la eficiencia de riego en el área de estudio. Además, es relevante y crucial conocer sus diferencias para direccionar correctamente la toma de decisiones en la GIRH, considerando que el uso mayor del agua superficial en el país es para fines agrícolas (PNUD, 2010, p. 66)

Se define el uso como la aplicación del agua a una actividad. Por otro lado, el consumo es técnicamente considerado como la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen descargado (CONAGUA, 2010, p. 60).

La evapotranspiración potencial o requerimiento neto de agua por las plantas es la cantidad neta de agua necesaria para la transpiración de la planta y la evaporación del suelo (FAO, 1970, vol IV, p. 34). Según Guevara (2006), la evapotranspiración potencial es la “evapotranspiración máxima que ocurre en una cubierta vegetal de un

cultivo verde corto, pero sin ser especificado y el suelo sin limitaciones de agua". (p. 47).

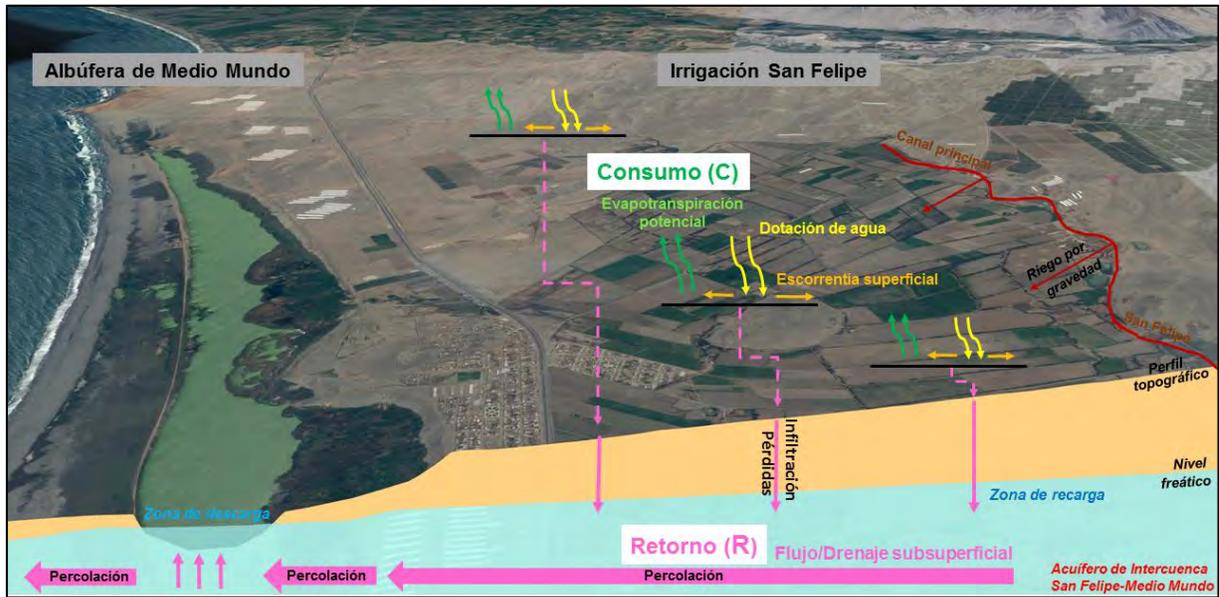
Por otra parte, existe el otro uso que no consume agua (CONAGUA, 2010, p. 60) y es reutilizable; este vendría a ser la "fracción de la demanda de agua que se devuelve al medio hídrico sin alteración significativa de su calidad". (Acosta y Martínez, 2010, p. 88). En esta investigación el uso que no consume agua de los cultivos lo constituirían los retornos de riego conocidos como excedentes o pérdidas de riego, que finalmente es el agua devuelta al sistema hidrológico, en este caso al sistema de riego.

Bielsa y Duarte explican que "el agua usada (U) se descompone en consumo (C) y retorno (R), es decir, $U = C + R$. La relación entre el consumo físico y el uso se establece a través de la tasa de retorno r , tasa que depende de múltiples factores". (2000, p. 105-106). Ellos manifestaron que "en un sistema de riego la tasa de retorno depende de la eficiencia con la que se maneja el agua, de las características físicas, químicas y climáticas del terreno y de la proporción de agua que es necesario usar para mantener un adecuado balance químico en el suelo". (p. 109)

La siguiente Figura 2.1 muestra los diferentes usos del agua en el área de estudio. Señala, con atención especial, los usos del agua durante y después del riego en la zona agrícola San Felipe.

Posterior a la dotación de agua de riego al suelo agrícola y a los cultivos, el consumo de agua se realiza a través de la evapotranspiración, mientras que el uso que no consume agua; es decir, los retornos de riego o flujo subsuperficial; son las pérdidas de riego que recargan al acuífero de la Intercuenca San Felipe-Medio Mundo y percolan hacia la zona de descarga, la Albufera de Medio Mundo.

Figura 2.1. Usos del agua en el área de estudio



Elaboración propia

2.2.1. EFICIENCIA DE RIEGO

A través de la eficiencia de riego se puede evaluar la manera en que el agua para riego está siendo usada (Lecina et al., 2009, p. 19). Esta es definida por la FAO (1970, vol V) como “la proporción entre aquella cantidad de agua usada en evapotranspiración y la cantidad de agua entregada (p. 11). Para Bielsa y Duarte (2000), “es el cociente entre el agua necesaria y la que efectivamente se ha usado”. (p. 107). Por otro lado, Playán (1994) expresa la eficiencia del riego como “el porcentaje del agua suministrada a un cultivo que sirve para colmar sus necesidades”. (p. 104). Esta idea se representa con la siguiente ecuación en términos de volumen de agua, en la Figura 2.2.

Figura 2.2. Fórmula de la eficiencia de riego

$$\text{Eficiencia de riego} = \frac{\text{Necesidades hídricas de los cultivos}}{\text{agua suministrada a los cultivos}} \cdot 100$$

Fuente: Playán (1994, p. 104)

La eficiencia de riego se puede interpretar como una forma de cuantificar las pérdidas de agua desde la salida de esta hasta su aplicación al cultivo. Las pérdidas de

agua es la diferencia entre el requerimiento bruto y el requerimiento neto de riego (MINAG, 1987a, p. V-100).

La eficiencia de riego, a su vez, se descompone en tres eficiencias, cuyas denominaciones varían dependiendo del autor. Cabe mencionar que la eficiencia de riego es el producto de las tres eficiencias a ser señaladas (Playán, 1994, p. 106 y JUAH, 2017).

INRENA (2005a) usa términos más comúnmente utilizados en la actualidad: eficiencia de conducción, eficiencia de distribución y eficiencia de aplicación (p. 70); mientras que MINAG (1987a), integra a las eficiencias de distribución y de aplicación en la parcela en eficiencia de la unidad terciaria (p. V-100). Por otro lado, Playán (1994) denomina a estas eficiencias según el nivel de organización: eficiencia en parcela, eficiencia en comunidad de regantes y eficiencia en el canal principal (p. 105). Para este estudio se prefirió usar las denominaciones del INRENA (2005a).

La eficiencia de conducción refiere básicamente al “movimiento de agua a partir de su fuente a través de canales principales y laterales o canales secundarios o conductos a las tomas terciarias”. (MINAG, 1987a, p. V-100). Para MINAG (2004), “la eficiencia de conducción está dada por la relación entre la cantidad de agua que entra al canal o tramo de canal de derivación y la cantidad de agua que sale del canal o tramo del canal” (p, 13). Es decir, mientras mejor sea el estado del canal que conduce el agua la eficiencia de conducción será mayor. El ámbito espacial en donde aplicaría este tipo de eficiencia sería a nivel de sistema o distrito de riego.

Así también, MINAG (1987a) menciona que las principales pérdidas de agua en la red de conducción son las siguientes: por evaporación, por infiltración y por operación. La primera representa una pequeña parte de todas las pérdidas por conducción, se dan mayormente en canales abiertos. Las pérdidas por infiltración

dependen de muchos factores entre ellos, los más importantes son el revestimiento del canal y el tipo de suelo donde el canal es excavado, entre otros. Las pérdidas por operación ocurren mayormente donde predomina la distribución de agua; en otras palabras, en las partes bajas del sistema de riego (p. V-100).

La eficiencia de distribución es “el movimiento del agua a través de canales terciarios distribuidores y cuaternarios canales de parcela a la entrada del campo” (V-111). Para Grassi (1977), esta refiere a las “pérdidas que se pueden dar por fugas o malas prácticas en los canales de riego”. (Citado por Romero, 2004, p. 8). De acuerdo a esas definiciones, se entiende que la eficiencia de distribución es mayor cuando los canales principales y secundarios están revestidos con materiales que reducen las pérdidas de agua. A diferencia de la eficiencia por conducción, el ámbito espacial en donde aplicaría este tipo de eficiencia sería a nivel de predio y/o a partir de las tomas terciarias o canales laterales.

La eficiencia de aplicación, según Zocoler et al. (2004), es “un parámetro que cuantifica cuánto del agua aplicada es realmente utilizada”. (Citado por Flórez et al., 2013, p. 109). Es decir, hace referencia a las pérdidas de agua en las fincas o parcelas por el mal aprovechamiento del agua, el cual puede escurrir hacia los drenajes naturales o artificiales o percolar en el suelo (Grassi, 1977 citado por Romero, 2004, p. 8). Respecto a las pérdidas que afectan la eficiencia de aplicación MINAG (1987a) señala que,

“[...] son de tres clases: las pérdidas por escurrimiento, pérdidas por percolación profunda y pérdidas por operación: la primera es aquella que sale de los surcos o melgas fuera de la parcela hacia un desagüe (agua de cola), dren u otro lugar, la segunda es el agua que infiltra o percola debajo de la zona de raíces del cultivo (rizósfera) y la tercera es el agua que se pierde desde la acequia de riego y que en algunos casos va directo al dren, a los caminos, etc.”. (p. V-111)

Asimismo, la eficiencia de aplicación es variable de acuerdo a la topografía de la parcela, las características del suelo, del tipo de riego (gravedad, aspersión, goteo, etc.) y de los cultivos” (Pizarro, 1993 citado por Romero, 2004). Por ejemplo, la implementación del riego presurizado, como los sistemas de aspersión, micro aspersión, goteo y exhudación, pueden sobrepasar el 90% en eficiencias de aplicación; por el contrario en un sistema de riego tradicional o de gravedad, cuya distribución se hace por melgas, surcos, canales, acequias, etc, las eficiencias son significativamente bajas y no sobrepasan el 40% (MINAG, 2003).

Algunos factores o condicionantes que influyen en la eficiencia de riego según Eguren (2003) son: el estado de la infraestructura, la calidad de la gestión del recurso, la administración de los derechos del uso del agua y las técnicas de riego a nivel de finca. Estos tienen efectos significativos sobre la eficiencia en la región costeña del Perú.

Por otra parte, la FAO (1970, vol V), señala que la nivelación de la tierra a cultivarse influye significativamente en la aplicación uniforme del riego y, en consecuencia, en la eficiencia del riego (p. 7). Asimismo, la presencia de tanques y reservorios, de sistemas de distribución de agua y de artefactos especiales puede prevenir las pérdidas excesivas de agua en el sistema de riego y mejorar la eficiencia de riego (p. 41).

Por último, la administración de las irrigaciones (FAO, 1970, vol VII, p. 18) es quizás el factor más importante que tiene efectos directos sobre la eficiencia del riego. Así, el buen o el mal uso del agua para el riego recaen, en primera instancia, en la gestión del agua que realizan las Organizaciones de Usuarios.

2.3. HUMEDALES

Mitsch y Gossenslink (2000) afirman que los humedales, debido a su gran extensión geográfica y por la amplia variabilidad de condiciones hidrológicas que los sustentan, no tienen una definición universal, por dicho motivo los consideran ambientes que se encuentran en la interfase de ecosistemas terrestres y sistemas acuáticos.

La definición de la Convención Ramsar (1971) es la más utilizada en el medio académico, esta propone que “los humedales son extensiones de marismas, pantanos o turberas cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros”. (Art. 1.1).

Para efectos de esta investigación es coherente utilizar la definición propuesta en la Estrategia Nacional de Humedales, la cual fue aprobada en el año 1996 y actualizada en el año 2015, por Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM: “se define como humedales, a las extensiones o superficies cubiertas o saturadas de agua, bajo un régimen hídrico natural o artificial, permanente o temporal, dulce, salobre o salado, y que albergan comunidades biológicas características, que proveen servicios ecosistémicos”. (MINAM, 2015c, p. 10). Si bien las definiciones anteriores son bastante amplias, todas coinciden en que “los humedales son intermediarios entre el agua y la tierra, es decir, se trata de ecosistemas con características de gradiente entre ambos medios”. (Wetzel, 2001 citado por Mellado, 2008, p. 9)

Asimismo, el área abarcada por los humedales en el planeta es una proporción considerable. Según Ramsar (2010), el total se ha estimado en 1280 millones de

hectáreas (aproximadamente el 9% de la superficie de tierra), estimación que se considera insuficiente.

2.3.1. CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES

El sistema de clasificación de los humedales propuesto por Ramsar identifica cuarenta y dos tipos de humedales, agrupados en tres categorías “marinos y costeros”, “continentales” y “artificiales” (Ramsar, 2006). Sin embargo, a nivel mundial se reconocen seis clases de humedales principales, según el tipo de cuerpo de agua con el que se relacionan (Ramsar, 2007 y DIDP, 2014), estos son:

- **Marino-costeros:** aquellos humedales relacionados principalmente a la presencia de agua marina y las zonas intermareales. Ejemplo: humedales costeros, lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral.
- **Estuarinos:** son humedales conectados a la desembocadura de ríos, por lo que contienen aguas salobres. Ejemplo: deltas, marismas de marea y manglares.
- **Lacustres:** son humedales relacionados a lagunas naturales de aguas dulces, saladas o salobres.
- **Ribereños:** aquellos humedales adyacentes a ríos y arroyos.
- **Palustres:** humedales relacionados a zonas pantanosas. Ejemplo: marismas, pantanos y ciénagas.
- **Artificiales:** son reservorios de agua construidos por las sociedades humanas. Ejemplo: estanques de cría de peces y camarones, estanques de granjas, tierras agrícolas de regadío, depresiones inundadas salinas, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales.

En la Estrategia Nacional de Humedales se ha aprobado una nueva de clasificación de humedales, la cual se divide en tres grandes grupos por regiones del país:

- **Humedales costeros:** manglares, estuarios, albuferas, deltas, oasis, pantanos.

- **Humedales andinos:** lagos, lagunas, bofedales, manantiales, puquios, turberas, humedales de páramos, kársticos andinos.
- **Humedales amazónicos:** lagos y lagunas amazónicas, complejo de orillales, kársticos amazónicos, pantanos amazónicos (aguajales, renacales, pungales, pantanos mixtos de palmeras, pantanos herbáceos, pantanos arbustivos), bosques de tahuampa, sabana inundable de palmeras, varillales húmedos.

En síntesis, los humedales en el Perú se presentan como lagunas costeras, bahías someras, manglares, ríos de caudal irregular de la vertiente del Pacífico y del Atlántico, bofedales, lagos y ríos altoandinos, ríos de la vertiente del Atlántico, tierras bajas inundables y lagunas o cochas que constituyen los humedales de la región selvática o tropical (Acuy y Pulido, 2007, p. 11).

2.3.2. HUMEDALES DE LA COSTA PERUANA

Se han reconocido en total noventa y dos humedales costeros en el Perú, de los cuales cincuenta y seis son naturales, once artificiales, catorce están en desembocaduras de río y once (no se tiene mucha certeza) están extintos (ProNaturaleza, 2010, p. 34 y Jiménez, 2010). La extensión total de los humedales costeros en el Perú, según la Estrategia Nacional de Humedales (2015), es de 12 173 ha (MINAM, 2015c, p. 11).

Según Moschella (2012), ProNaturaleza (2010) y Mundo Azul (2005), a lo largo de la costa peruana predomina la formación de humedales lacustres y estuarinos. Asimismo, existen humedales marino-costeros que se diferencian de los anteriores por presentar muy poca vegetación.

Por otro lado, de los trece Sitios Ramsar (ver Tabla 2.1); es decir, aquellos humedales considerados de importancia internacional en el Perú, que ocupan un total de 6 784 042 ha (DIDP, 2014, p. 6), cinco se ubican en la costa peruana. De estos dos

constituyen humedales costeros lacustres: Pantanos de Villa y Lagunas de Mejía, ubicados en los departamentos de Lima y Arequipa (Moschella, 2012, p. 28).

Tabla 2.1. Los trece Sitios Ramsar del Perú

REGIÓN	SITIO RAMSAR	FECHA DE CREACIÓN	DPTO.	EXTENSIÓN (ha)
Costa	Santuario Nacional Lagunas de Mejía	30/03/1992	Arequipa	691
	Reserva Nacional de Paracas	30/03/1992	Ica	335 000
	Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes	20/01/1997	Tumbes	2972
	Manglares de San Pedro de Vice	12/06/2008	Piura	3399
	Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa	20/01/1997	Lima	263
Sierra	Laguna del Indio-Dique de los Españoles	28/10/2003	Arequipa	502
	Bofedales y Laguna de Salinas	28/10/2003	Arequipa	17 757
	Humedal Lucre-Huacarplay	23/09/2006	Cusco	1979
	Lago Titicaca (sector peruano)	20/01/1997	Puno	460 000
	Lagunas Las Arreviatadas	15/07/2007	Cajamarca	1250
	Reserva Nacional de Junín	20/01/1997	Junín/Pasco	53 000
	Complejo de humedales del Abanico del río Pastaza	05/06/2002	Loreto	3 827 329
Selva	Reserva Nacional Pacaya Samiria	30/03/1992	Loreto	2 080 000

Elaboración propia. Fuente: Ramsar, 2017 y SERNANP, 2010

Con relación al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), este incluye a cinco humedales costeros de tipo laguna, un humedal costero de tipo manglar y uno de tipo marino-costero (Ver Tabla 2.2). La mayoría de estos tipos de humedales se concentran en el departamento de Lima (SERNANP, 2012).

Tabla 2.2. Humedales del Perú como ANPs

TIPO DE HUMEDAL	ANP	FECHA DE CREACIÓN	DPTO.	EXTENSIÓN (ha)
Lacustre	Santuario Nacional Lagunas de Mejía	24/02/1984	Arequipa	690.6
	Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa	01/09/2006	Lima	253.27
	Zona Reservada Humedales de Puerto Viejo	31/01/2008	Lima	275.81
	ACR Humedales de Ventanilla	19/12/2006	Lima	275.45
	ACR Albufera de Medio Mundo	24/01/2007	Lima	687.71
Estuarino	Santuario Nacional Manglares de Tumbes	02/03/1988	Tumbes	2 973 352
Marino-costero	Reserva Nacional de Paracas	25/09/1975	Ica	335 000

Elaboración Propia. Fuente: SERNANP, 2012 y Moschella, 2012

Los únicos dos humedales costeros de la región central (departamento Lima) que no son ANPs son: los humedales Paraíso y Santa Rosa (Castillo, 2010).

2.3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS HUMEDALES COSTEROS

Según la clasificación climática de Köppen (1990), el clima en la costa se divide en dos tipos: el clima cálido muy seco (árido tropical) hacia el norte del Perú y el clima semicálido muy seco (árido subtropical) hacia el centro y sur de la costa peruana. El clima cálido muy seco se caracteriza por tener una temperatura media anual de 24°C y una precipitación media anual entre los 25 y 100 mm; mientras que el clima semicálido muy seco presenta una temperatura promedio anual entre los 18°C y 20°C y una precipitación media anual de 0 a 50 mm. Por otro lado, la Corriente Peruana (o de Humboldt) genera que las zonas centro y sur de la costa peruana se cubran por un manto de nubes entre los meses de mayo a diciembre, meses de invierno. Por tal razón en dicha época se presenta una mayor humedad y una tenue garúa

Con respecto al relieve, el territorio comprendido desde la línea de litoral hasta los 500 msnm es poco accidentado donde predominan las llanuras desérticas. El ancho de la costa desde el sur hacia el norte es diferenciado, hacia el sur la franja puede llegar a los 40 km; mientras que hacia el norte, en el departamento de Piura, alcanza mayor amplitud, pudiendo alcanzar un ancho de 200 km. Algunas formas del relieve son las acantilados, colinas, cerros, planicies y playas (MINAM, 2010 y Moschella, 2012, p. 22).

Las llanuras costeras en el Perú son ambientes propicios para el desarrollo de humedales, en su mayoría de tipo estuarios y lacustres con aguas dulces o salobres. Por dicho motivo, es común encontrar en la costa del Perú humedales aledaños a la desembocadura de los ríos e irrigaciones costeras que, a través de los flujos superficiales y subterráneos de agua, permiten luego el afloramiento hacia las zonas de humedales (Moschella, 2012, p. 10 y Barrera, 2011).

Por otro lado, en algunos humedales litorales, la dinámica litoral y la deriva litoral, acción del oleaje, mareas y cambios en el nivel del mar, son determinantes para sus sostenibilidad, pues controlan la formación del cordón arenoso que separa la zona húmeda del mar y la relación entre agua dulce y salada (Viñals, Blasco y Morant, 2011, p. 9).

2.3.4. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE HUMEDALES COSTEROS

Los humedales son ecosistemas considerados como los más productivos del mundo no solo en lo económico, sino también en el ámbito biológico (IUCN et al., 1991). La tasa de producción primaria y secundaria de los humedales es una de las más elevadas de los ecosistemas naturales, lo cual conduce a una alta biomasa de aves y mamíferos, así como a una gran proliferación de peces, de gran valor comercial (Yañez-Arancibia, 1986 citado por Burgos, 2011, p. 5).

El Estado peruano, mediante la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, establece los humedales como ecosistemas frágiles y reconoce su importancia como hábitat de especies de flora y fauna; asimismo prioriza la conservación de estas en relación con otros usos (art. 99). La importancia local de todos los humedales de la costa peruana trasciende debido a que están integrados a través de la formación de corredores biológicos a nivel regional, nacional e internacional, vinculando sus territorios a través de su flora y fauna (PROCOMHCC, 2007).

Con relación a la flora de los humedales costeros hacia la zona norte de la costa peruana predomina la formación de manglares, característicos de los humedales intermareales en estuarios. En ellos, hay abundancia de especies arbóreas, principalmente de cuatro especies de mangle (Moschella, 2012, p. 22).

En la costa central del Perú, específicamente en el departamento de Lima, Aponte y Cano (2013), han realizado un compendio de la flora de los seis humedales de la costa de Lima: Pantanos de Villa, Albúfera de Medio Mundo, Santa Rosa, El Paraíso, Ventanilla y Puerto Viejo. Registraron un total de 123 especies, dos de las cuales son nuevos registros, en comparación con antiguos registros (años 90), para el compendio de flora de estos humedales (p. 15).

Esto demuestra que los ecosistemas estudiados son un foco importante de diversidad florística en el desierto costero de Lima. Asimismo, se encontró un alto porcentaje de plantas invasoras (52% del total) y la pérdida de especies nativas en las localidades estudiadas históricamente, lo cual refleja la perturbación que existe en estos ambientes (Aponte y Cano, 2013, p. 22).

Dos especies de las formaciones vegetales predominantes en los humedales de la costa peruana son *Schoenoplectus americanus* (junco) y *Typha domingensis* (totora). Como parte de la actividad productiva de los pobladores locales, estas plantas son

extraídas principalmente para la elaboración de artesanías y fabricación de canastas, petates, sombreros, (Aponete et al., 2014) y pequeñas embarcaciones como es el caso del “caballito de totora”.

Los humedales son ambientes trascendentales para el desarrollo del circuito natural de migración de aves que emigran desde el Hemisferio Norte. Este circuito de humedales es también reconocido como el Corredor Biológico del Pacífico (Viceministerio de Patrimonio Cultural e Industrias Culturales, 2015). Estas aves migratorias son en su mayoría neotropicales y neárticas (Bala, 2007, p. 25 y Moschella, 2012, p. 24). Debido a su alta productividad, los humedales brindan refugio a la vida silvestre y alimento a las aves hasta su próxima migración. Asimismo, los humedales no son sólo ecosistemas importantes para las aves migratorias, sino también para las residentes (Torres et al., 2006 citado por Iannacone et al., 2010, p. 296).

Entre las aves migratorias, hay una mayor abundancia de especies de las familias *Scolopacidae* y *Charadriidae*. Estas aves son consideradas muy vulnerables debido a “sus migraciones de larga distancia y su tendencia a concentrarse en grandes números en determinados humedales”. (ProNaturaleza, 2010, p. 27)

Por otro lado, las especies de aves también pueden estar agrupadas por tipo de ambiente o zona dentro de los humedales costeros como las aguas libres, totorales, praderas pantanosas y lagunas salobres (Brack y Mendiola, 2000, p. 162). (Ver Anexo 1).

Finalmente, los humedales costeros son ecosistemas que sirven de hábitat para la fauna acuática como peces, anfibios, crustáceos, insectos; además de roedores en praderas y totorales (Moschella, 2012, p. 25).

2.3.5. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS HUMEDALES COSTEROS

Los humedales son considerados los ambientes más productivos del mundo, pues generan una amplia gama de beneficios, que desde el punto de vista antropocéntrico, van desde lo netamente económico, como el uso directo del agua (para abastecimiento residencial, agrícola, minero, industrial, producción de energía y acuicultura, entre otros), madera, recursos energéticos, recursos de vida silvestre, transporte; hasta sus usos indirectos, por ejemplo, en recreación y turismo, educación, actividades deportivas; además de beneficios no económicos como elementos culturales; es decir, el disfrute ético, estético (importancia paisajística) y místico (CONAF, 2010 y Castillo, 2010).

Por otro lado, más allá de los servicios de aprovisionamiento y culturales (EM, 2005); es decir, de los beneficios económicos y no económicos que los humedales ofrecen a la sociedad, estos también proveen otro tipo de servicios ecosistémicos como los servicios de apoyo y regulación, los cuales tienen un impacto en la sociedad y en el ambiente. Cabe mencionar que, en el contexto de la Convención de Ramsar, los “servicios de los ecosistemas” hacen referencia a productos, funciones y atributos de los ecosistemas según se define en la Resolución VI.1 (DIDP, 2014, p. 4).

Los servicios de apoyo, también denominados servicio de soporte o base, son aquellos que permiten el funcionamiento de los otros servicios ecosistémicos (MINAM, 2015b); entre ellos están los procesos de reciclaje de los nutrientes (nitrógeno, fósforo y carbono) y la formación de suelos. Entre los servicios de regulación que los humedales brindan figuran: la regulación del ciclo hídrico; es decir, el almacenamiento de agua en los procesos de recarga y descarga de acuíferos, así como la regulación de las aguas subterráneas que impide la intrusión marina o de aguas saladas en el subsuelo. Por otro lado, los humedales pueden contribuir con la fijación de sedimentos, lo cual

favorece a la remoción de nutrientes y tóxicos, de manera que también retienen contaminantes y purifican el agua.

Por último, los humedales costeros también tienen como servicios a la protección de costas y control de la erosión, estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente lluvia y temperatura; y protección contra tormentas e inundaciones (Castillo, 2010 y Mostacero et al., 2008)

2.3.6. CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES COSTEROS DEL PERÚ

La Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) es un tratado intergubernamental cuya misión es “la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo”. (Ramsar, 2010, p. 1)

En enero del año 2013, 163 naciones estuvieron adheridas a la Convención como Partes Contratantes y había más de 2060 humedales de todo el mundo, con una superficie mayor de 197 millones de hectáreas, designados para su inclusión en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar (Ramsar, 2013, p.6). Dicha convención puede considerarse históricamente como el primer tratado ambiental con mayor acogida en la comunidad internacional (Pastrana-Buelvas y Pacheco-Restrepo, 2010, p. 577).

El Estado peruano es parte signataria del referido acuerdo desde el 30 de marzo de 1992, considerando a 13 Sitios Ramsar como humedales de Importancia Internacional (SERNANP, 2013). Los criterios utilizados para declarar la importancia del sitio están relacionados a la representatividad, rareza, unicidad y diversidad biológica (Madrigal, 2014, p. 3). Sin embargo, la Convención Ramsar por sí sola no constituye un marco legal de protección suficiente para los humedales en el Perú, pues

las disposiciones para lograr dicha protección sólo aplican a aquellos humedales de importancia internacional. No obstante, en los últimos años, diversas instituciones estatales, privadas y la sociedad civil vienen promoviendo el reconocimiento y la revaloración de todos los humedales a nivel nacional, así como su conservación y el uso racional de sus recursos.

El Perú fue el primer país en América Latina en contar con un documento de política orientado a la gestión y protección de estos ecosistemas: la Estrategia Nacional para la Conservación de Humedales en el Perú, aprobada mediante Resolución Jefatural N° 054-96-INRENA. Esta tuvo como objetivo prevenir, reducir y mitigar la degradación de los ecosistemas de humedales en el país, así como promover su conservación orientados a obtener beneficios ecológicos, sociales, económicos, culturales y espirituales como aporte al desarrollo integral del Perú (WCS Perú, 2015).

En el año 2013 se creó el Comité Nacional de Humedales mediante el Decreto Supremo N° 005-2013-PCM, que es una comisión multisectorial permanente, adscrita al Ministerio del Ambiente (MINAM), que tiene como objetivo promover la gestión adecuada de los humedales a nivel nacional, realizar el seguimiento a la implementación de los compromisos derivados de la Convención Ramsar (WCS Perú, 2015) y monitorear la aplicación de la Estrategia Nacional para la Conservación de Humedales en el Perú.

Luego de diecinueve años, el MINAM emitió el Decreto Supremo N° 004-2015, el cual aprobó la actualización de la Estrategia Nacional de Humedales, un documento que tiene como fin promover la conservación de los mencionados ecosistemas de nuestro país. La norma derogó también la Resolución Jefatural N° 054-96-INRENA, con el objetivo de “contar con un instrumento acorde con los nuevos retos de la gestión de la biodiversidad biológica en los ecosistemas de humedales, en beneficio de los pueblos

indígenas, poblaciones locales y, en general, del país”. (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM).

En cuanto al rol de los Gobiernos Regionales debe resaltarse que si bien la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, Ley N° 27867 aprobada en el año 2002, no menciona expresamente el término ecosistema o humedal, sí les otorga a los Gobiernos Regionales funciones en materia ambiental y de Ordenamiento Territorial (art. 53) que les permiten implementar medidas para la conservación y protección de humedales, como por ejemplo, las propuestas de Áreas de Conservación Regional (ACRs) (WCS Perú, 2015) como es el caso de la Albufera de Medio Mundo.

Si bien existe el interés por la protección de los humedales, son muchas las amenazas que persisten actualmente hacia los humedales en el Perú. En su mayoría son amenazas de origen antrópico, como el desecado para la ampliación de la agricultura, los procesos de urbanización no planificados y el uso de estos como depósitos de desechos urbanos y rurales. Asimismo, los humedales con alguna categoría de protección son muy escasos y en la mayoría de casos, no satisfacen las necesidades de conservación de las aves residentes y migratorias (ProNaturaleza, 2010 citado por Madrigal, 2014, p. 6).

2.3.7. RELACIÓN CICLO HIDROLÓGICO-HUMEDALES

Para conocer la importancia del rol que cumplen los humedales en el ciclo hidrológico es importante conceptualizar el fenómeno en sí mismo. El ciclo hidrológico, según Novoa (2011) es “la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación”. (p. 10). Involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, el transporte permanente se fundamenta por el sol

(evaporación) y gravedad (precipitación y escurrimiento) (Chereque, 1989 citado por Novoa, 2011, p. 10). Este transporte permanente del agua indica que el volumen total del ciclo hidrológico global permanece esencialmente constante; no obstante, existe un cambio continuo en la distribución de agua en continentes, regiones y cuencas locales de drenaje (Barrera, 2011, p. 22).

Los humedales, en del ciclo hidrológico, tienen un rol importante en el mantenimiento de la calidad ambiental y la regulación de las cuencas hidrográficas, los estuarios y las aguas costeras, pues desarrollan funciones de mitigación de impactos por inundaciones y absorción de contaminantes, asimismo proveen hábitats para animales y plantas (MinAmbiente, 2001 citado por Núñez et al., 2009, p. 309). Las condiciones hidrológicas afectan a numerosos factores abióticos, incluyendo la disponibilidad de nutrientes, la anaerobiosis del suelo y la salinidad, tanto en humedales costeros como continentales, los que a su vez determinan la biota incluyendo su biodiversidad (EM, 2005).

Según el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA):

“el patrón hidrológico de la cuenca es el principal factor forzante para los humedales y por ello, diferencias en magnitud, frecuencia y duración del caudal generan una variedad de respuestas dentro de este. Por ende, los humedales son un reflejo de las condiciones ambientales presentes en la cuenca hidrológica, donde los aportes directos (ej. ríos), difusos (ej. escorrentía) afectan su comportamiento”. (2011, p. 26)

Así pues, debido a esta interrelación de los humedales con el ciclo hidrológico, cualquier actividad humana realizada no sólo sobre estos ecosistemas, sino también en el perímetro más extenso de la cuenca de captación puede tener impactos negativos en

los humedales (Ramsar, 2004), de ahí también que los humedales se consideren como ecosistemas frágiles².

Cualquier modificación antrópica del régimen hidrológico, a través de la extracción de aguas (incluidas aguas subterráneas) o alterando flujos, puede tener consecuencias negativas en la integridad de los ecosistemas de humedales. La llegada de un volumen insuficiente de agua a los humedales, debido a extracciones, almacenamiento o desvío de aguas para abastecimiento público, la agricultura, la industria y energía hidroeléctrica, es una importante causa de pérdida y degradación de humedales (Ramsar, 2004).

Es por ello la importancia de mantener el régimen hidrológico de un humedal y su variabilidad natural con el objetivo de preservar las características ecológicas de los mismos y los servicios ecosistémicos que estos proveen, en beneficios del ambiente y la sociedad.

2.4. ANÁLISIS DE HUMEDALES DESDE LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL

El trabajo más importante, en donde se demuestra parte de la metodología a seguir para el análisis de imágenes satelitales, es el de Xu (2006), quien modifica el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI, por sus siglas en inglés) creado por McFeeters (1996) y lo denomina Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado (MNDWI, por sus siglas en inglés). Este índice se utilizará en la investigación para identificar los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo y para determinar sus áreas en el período de estudio.

² Los ecosistemas frágiles son aquellos “ecosistemas con características o recursos singulares con baja resiliencia e inestable ante eventos impactantes de naturaleza antropogénica, que producen en el mismo, una profunda alteración en su estructura y composición”. (MINAM, 2015a)

En el estudio de Carreño, Pardo, Esteve y Martínez (2007) titulado “Dinámica de hábitats de los humedales litorales de la laguna del Mar Menor (Murcia, SE de España) asociada a los cambios en el régimen hidrológico de su cuenca drenante” se realizó un estudio temporal y espacial utilizando una potente herramienta, la teledetección espacial, que según estos autores, es ampliamente utilizada para la realización de inventarios en humedales, la localización de cuerpos de agua superficiales, la realización de mapas de usos y coberturas de suelo y vegetación y detección de cambios. Una de las técnicas de la teledetección espacial utilizadas en dicho estudio fue el análisis multitemporal de imágenes satelitales, método a usarse también en este estudio.

Por otro lado, Moschella (2012) realizó en su tesis magistral de Geografía un análisis multitemporal con imágenes satelitales Landsat 5 y 7 y fotografías aéreas, a través del uso de los SIG (teledetección y fotointerpretación). La metodología que ella usa para la determinación del área de los humedales y expansión urbana para las fotografías aéreas es el de la delimitación manual, el cual también se aplicará en esta investigación con las fotografías aéreas de los años 1945, 1966 y 1971.

Por otra parte, Barrera (2011) presentó su tesis de licenciatura de Geografía sobre el análisis hídrico y las condiciones de un humedal en Chile. Este autor, además de hacer una ardua descripción sobre los humedales y presentar la metodología del análisis de multitemporal, a través del trabajo con imágenes satelitales Landsat, presenta conceptos y explica cada uno de los elementos utilizados para el análisis espacial, todos relacionados a la teledetección. Por último, el trabajo de García et al. (2006) puede servir para complementar la metodología anterior, pues también fue aplicada en un contexto similar y fue válida.

2.5. INVESTIGACIONES SOBRE LA INFLUENCIA DE LAS IRRIGACIONES AGRÍCOLAS EN LOS HUMEDALES

El Dr. Emilio Custodio, especialista español en hidrología subterránea e hidrogeología, a través de “Aguas subterráneas y humedales” (2001), aporta con un vasto conjunto de conocimientos referente a la relación entre el agua subterránea y humedales costeros, tema de interés en esta investigación, ya que los retornos del riego agrícola en San Felipe constituyen al agua subterránea. Considerar esta fuente fue de gran utilidad pues aclara conceptos importantes que facilitan el entendimiento del funcionamiento hidrogeológico e hidrológico de los humedales costeros. Si bien este funcionamiento es variable según las diversas características físicas de los humedales, se repiten ciertos patrones para la mayoría de humedales costeros dependientes del agua subterránea, como la Albufera de Medio Mundo.

Por otra parte, Custodio (2010) realiza otra publicación llamada “Las Aguas Subterráneas como elemento básico de la existencia de numerosos humedales” en donde informa la importancia sobre la gestión hídrica y territorial para orientar por un mejor camino el uso del agua subterránea que es interferido, por un lado para la conservación de los humedales y con ellos sus servicios ecosistémicos y, por el otro lado, por los usos humanos, como por ejemplo el uso del agua para el riego agrícola.

Santos y Peña (2016) elaboraron el “Modelo Hidrogeológico de las Albuferas de Medio Mundo, Sector Huaura”. Este artículo es de mucha utilidad para esta investigación, pues describe la hidrogeología del acuífero de la intercuenca San Felipe-Medio Mundo, para finalmente elaborar un modelo hidrogeológico, en el cual se evidencia la dirección predominante del flujo subterráneo del agua que finalmente aflora en forma de manantiales y alimenta a la Albufera de Medio Mundo. Es una

fuente importante para facilitar la comprensión de los procesos hidrológicos que suceden en el área de estudio, lo cual es requisito para identificar relaciones.

Como ya se mencionó en el acápite anterior, Carreño et al. (2007) realizaron un interesante estudio localizado en Murcia (España) en donde se correlacionó la superficie de regadío en el Campo de Cartagena con la variación de la superficie hídrica de los humedales de la laguna del Mar Menor y la variación de los hábitats en estos ecosistemas.

Entre los resultados más importantes del estudio se encontró una relación muy significativa entre la evolución del regadío en la cuenca con un retardo de 5 años y la superficie global de saladar y carrizal. Según los autores citados, dicho resultado refuerza la importancia y la influencia de los drenajes subsuperficiales procedentes del regadío en la variación de las superficies de los hábitats del humedal.

Este estudio revela que el subsiguiente incremento de los drenajes agrícolas, parece ser la causa determinante de los cambios observados en los humedales. Esta posición es similar a la hipótesis de la investigación, cuya área de estudio considera sólo a un humedal y a una superficie agrícola bajo riego. Por otro lado, es pertinente para la investigación pues utiliza una metodología y variables similares a las de este estudio.

“The Creation and Maintenance of Wetland Ecosystems from Irrigation Canal and Reservoir Seepage in a Semi-Arid Landscape” (Sueltenfuss et al., 2013) es un estudio que tuvo como objetivo principal identificar los procesos hidrológicos que interrelacionan los reservorios y canales de irrigación con los humedales. Para ello se mapeó a los humedales dentro del área de influencia de una irrigación agrícola en Colorado, se midió los niveles de agua subterránea y se correlacionó la composición vegetal de los humedales con algunas variables ambientales para identificar los tipos

de humedales que dependen del agua proveniente de las fugas de los canales y estructuras de almacenamiento del riego agrícola.

Dentro de los resultados más importantes de dicho estudio está que el 92% de humedales se conectaba con la infraestructura de irrigación; la composición de la vegetación de los humedales estaba relacionada con la salinidad del suelo y la profundidad del agua subterránea; y se demuestra que la conversión del suelo agrícola y las desviaciones del agua han generado dramáticas reducciones en el área histórica de los humedales en algunos lugares. La conclusión de este estudio es relevante para esta investigación pues comparte la idea principal de esta investigación: la creación de humedales a partir de muchos actuales paisajes agrícolas y la dependencia de estos ecosistemas de las irrigaciones.

Otro estudio sobre la relación entre las irrigaciones agrícolas y los ecosistemas de humedales es “The Effects of Agricultural Irrigation on Wetland Ecosystems in Developing Countries: A Literature Review” (Galbraith et al., 2005). Resulta pertinente para esta investigación que se evalúe la literatura en relación con la información existente sobre los humedales e irrigaciones agrícolas, teniendo como resultado la escasez de estudios que integren ambos. Se desarrolla una premisa que también acompaña esta investigación: la posibilidad de la coexistencia e integración de las irrigaciones con los humedales. Buen ejemplo de ello es la investigación de Lankford y Franks (2000), en donde se afirma que la coexistencia entre los humedales y las irrigaciones de arroz es posible en ciertas partes de Tanzania, a través de la planificación agrícola. Esta comprende y se adapta a la variación espacio-temporal de las necesidades hídricas de los humedales. Por ejemplo, según las estaciones húmedas y secas, la dotación de agua para riego varía de tal manera que mantenga los ecosistemas de humedales.

Finalmente, se dan una serie de recomendaciones útiles para los países en vías de desarrollo, con el propósito de servir como futuras estrategias alternativas para la implementación de las irrigaciones agrícolas en entornos cercanos a los humedales. Entre las recomendaciones está la cuantificación de los recursos naturales y efectos ambientales en los humedales desde antes de la implementación de los proyectos de irrigación agrícola hasta después de que hayan finalizado; ello con el propósito de minimizar un potencial impacto ambiental negativo.



CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se abordará la descripción del área de estudio, la cual incluye a la Albufera de Medio Mundo y a la zona de irrigación San Felipe. Se mencionará y espacializará la localización política y geográfica de dicha área. Asimismo, se presentarán las características físico-químicas y biológicas de la Albufera de Medio Mundo; se caracterizará algunos aspectos pertinentes de la Cuenca del río Huaura; se describirá la geología y geomorfología de San Felipe y; por último, se mostrarán datos demográficos referentes a las tasas de crecimiento a nivel del distrito de Végueta y Centro Poblado (CP.) Medio Mundo.

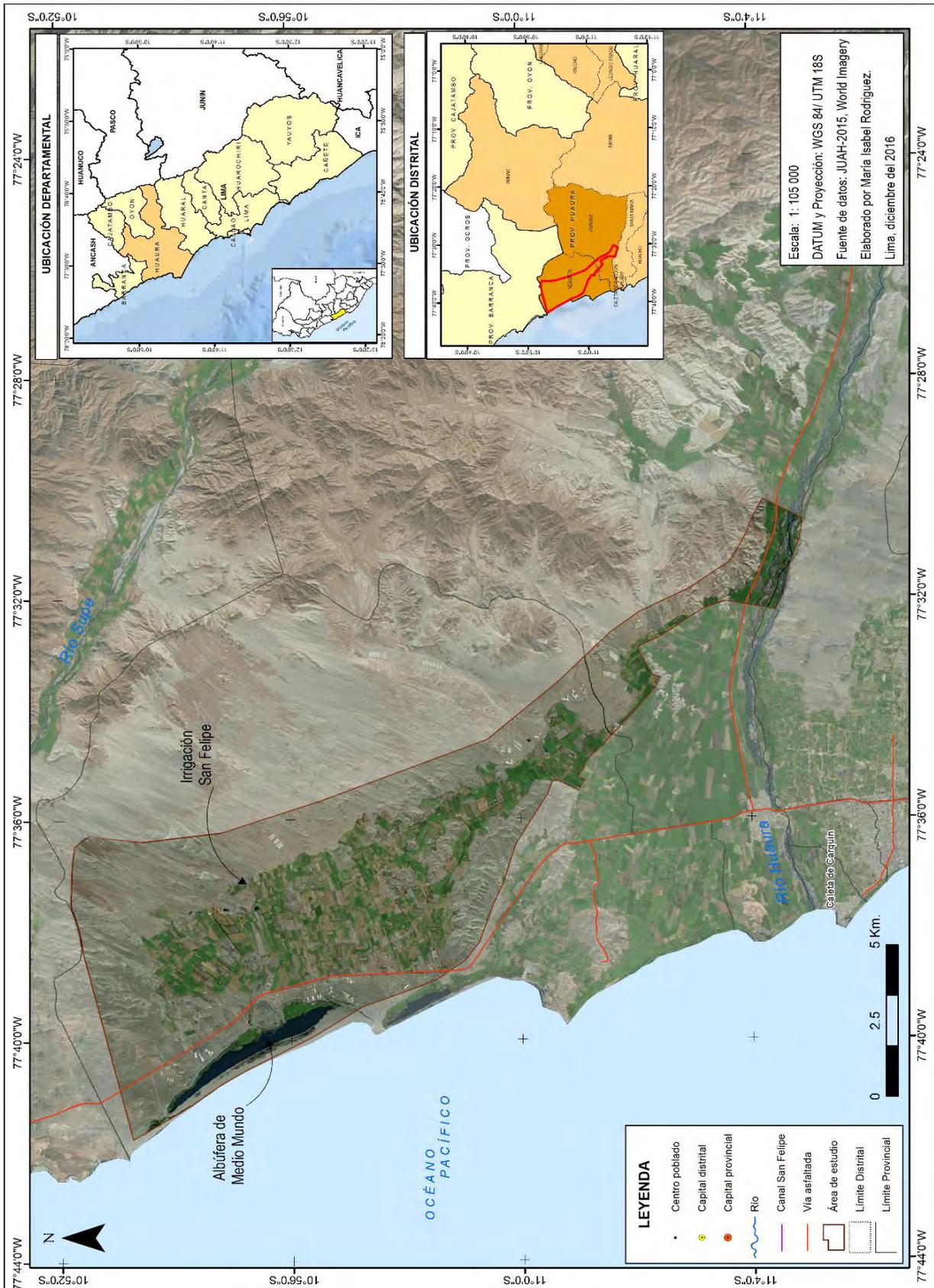
3.1. UBICACIÓN

3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

La ubicación política de la Albufera de Medio Mundo es el distrito de Végueta, provincia de Huaura, departamento de Lima. Esta ubicación también le corresponde a casi la totalidad de la irrigación San Felipe, que se ubica a unos 10 km al norte de la ciudad de Huacho y lo cruza la carretera Panamericana Norte. El extremo sur de esta irrigación se ubica en el distrito de Huaura. Este distrito es colindante con el distrito de Végueta, que limita por el norte y noreste con el distrito de Supe (provincia de Barranca), hacia el sureste y sur con el distrito de Huaura y hacia el oeste con el Océano Pacífico (Ver Mapa 3.1).

Según la Municipalidad Provincial de Huaura (MPH, 2009), el distrito de Végueta fue creado el 23 de agosto de 1920 por la Ley Regional N° 273 y tiene un territorio de 253.70 km² (p. 42). Por otro lado, el 23 de abril del año 1965, la Ley N° 15515 fijó sus límites, siendo su capital la ciudad de Végueta (Rodríguez, 2014, p. 5).

Mapa 3.1. Ubicación política del área de estudio



3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

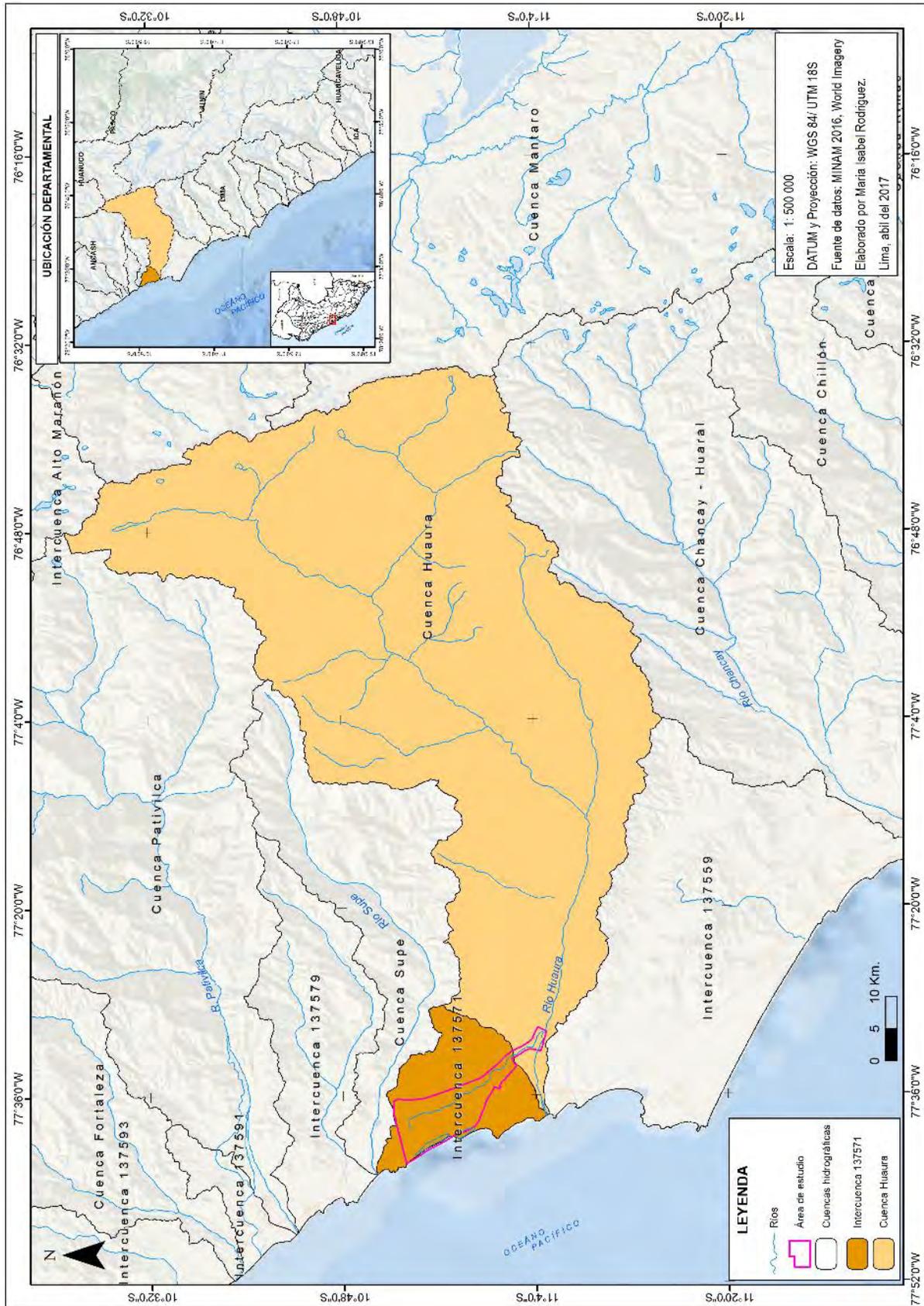
El área de estudio comprende la Albufera de Medio Mundo, con coordenadas 10°53'34" a 10°56'49" latitud sur; 77°39'15" a 77°41'19" longitud oeste, y la zona de irrigación San Felipe, con coordenadas 10°51'52" a 11°04'46" latitud sur; 77°30'35" a 77°38'44" longitud oeste. Este último se encuentra en la margen derecha del río Huaura.

Actualmente, la ubicación geográfica de casi la totalidad del área de estudio es la Intercuenca Hidrográfica 137571, localizada entre la cuenca del río Supe por el norte y la del río Huaura por el sur (Ver Mapa 3.2). Según Santos y Peña, dicha intercuenca forma parte del valle de la cuenca del río Huaura (2016, p.1). Esta intercuenca es conocida por ALA-Huaura (2010) como Intercuenca San Felipe-Medio Mundo.

Esta ubicación corresponde a una moderna delimitación, codificación y clasificación de cuencas hidrográficas en el Perú implementado por el INRENA oficialmente a partir del año 2008, según la Resolución Ministerial N° 033-2008-AG, del 5 de enero de ese año.

Es relevante mencionar que antes del año 2008, la ubicación geográfica del área de estudio era la Cuenca del río Huaura, el cual seguía la clasificación de cuencas realizada por la Oficina Nacional de Recursos Naturales (ONERN) en 1984. En ese entonces dicha delimitación de cuencas hidrográficas sirvió de marco de referencia y localización geográfica para las diferentes instituciones públicas y fue aquella que se usó para diversos estudios e informes técnicos, algunos de los cuales se usaron como bibliografía para esta investigación.

Mapa 3.2. Ubicación geográfica del área de estudio



3.2. LA CUENCA DEL RÍO HUAURA

La irrigación San Felipe se alimenta de las aguas de la cuenca del río Huaura, por dicho motivo se realizará una breve caracterización de esta cuenca. Asimismo, se explicarán algunos aspectos generales y relevantes para la investigación y se pondrá cierto énfasis en la caracterización de la cuenca baja del río Huaura, en torno al clima, geomorfología, actividad agrícola y gestión del agua para riego. De esta manera se delimita la información con mayor pertinencia para el ámbito de estudio.

3.2.1. LOCALIZACIÓN

Según ALA-Huaura (2010), la cuenca del río Huaura se localiza en la costa central del Perú, a 148 km al norte de la ciudad de Lima. Pertenece al sistema hidrográfico de la vertiente del Océano Pacífico y se encuentra ubicada entre los paralelos 10°27' y 11° 13' latitud sur y meridianos 76° 32' y 77° 49' longitud oeste.

La cuenca del río Huaura tiene sus límites con las siguientes cuencas:

- Por el norte: Cuenca Supe, Cuenca Pativilca.
- Por el este: Intercuenca Alto Marañón V, Intercuenca Alto Huallaga, Cuenca Mantaro.
- Por el sur: Cuenca Chancay-Huaral
- Por el oeste: el Océano Pacífico

Políticamente, la cuenca del río Huaura abarca las provincias de Huaura, Huaral y Oyón, pertenecientes al departamento de Lima; así como una totalidad de 19 distritos distribuidos, según la configuración fisiográfica y altitud de la cuenca, en tres zonas: cuenca baja, cuenca media y alta.

Según la JUAH (2014), los distritos de Carquín, Huaura, Santa María, Hualmay, Huacho y Végueta pertenecen a la provincia de Huaura y se ubican en la cuenca baja.

Por otro lado, los distritos Ámbar, Sayán, Santa Leonor, Checras, Paccho y Leoncio Prado pertenecen a la misma provincia y se ubican en la cuenca media. Los otros seis distritos que se ubican en la cuenca baja y pertenecen a la provincia de Oyón son: Oyón, Pachangara, Andajes, Caujul, Navan y Cochamarca. Finalmente, en la cuenca alta se ubica el distrito de Ihuari que pertenece a la provincia de Huaral.

3.2.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Según la ALA-Huaura, la cuenca del río Huaura presenta un área de drenaje total, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, de 4333 km², mientras que la intercuenca San Felipe-Medio Mundo posee un área total de 347.3 km² (2010). El perímetro total de la cuenca del río Huaura es de 397 km (COELVISAC, 2011, p. 7).

Su altitud media es de 3171 msnm. El punto más elevado de la cuenca del Huaura tiene una altitud de aproximadamente 5600 msnm (CEPES, 1994). Abarca todos los pisos ecológicos de 0 msnm (costa del Pacífico) hasta los 5200 msnm (planicies andinas) (ANA, s.f.).

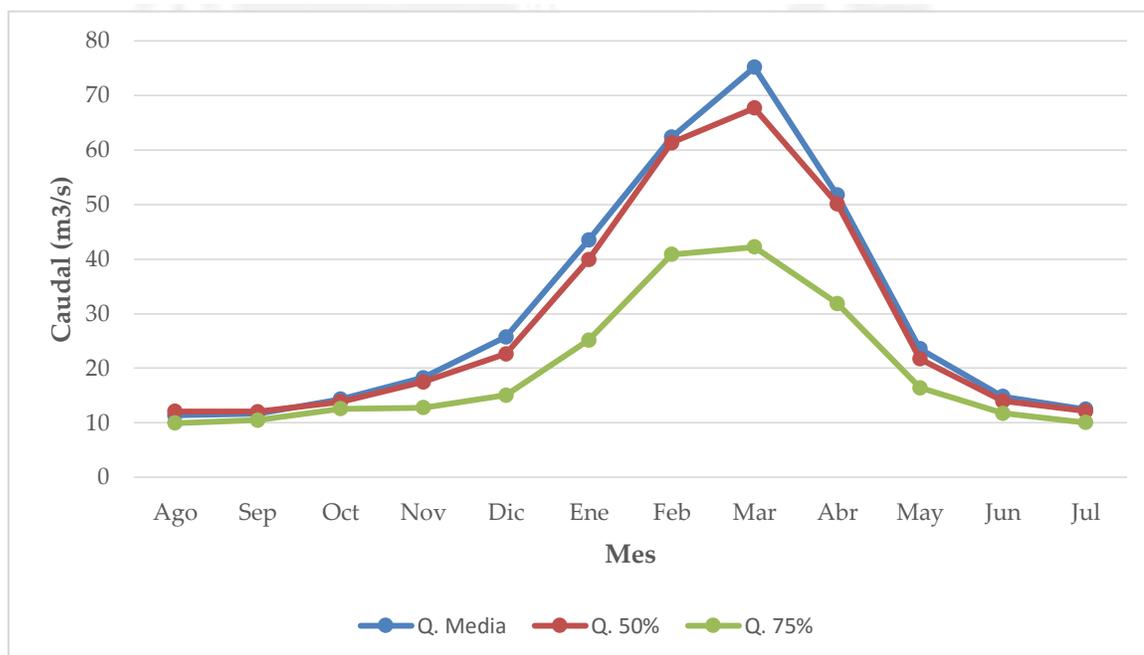
El río Huaura discurre predominantemente en dirección este-oeste (Peña, 2008, p. 33). Su cauce posee una longitud máxima de recorrido desde sus nacientes hasta su desembocadura de 158 km, con una pendiente bastante grande a lo largo de todo su curso, el cual atraviesa gargantas profundas en valles de áridas laderas (FAO, 1970, vol X, p. 5).

La pendiente promedio del cauce es de 2.88% (ANA y MINAGRI, 2010, hoja 16); esta se hace más pronunciada en la cuenca alta y en las quebradas que alimentan al curso principal (CEPES, 1994). Por otro lado, la parte baja de la cuenca del Huaura se caracteriza por correr por un valle ancho y por tener una pendiente reducida (Dourojeanni et al., 1969, p. 132).

Según el registro de la disponibilidad hídrica histórica de los últimos 33 años del valle del río Huaura (1982 a 2014), el río ha descargado un caudal promedio mensual de 30.14 m³/s. Los caudales promedios mensuales mínimos han oscilado entre 5.60 a 25.3 m³/s y los caudales promedios mensuales máximos variaron de 16.20 a 158.90 m³/s (JUAH, 2017). Las descargas varían en el año de forma estacional (Peña, 2008, p. 34). Posee descargas máximas de enero a marzo y descargas mínimas de julio a setiembre (Ver Figura 3.1).

Según la información brindada por la JUAH en el 2017, las descargas hídricas volumétricas anuales se clasifican en tres probabilidades de ocurrencias: media, al 50% y al 75%. Estas serían: las medias de 953.6415 MMC, al 50 % de 900.3624 MMC y al 75 % de 624.5256 MMC (p.12). Las descargas en la época lluviosa son generalmente grandes y en exceso a las necesidades de agua del valle (CEPES, 1994, p. 282).

Figura 3.1. Probabilidad de descargas hídricas del río Huaura



Elaboración propia. Fuente: JUAH (2017)

3.2.3. HIDROLOGÍA

El río Huaura nace en el nevado Raura, al noreste del departamento de Lima, entre los límites de Huánuco y Pasco. (Tantaleán y Leyva, 2011, p.467). Está conformado por la unión de los ríos Checras, Oyón, Cochamarca y el río Chico. (INRENA, 2005a). Tiene como tributarios principales a los ríos Alto Huaura y Checras, y, en menor proporción, las quebradas Paccho, Picunche, Chico, Yarucaya y Huancoy. Estos constituyen las fuentes de agua superficial más importantes (ALA-Huaura, 2010).

Peña manifiesta que al nacer el río Huaura recibe el nombre de Quichas y la mantiene hasta la localidad de Oyón y la desembocadura del río Pampahuay. A partir de este punto el río se denomina Huaura, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico (2008, p. 33).

Los recursos hídricos del río Huaura provienen de las precipitaciones que se presentan en la cuenca húmeda y de los deshielos de los nevados de la Cordillera Raura (MINAG, 1987a, p. V-4). En concordancia con esta idea, el régimen de escorrentía del río Huaura o las variaciones estacionales del régimen de descargas tiene relación directa con el comportamiento de las precipitaciones que ocurren en su cuenca alta (CIGA-PUCP, 1993, p. 23). Tal como sucede en los principales ríos de la vertiente occidental, hay dos períodos: el período de abundancia entre los meses de enero-abril y, el período de estiaje, que comprende los meses de mayo-diciembre (FAO, 1970, vol X, p. 289 y CIGA-PUCP, 1993, p. 23).

Por otro lado, en la cuenca alta no sólo las precipitaciones estacionales son las que incrementan el caudal de escorrentía, sino también son los nevados los que aportan al mejoramiento del régimen de descargas del río Huaura durante el período de estiaje (MINAG, 2005, p. 1). Además, existen varias lagunas en la cuenca alta, cuyos almacenamientos proporcionan un caudal de estiaje sostenido, lo cual permite un

régimen hidrológico bastante regular al río Huaura (MINAG, 1987a, p. V-4). Cabe mencionar que los recursos hídricos utilizados por el valle del río Huaura se encuentran regulados por las Lagunas Surasaca y Cochaquillo (COELVISAC, 2011, p. 15), ambas operadas por la JUAH (ALA-Huaura, 2010 y INRENA, 2005a).

3.2.4. AGRICULTURA

Según la MPH, tanto en la época de la colonia, como en la época de la independencia, la actividad económica productiva predominante en el valle de Huaura fue y sigue siendo la actividad agropecuaria. Si bien la pesca artesanal era realizada en los pueblos litorales, al igual que el comercio y otras actividades artesanales, la actividad agrícola fue la más importante. Esta pasó a gran escala cuando las antiguas haciendas se transformaron en plantaciones bajo la forma jurídica de sociedades anónimas. Los principales cultivos agrícolas eran el algodón, la caña de azúcar y pan llevar, estos constituyeron el núcleo económico. (2009)

Entre 1953 y 1957, más de 40% de la superficie del Valle del río Huaura fue destinada al algodón. En la campaña agrícola durante el periodo 1966-1967, el algodón ocupó 25%, el maíz grano 22.8%, la alfalfa 7.5%, la caña de azúcar 7.4% y el frijol alimenticio 5.4% del área cultivada en el valle (FAO, 1970, vol IX, p. 15). Para 1987, seguían siendo el maíz, algodón y la caña de azúcar, los cultivos predominantes en valle (MINAG, 1987a); sin embargo, ya desde la década de los años 60 la tendencia se dirigía los hacia cultivos más diversificados como los frutales, en especial, cítricos, y los alimenticios (CEPES, 1994, p. 283), pues la producción se vendía con facilidad en el mercado a precios muy remunerativos (FAO, 1970, vol IV, p. 14).

En efecto, en los últimos años, se han unido a los cultivos tradicionales, como la caña de azúcar y el maíz amarillo duro, los frutales como el naranjo y la mandarina, así como el maíz choclo (MPH, 2009, p. 112). Según la ALA-Huaura, la caña de azúcar y el

maíz representan el 60% del área sembrada en el valle. Por otro lado, los cultivos más representativos, de acuerdo a los PCR, de la parte baja del valle de Huaura son la caña de azúcar, frijol, maíz, mientras que en la parte media y alta: la alfalfa, durazno y palto. En relación con la actividad pecuaria, la crianza del ganado vacuno (carne y leche), ovino y porcino (carne) es favorecida por la existencia de pastos naturales, cultivos de forrajes y pastos cultivados (2010).

Ya que la actividad principal en la cuenca del río Huaura ha sido y es, hasta la actualidad, la agricultura, la demanda hídrica agrícola es, sin duda, la más importante en la cuenca del río Huaura, distinguiéndose la demanda de la zona alta e intermedia de la cuenca y la demanda hídrica del valle o zona baja de la cuenca, en donde es mucho mayor (INRENA, 2005a).

En la zona baja de la cuenca del río se da la presencia de un cono deyeectivo de regulares dimensiones, cuyas condiciones son favorables para el desarrollo agrícola. Actualmente se observan grandes extensiones de terrenos agrícolas que cubren casi la totalidad del fondo aluvial del valle. El desarrollo de estos terrenos agrícolas se debe en gran parte a la construcción de sistemas de irrigación, los cuales aprovechan el caudal permanente y considerable del río (Tantaleán y Leyva, 2011, p. 467).

Respecto al tipo de riego, predomina el método por gravedad en el ámbito de las organizaciones de usuarios y, en pequeñas áreas; por goteo, especialmente en la Comisión de Regantes (CR) Santa Rosa, ubicada al sur de la CR de San Felipe (ALAHuaura, 2010). El agua superficial del río Huaura se utiliza para fines netamente agrícolas, abasteciendo a las 17 CRs del valle, haciendo un uso anual de 668.34 MMC de estas aguas (COELVISAC, 2011, p.18).

Como ya se había mencionado, según COELVISAC (2011), en la cuenca del río Huaura existen algunos embalses de regulación estacional, los cuales fueron

construidos con fines de riego y/o generación eléctrica, tales como la Laguna Surasaca y la Laguna Cochaquillo que descargan sus aguas para el uso agrícola en el valle del río Huaura (p. 17).

3.2.5. MANEJO Y GESTIÓN DEL AGUA PARA RIEGO

Para caracterizar algunos aspectos del manejo y gestión del agua para el riego agrícola en la cuenca del río Huaura es necesario precisar los conceptos de administración, distribución, operación y mantenimiento de un sistema de riego. Con ello se pretende entender el funcionamiento del sistema de riego de la cuenca y las responsabilidades de las partes de modo general.

La operación es el proceso de manejo de las estructuras de control, medición y distribución del recurso. Este proceso comprende el sistema desde la captación en el río hasta la entrega del agua al usuario. La operación es una de las labores de mayor importancia de la administración, ya que de su correcto y eficiente manejo depende el normal abastecimiento de agua al valle. Por otro lado, el mantenimiento refiere a la conservación de la infraestructura de riego y drenaje (MINAG, 1987a, p. IX-1).

En relación con la administración y distribución del riego, para Guerra, Guardia y Hendricks (1991), más que administrar los recursos hídricos, se administra los recursos humanos, físicos y económicos con que cuenta la organización encargada del uso racional del agua. Dicho esto, una administración adecuada del sistema del riego repercutirá directamente en la operación y el mantenimiento de este. Por su parte, la distribución forma parte de la operación diaria del sistema; pero sus principios, criterios y esquemas sientan las bases principales para una adecuada operación del sistema de riego.

En la cuenca del río Huaura existe la ALA-Huaura, que es la unidad orgánica de la Autoridad Administrativa del Agua, cuya función es administrar las aguas de uso

agrario y no agrario en el ámbito territorial de dicha cuenca con la participación de las organizaciones de usuarios de aguas, a manera de garantizar el uso eficiente del recurso hídrico (ALA-Huaura, 2010). Cabe mencionar que la ATDR era quien anteriormente cumplía con esta función administrativa de aguas (MINAG, 1987a y FAO, 1970, vol VII).

La ATDR-Huaura, antes de la aprobación del Reglamento de Organización de Usuarios de Agua, mediante Decreto Supremo N° 037-89 AG el 26 de mayo de 1989 a través del cual se les transfería mayores atribuciones en cuanto a la gestión del riego a las organizaciones de usuarios (Apacla et al., 1991, p. 74), estaba “encargada del manejo de los recursos hídricos disponibles para la irrigación y era responsable del mantenimiento de las bocatomas, canales de distribución, instrumentos de control y reservorios situados en su jurisdicción”. (FAO, 1970, vol IX, p. 18). En otras palabras, las acciones de operación y mantenimiento de la infraestructura de riego y drenaje en el valle de Huaura se encontraban bajo la responsabilidad de la ATDR-Huaura y se ejecutaban con el apoyo de la JUAH, así como de las Comisiones y Comités de Regantes (MINAG, 1987a y Guerra et al., 1991).

Es importante mencionar que la JUAH fue constituida como Asociación el 6 de agosto de 1981. Fue reconocida mediante Resolución Jefatural N° 425-81-A-DR-VI (INRENA, 2005a), de conformidad con el artículo 17 del Decreto Supremo N° 005-79-AA del Reglamento de Organización de Usuarios de Agua e inscrita en el asiento N° 1 de foja 75 del Tomo N° 4 de Asociaciones de Huaura (JUAH, 2014).

Según el Decreto Supremo N° 057-2000-AG, la Junta concentra su mayor atención y recursos a la actividad de distribución del agua de riego (INRENA, 2005a). Actualmente, el control y la distribución de agua a nivel de la infraestructura mayor

son ejecutados por el Departamento de Operación y Mantenimiento de la JUAH. Según MINAGRI y ANA:

“Esta actividad se inicia con la toma del aforo del río Huaura, el cual es realizado diariamente por el tomero del sector de riego Sayán, esta información es remitida al Departamento de Operación y Mantenimiento, quien en función al área servida y a las demandas de agua establecidas en el PCR elabora el cuadro ‘Programación Diaria de Distribución de Agua’, el cual es alcanzado al Jefe de Tomeros para que conjuntamente con los tomeros de los diferentes sectores ejecuten la distribución del agua a nivel de valle”. (2010, p. 9)

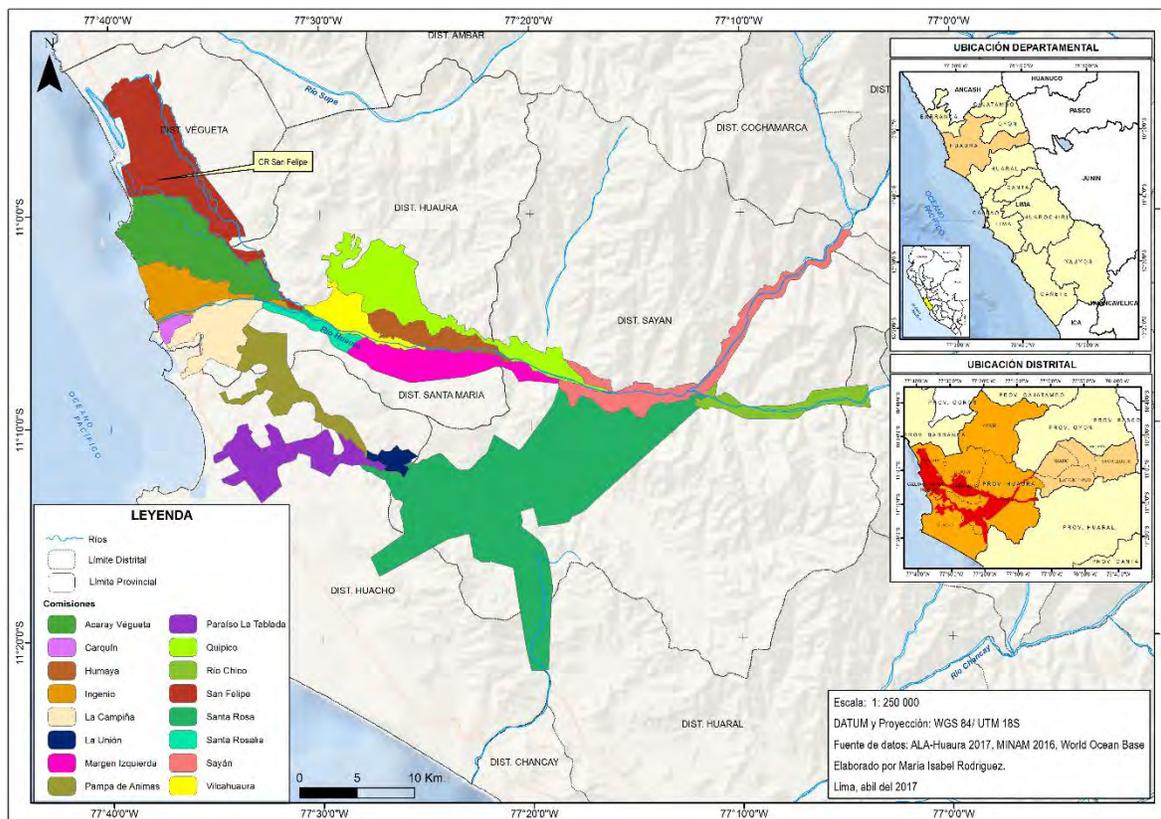
A manera de complementar la anterior información, el PCR, sobre el cual la JUAH se basa para realizar la distribución del riego, considera el área y los cultivos sembrados por usuario y por CR. Para ello llevan un padrón de control (INRENA, 2005a).

En cuanto a la operación y mantenimiento del sistema de riego a nivel de la infraestructura mayor (bocatomas y canales principales), estos son realizados por la JUAH en coordinación con las CRs del valle, para lo cual cuentan con un ingeniero Jefe de Operaciones y Mantenimiento y el Guardamayor de Aguas (INRENA, 2005a). En la actualidad se cuenta con un Reglamento de Operación y Mantenimiento para la JUAH, siendo responsable de la operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica para riego el Departamento de Operación y Mantenimiento (ALA-Huaura, 2010).

Todo distrito de riego, como por ejemplo el Valle del río Huaura, está organizado en comités que reúnen a todos los usuarios. Como ya se señaló, estas son coordinadas por las JUs (MPH, 2013). En el ámbito del Distrito de Riego de Huaura se ubican 16 CRs (Ver Mapa 3.3): San Felipe, Acaray-Végueta, Ingenio, Vilcahuaura, Humaya, Quipico, Sayán, Santa Rosalia, Margen Izquierda, Río Chico, Santa Rosa, La Unión, Paraíso-La Tablada, La Campiña, Pampa de Animas y Carquín (se excluye Río

Chico Zona Andina), de las cuales La Unión, Paraíso-La Tablada y Pampa de Animas utilizan aguas de filtraciones (ALA-Huaura, 2010).

Mapa 3.3. Ubicación de las Comisiones de Regantes del Distrito de Riego Huaura



La función de las CRs es apoyar en la organización y ejecución de trabajos de limpieza, mantenimiento de los canales y distribución del agua según los roles de riego (MINAGRI, 2009). En específico, realizan la operación de los sistemas de riego a nivel de infraestructura menor: canales laterales y sublaterales (INRENA, 2005a).

Para ello, cuentan con Sectoristas de Riego quienes, según el MINAG (1987a) deberían ser “técnicos con suficientes conocimientos de hidráulica para comprender la medición y distribución de caudales, y las medidas que deben tomar frente a las anomalías en el funcionamiento del sistema, en el sector bajo su responsabilidad” (p. IX-3). Ellos se encargan de efectuar la distribución del agua dentro de los subsectores de riego luego de haberseles comunicado el caudal asignado a cada sistema de riego.

La dotación de las aguas se desarrolla en las bocatomas principales del río. En este sentido, el sistema de distribución es autónomo al interior de cada Comisión (INRENA, 2005a).

3.3. CLIMA

El clima en la zona de estudio está definido, según la clasificación de Holdrige, como "desierto subtropical" (FAO, 1970, vol IX), mientras que según la clasificación de Köppen; como "sub-tropical desértico" (BwH), influenciada por la presencia de la corriente marina de Humboldt y la cordillera de los Andes (MINAG, 1987a). Según la FAO (1970, vol VII), la vecindad a la corriente de Humboldt condiciona el clima de la cuenca baja (p. 4).

Esta zona presenta un clima tropical árido y una precipitación casi inexistente (MINAG, 1987a, p. IV-2). Según la FAO (1970, vol II), la precipitación llega a unos 10 mm anuales (p. 3), la presencia de esta es prácticamente nula en zonas inferiores a los 2300 msnm en la cuenca del río Huaura (vol X, p. 5).

Las temperaturas medias son de unos 17°C durante el invierno y de unos 24°C en el verano. El período más frío (de junio a octubre) coincide con la menor irradiación solar en esta faja costera (FAO, 1970, vol II, p. 3). Debido a la baja radiación combinada con la baja temperatura media la evapotranspiración es 2.2 veces inferior en el invierno que en el verano (vol I, p. 14). Durante invierno, la evapotranspiración es de 1 ó 2 mm al día, frente a 4 a 7 mm al día durante el período soleado; es decir, de octubre a abril (vol IV, p. 1).

La corriente de Humboldt también propicia una humedad relativa, por lo general elevada. En los meses de invierno se encuentran frecuentemente hasta 20 km tierra adentro, nubes bajas (estratos) y neblinas (FAO, 1970, vol IV, p. 1). El descenso de las temperaturas, formación de nieblas, como la presencia de una ligera llovizna

menor a 10 mm/año (Peña, 2008, p. 28) durante los meses de invierno, reducen las necesidades de agua de riego para esta época (FAO, 1970, vol X, p. 5).

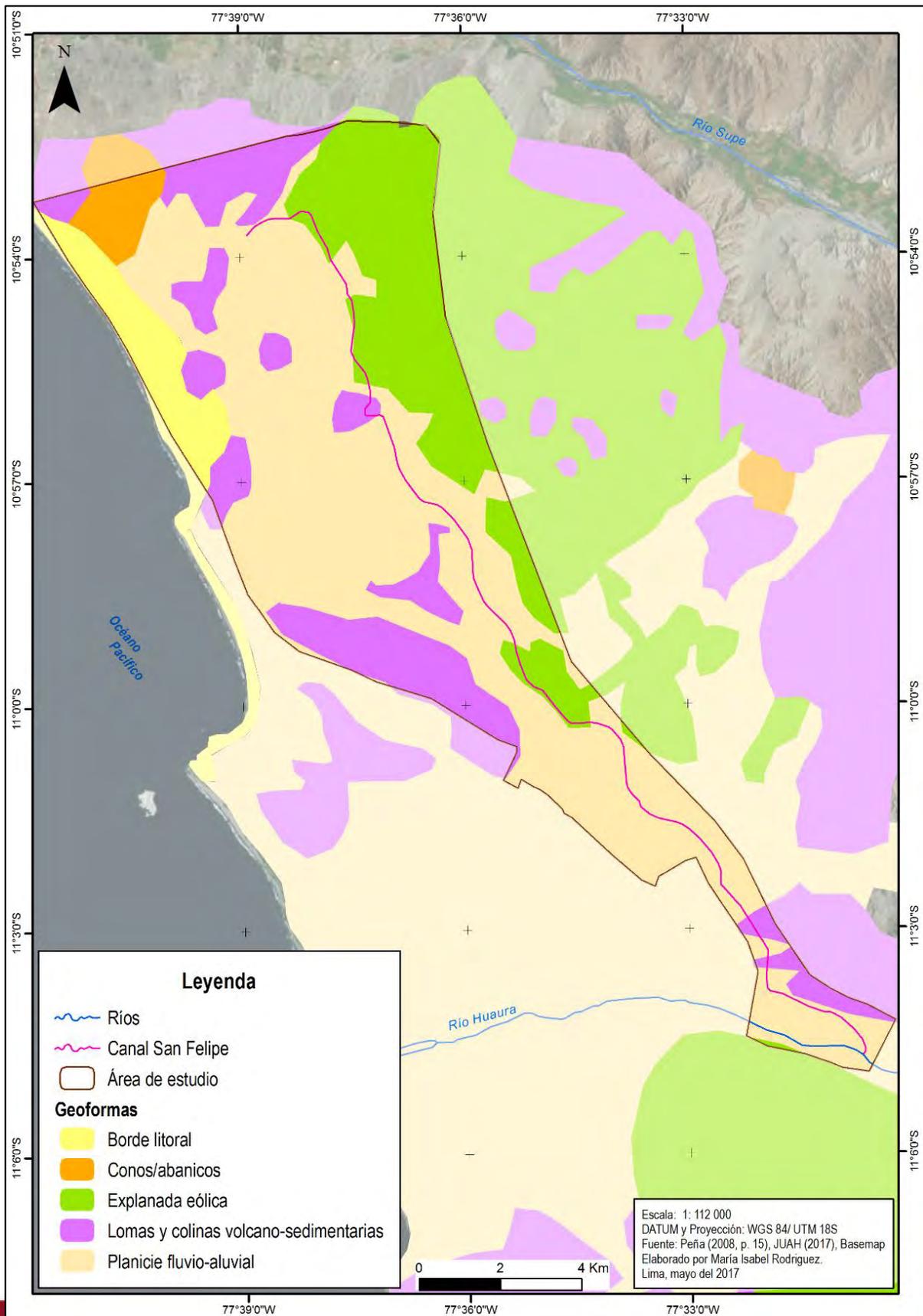
3.4. GEOFORMOLOGÍA

Según el estudio geomorfológico en la cuenca del río Huaura, realizado por Peña (2008), la geoforma sobre la cual se ubica la Albufera de Medio Mundo sería el borde litoral, de origen marino (color amarillo en el mapa), mientras que para la Irrigación San Felipe sería la planicie fluvio-aluvial (color pistacho en el mapa) (Ver Mapa 3.4).

Este autor menciona que ambas geoformas están localizadas en la cuenca baja del río Huaura. La geoforma de borde litoral está ubicada en una altitud estimada entre 0 y 50 msnm con una topografía llana de playa (pendientes menores a 1°) (p. 16). Se extiende de noroeste a sureste y refiere a una faja delgada cuya anchura varía de 1 a 2 km tierra adentro desde la línea de costa. Se caracteriza por tener sectores cortados por afloramientos de rocas intrusivas y sedimentarias. Está configurada por bahías, puntas y playas conformadas por la acumulación de arenas a través de las corrientes litorales; así como por acantilados (p. 13).

Por otro lado, la planicie fluvio-aluvial sobre la cual se ubica la irrigación San Felipe, según el mismo autor, constituye una superficie plana y amplia atravesada por cursos de agua intermitentes y canalizados, que recorren la cuenca baja y generan valles abiertos en los cuales se originan acumulaciones fluviales y aluviales depositadas en amplias planicies (p.15). Según el estudio de COELVISAC (2011), la denominación de la geoforma sobre la cual se ubica San Felipe es “Llano Aluvial-Pampa costanera”. (p.5)

Mapa 3.4. Geomorfología del área de estudio



3.5. GEOLOGÍA

En la llanura de San Felipe los estratos inferiores están formados por sedimentos desérticos de materiales volcánicos; es decir, materiales andesíticos angulares estratificados de tamaños diferentes que están próximos a la superficie, pero en la parte centro-sur estas capas se encuentran cubiertas por depósitos eólicos de un espesor de 80 o más centímetros (FAO, 1970, vol I, p.4).

Según el MINAG (2005), las áreas de cultivo de la cuenca baja del río Huaura generalmente están en depósitos aluviales de río, pero en el caso de la irrigación San Felipe, las áreas cultivadas están en depósitos aluviales de quebrada, compuestos por material angular menos clasificado que los depósitos de río y con una mayor proporción de material intemperizado (p. 14).

En cuanto a los suelos, estos tienen un origen mixto, con espesor variable; sin embargo, casi siempre profundos. Su textura oscila entre arenosa y franco-arenosa y se caracterizan por una elevada tasa de infiltración y una baja capacidad de retención de la humedad. Su valor, en términos de nutrientes de plantas, es reducido y en ciertos sectores existen concentraciones de sales y un elevado porcentaje de sodio intercambiable (FAO, 1970, vol I, p. 21).

3.6. HIDROGEOLOGÍA

Según el "Estudio Geomorfológico-Hidrológico de un sector de la Irrigación San Felipe", elaborado por CIGA-PUCP (1993), los materiales que constituyen el reservorio acuífero en la irrigación San Felipe son de naturaleza coluvio-aluvial, con mayor predominancia de los detritos aluviales provenientes de las quebradas al este de la irrigación. "Estos depósitos están catalogados como acuíferos porosos no consolidados, cuya porosidad varía de 5 a 30% en las gravas, y su permeabilidad de 1-100 m/día". (INRENA, 2005 citado por Santos y Peña, 2016, p. 4)

Algunas características de estos materiales son: distribución pobre, falta de estratificación, elementos gruesos y angulares y presencia relativamente elevada de rocas químicamente intemperizadas. Desde el enfoque hidrogeológico, la falta de estratificación de los materiales estaría permitiendo la percolación profunda y la facilitación del drenaje a la laguna Medio Mundo (CIGA-PUCP, 1993, p. 28).

Por otro lado, la gradiente hidráulica promedio de la napa freática de San Felipe es de 5 por mil. Este valor elevado de la gradiente, así como la presencia de material acuífero grueso genera el flujo subterráneo hacia la laguna de Medio Mundo (p. 29).

MINAG (2005) añade que el acuífero de esta zona es libre³ y que los suelos poseen buena permeabilidad (p. 47), por lo que favorece la recarga de las aguas freáticas de San Felipe por percolación del exceso de agua de regadío en dicho valle (FAO, 1970, vol I). Además, según Santos y Peña (2016), las rocas impermeables del Grupo Casma contribuyen con el almacenamiento y circulación del agua subterránea, al constituir la base impermeable del acuífero costero de Medio Mundo (p. 3)

En síntesis, la gradiente hidráulica elevada en San Felipe, así como las características del suelo y del acuífero costero permiten que el agua de riego no consumido por los cultivos de San Felipe se percole rápidamente (uso no consuntivo) y fluya en dirección hacia la zona del humedal, formando manantiales cuya descarga hídrica alimenta a la Albúfera. Así, se demuestra la conexión entre las aguas subterráneas provenientes de San Felipe y la regulación hídrica de la Albúfera.

³ Son aquellos acuíferos que poseen una superficie libre de formaciones impermeables, el agua encerrada en ellos se encuentra a presión atmosférica. La superficie del agua será el nivel freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no (Sánchez, 2011, p. 6).

3.7. ALBÚFERA DE MEDIO MUNDO

La Albufera de Medio Mundo está situada entre los kilómetros 150 y 175 de la carretera Panamericana Norte, en el distrito de Végueta, provincia de Huaura. Forma parte del Corredor Biológico de la Costa Central y del Pacífico y está categorizada como ACR desde el 24 de enero de 2007 según el Decreto Supremo N° 006-2007 AG.

La zona de vida en la que se ubica el ACR Albufera de Medio Mundo (ACR AMM), según el Sistema de Holdridge (sistema empleado por el INRENA), es la del Desierto Desecado Subtropical (dd-S), esta misma se incluye en la categoría climática del desierto litoral. Se extiende desde el litoral hasta los 500 msnm aproximadamente; presenta una precipitación promedio anual de 2.2 mm, una temperatura máxima de 22.2°C y una mínima de 17,9°C (GORE-Lima, 2009, p. 38).

El humedal tiene aproximadamente un largo de 7 km y un ancho de 165 a 525 metros, con un área total de 261.5 ha, de las cuales 206 ha corresponden al espejo de agua y 55.5 ha a la parte pantanosa (Velit, citado por Aponte y Ramírez, 2010, p. 33). Esta extensión es referencial, pues el régimen hidrológico es variable debido a las condiciones ambientales de la cuenca hidrográfica donde se localiza (Contreras, 2006 citado por Barrera, 2011, p. 35).

Por otra parte, considerando los usos del agua en las actividades antrópicas que se realizan dentro y fuera de la Albufera de Medio Mundo, es casi improbable que no haya ocurrido una variación en su extensión a lo largo del tiempo. En efecto, es la determinación de la variación de la superficie de agua de este humedal en las últimas siete décadas uno de los objetivos de la presente investigación.

3.7.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

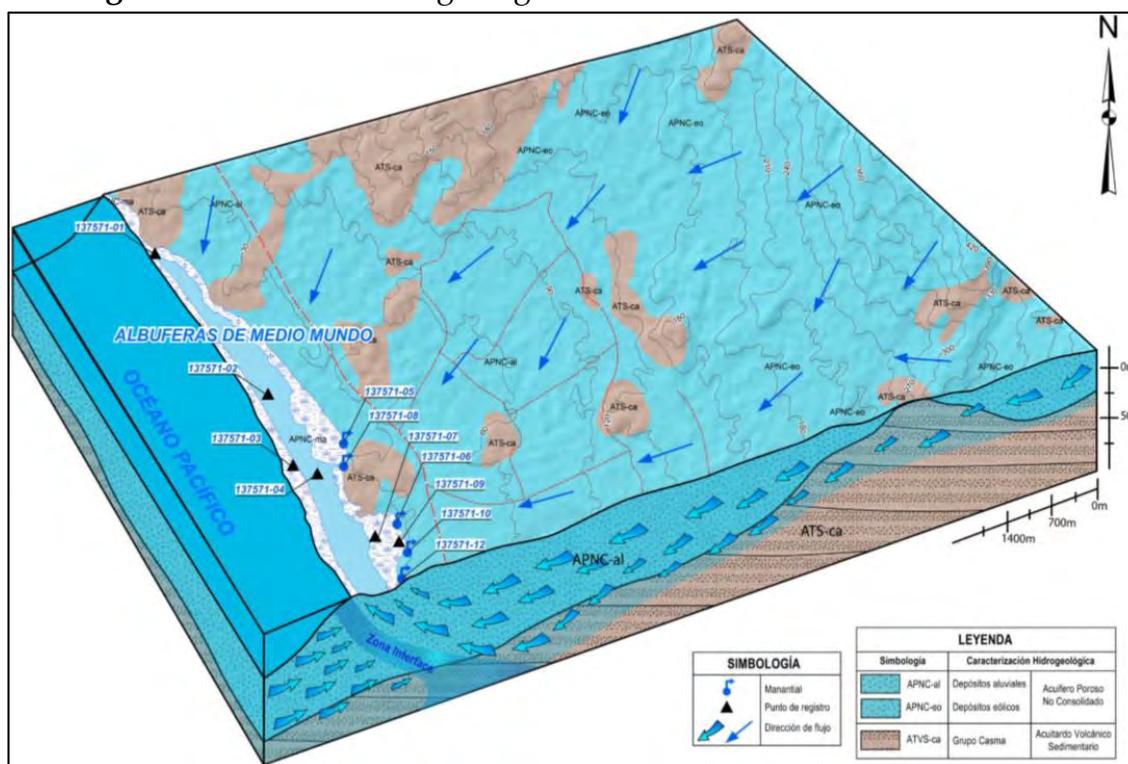
La laguna está formada por una superficie plana, con algunas depresiones. En la zona litoral y sublitoral los declives son suaves. Hacia el lado este de la laguna, en algunas partes, llega hasta 14%, siendo la mayor parte fangosa. Por otro lado, la subzona del lado oeste tiene un corte más brusco, llegando en algunos puntos a una inclinación de 40 a 70%, siendo de material compacto (Castillo, 2010, p. 83).

Respecto al material del fondo de la laguna, existen diversas estratificaciones de material orgánico e inorgánico. Las diferentes capas son muy notorias. Así también, existe una disposición estratigráfica de capas de suelo y subsuelo, llegando en la parte inferior hasta el material bruto, grava, arena, arcilla, o roca erosionada, que constituye la capa impermeable, seguida por un conglomerado compacto (Castillo, 2010, p. 83).

Por otro lado, Tovar (1977, p. 5) asegura que la laguna de Medio Mundo se formó por el cierre de la bahía, por acción del trabajo lento de deposición del mar; sin embargo, estas aguas salinas han sido disueltas por el agua dulce (agua salobre como resultado) procedentes de flujos subterráneos que se vierten en el lado este, mayormente en la parte central y sur, que se presentan en forma de manantiales.

El ciclo hidrológico en las partes altas de la cuenca permite que discurran las aguas superficiales y subterráneas hacia el océano Pacífico. Estas últimas sumadas con las aguas sobrantes de regadío de la Irrigación San Felipe, las cuales son absorbidas por los terrenos de cultivo y filtradas, se reúnen en algunas puntos para brotar a la superficie en forma de surgencias y manantiales (Castillo, 2010). Según Santos y Peña (2016), estos flujos de agua subterránea son aportes constantes a la Albufera y circulan a profundidades de 5 a 10 m con dirección preferencial de noreste a suroeste por los poros interconectados del acuífero (p. 2), tal como señalan las flechas en la Figura 3.2.

Figura 3.2. Modelo Hidrogeológico de la Albufera de Medio Mundo



Fuente: Santos y Peña (2016)

Son cinco los manantiales que alimentan al humedal costero de Medio Mundo y la descarga de estos manantiales es condicionada por el choque del agua subterránea con la zona de interfase⁴ (p. 3). Además, Santos y Peña han estimado que la zona de interfase se encuentra a una profundidad de 160 m, a partir de la cota a la que se encuentra las surgencias del humedal costero de Medio Mundo (2016, p. 4).

En relación a las características físico-químicas, según Ringuelet (1962), la laguna de Medio Mundo pertenece a las lagunas mixohalinas de origen marino por lo que se le considera también como albufera; sin embargo en la actualidad la influencia marina es muy poca (se demuestra por la baja salinidad del agua y presencia de algas de ambientes dulceacuícolas), pues el humedal está completamente separado del agua

⁴ Es el límite entre dos fluidos inmiscibles (agua dulce y agua salada). "Se sitúa a una profundidad bajo el nivel del mar aproximadamente igual a cuarenta veces la cota del agua dulce sobre el nivel medio del mar en ese punto". (Burillo et al., 1988, p. 637)

del mar; el único contacto es con el desagüe, salvo el afloramiento subterráneo (citado por Tovar, 1977, p. 5). Así, Tovar refuta la clasificación de Ringuelet y clasifica las aguas de este humedal como salobres y mixooligohalina (p. 7).

Por último, la Gerencia Regional de Recursos Naturales y la Gestión del Medio Ambiente del GORE-Lima han venido realizando monitoreos de la calidad del agua del humedal de Medio Mundo. Según Castillo (2010), todos los parámetros físico-químicos del agua analizados en el 2009; es decir, nitrógeno amoniacal (NH_3 no ionizado), Oxígeno Disuelto (OD) y el pH, presentaron valores que sobrepasan el Estándar Nacional para la conservación del ambiente acuático de lagos y lagunas. Ello tiene efectos en su mayoría negativos, tanto en las características ecológicas del humedal como en su funcionamiento natural.

3.7.2. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

La Albufera de Medio Mundo está caracterizada por ocho hábitats, los cuales responden a características climáticas, geográficas e hidrológicas; de esta última característica depende principalmente el tamaño, estado y composición de estos hábitats mencionados a continuación (GORE-Lima, 2009; MINCETUR, 2013; Castillo, 2010):

- **Laguna:** 6.5 km de extensión con una profundidad entre 0.3 m y 1.95 m, con un área de 219.18 ha. Fondo fangoso producto de la descomposición de plantas y algas presentes. De agua dulce cuya fuente de origen directa provienen de puquios y filtraciones indirectas.
- **Totoral:** Zona al borde de la laguna donde predomina la *Typha domingensis* y *Schoenoplectus californicus* (totora y totora balsa) respectivamente, área especial para la reproducción, anidación, y descanso de algunas aves residentes como siete colores, totorero, garza huaco, cormoranes, etc.

- **Gramadal:** Comunidad vegetal de mayor extensión en el humedal; está dominada por *Distichlis spicata* (grama salada), *Sesuvium portulacastrum* (verdolaga roja) y en menor proporción por las otras especies de la familia *Poaceae*. La composición del suelo es predominantemente salitrosa y/o arenosa, con escasa humedad.
- **Vega de ciperáceas:** Zona de suelos húmedos e inundados con niveles de agua fluctuantes y suelos fangosos, predominan especies de la familia Ciperáceas, como *Schoenoplectus americanus* (junco).
- **Arenal:** Zonas en donde predominan vientos con dirección de suroeste a noreste. Se aprecian formaciones de dunas (zona suroeste de la ACR AMM).
- **Playas de limo:** De escasa vegetación, se inundan temporalmente y durante la época de bajo nivel freático (verano) se observan charcos de fondo limoso próximos al gramadal y la laguna en la base del escarpe. En algunas zonas se desarrolla *Sarcocornia fruticosa* (sarcocornia).
- **Litoral marino:** Área comprendida entre la línea de marea y la línea longitudinal imaginaria descrita con la presencia de comunidades marinas como crustáceos y descanso de aves marinas, para el caso del ACR AMM corresponde a 300 m. de ancho por 7 km.
- **Zona arbustiva:** Se ubican a lo largo de la base del escarpe (corte de terreno abrupto) distribuidos en parches con vegetación de arbustos y cañaveral.

Como información más actualizada se tiene aquella proporcionada por Castro, Mendoza y Suarez (2016), quienes realizaron una “Evaluación de las Unidades de Vegetación, mediante imágenes WorldView3, en el Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura, Lima-Perú”. Dentro de sus resultados identificaron los tipos y unidades de vegetación en dicho humedal, así como el área total que ocupa cada uno de ellos (Ver Tabla 3.1). Cabe mencionar que se usaron dos

imágenes satelitales para la obtención de resultados: una pancromática y una multiespectral del satélite Worldview-3, correspondiente al 15 de noviembre del 2015.

Tabla 3.1. Tipos de vegetación identificados en el ACR AMM

TIPOS VEGETACIÓN	SUB-UNIDADES	AREA (HA)	%	AREA TOTAL (HA)	%
I. Juncal	Juncal juvenil y maduro	37.4	5.4	71.7	10.4
	Juncal senescente	30.2	4.4		
	Juncal asociado	4.1	0.6		
II. Carrizal		3.5	0.5	3.5	0.5
III. Gramadal		143.1	20.8	143.1	20.8
IV. Totoral	Totora enea	59.1	8.6	73.1	10.6
	Totora balsa	13.9	2.0		
V. Matorral		0.4	0.1	0.4	0.1
VI. Vega		0.0	0.0	0.0	0.0
VII. Sacocornial		1.1	0.2	1.1	0.2
VIII. Área intervenida	Chepical	1.3	0.2	1.6	0.2
	Instalaciones urbanas y césped urbano	0.3	0.0		
VIII. Otros	Cuerpos de agua	206.9	30.1	393.2	30.1
	Arenal	186.3	27.1		27.1
TOTAL		687.7	100.0	687.7	100.0

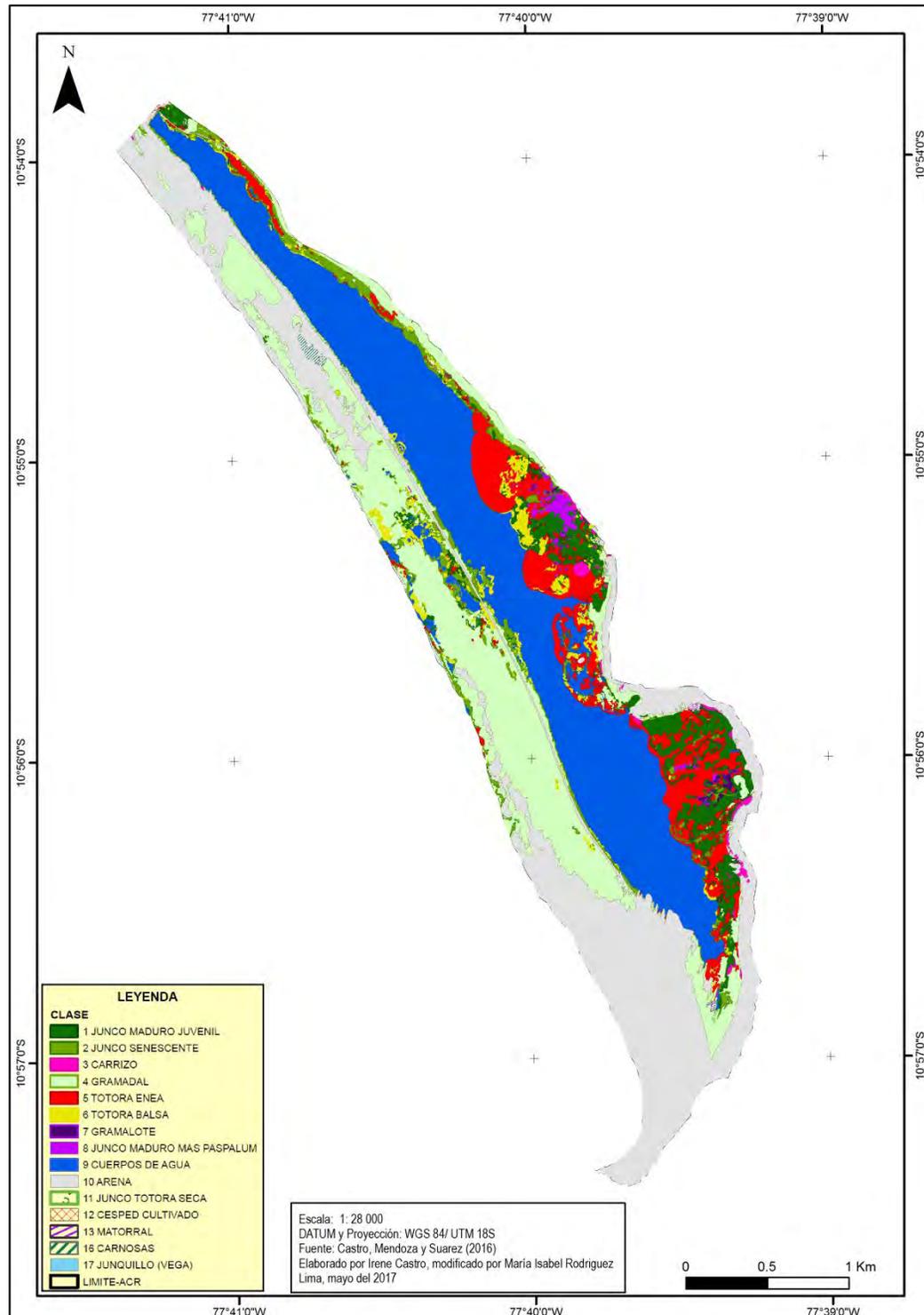
Fuente: Castro, Mendoza y Suarez (2016)

La unidad de vegetación más amplia fue el Gramadal con 143.1 ha, seguido del Totoral con 73.1 ha. No obstante, si se considera la clasificación de todos los hábitats identificados, los Cuerpos de agua y el Arenal ocupan una mayor área en el ACR AMM, con un 30.1% y 27.1% del área total, respectivamente. Se debe señalar que para los autores citados, los hábitats mencionados no son más que otra forma de denominar a las unidades de vegetación, que varían de acuerdo al interés de la investigación.

El Mapa 3.5 muestra la distribución y clasificación de las unidades de vegetación en el ACR AMM. La mayor extensión del Arenal (en color plomo) se ubica hacia el oeste del Cuerpo de agua. Asimismo, las unidades de vegetación predominantes se muestran en color verde agua, rojo y verde oscuro e identifican al Gramadal, ubicado

especialmente hacia el oeste del Cuerpo de Agua, y a la Totora Enea y al Junco Maduro Juvenil, ambos ubicados mayormente hacia el centro y sureste del Cuerpo de agua, respectivamente.

Mapa 3.5. Unidades de Vegetación del ACR AMM



En las siguientes Figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 se muestran las unidades de vegetación (incluida “Otros”) con una mayor amplitud en el ACR AMM, según lo mostrado en la Tabla 3.1.

Figura 3.3. Cuerpos de agua



Fotografía personal. Octubre, 2016

Figura 3.4. Arenal



Fotografía personal. Noviembre, 2016

Figura 3.5. Gramadal



Fotografía personal. Octubre, 2016

Figura 3.6. Totoral



Fotografía personal. Octubre, 2016

Figura 3.7. Juncal



Fotografía personal. Noviembre, 2016

Figura 3.8. Carrizal



Imagen: Castro, Mendoza, Suarez (2016)

Por otra parte, en las puntas y zonas rocosas en los extremos norte y sur de la ACR AMM descansan especies marinas como *Cinclodes Taczanowskii* (marisquero, endémico), *Sula variegata* (piquero peruano) y *Phalacrocorax bougainvilli* (Guanay, en peligro-EN). Además de proporcionar recursos marinos para la pesca artesanal de la localidad (GORE-Lima, 2009).

En la Albufera se desarrollan numerosas especies de flora (26 especies de flora vascular y 48 especies de fitoplancton) y fauna (63 especies de aves, 5 especies de peces, 2 especies de mamíferos, 1 especie de reptil (lagartija), 1 mamífero (rata) y 17 especies de dípteros acuáticos. Así también, se registran moluscos, crustáceos y arácnidos (GORE-Lima, 2014).

En cuanto a la flora, en general, se encuentran las lentejas de agua, repollos acuáticos, jacinto de agua, junco, totora, salicornia, grama salada, tomatillo, entre otras especies (GORE-Lima, 2009 y 2014).

Con respecto a la fauna, se identifican aves, mamíferos, reptiles, peces, insectos, arácnidos, moluscos y crustáceos como: pollas de agua, gallaretas, zambullidores,

patos, garzas, águilas pescadoras, flamencos, totoreros, lagartijas, sapos, mariposas, arañas, alacranes, entre otras especies (Castillo, 2010).

Dentro de las cinco especies de peces registradas están el bagre, carachita, charcocha, monengue, lisa y mojarra, así como especies de dípteros acuáticos, de los cuales se reportaron diecisiete especies (GORE-Lima, 2009, p. 37 y 2014, p. 10).

3.7.3. GESTIÓN DEL HUMEDAL

El Plan Maestro del ACR AMM 2015-2019 es el instrumento de gestión más actualizado, por lo cual gran parte de la información a mencionarse sobre la gestión del humedal ha sido obtenida de dicha fuente. Asimismo, esta información con referencias legales será presentada siguiendo un orden cronológico, de manera que se pueda notar el proceso de desarrollo de la gestión de la Albufera de Medio Mundo.

El 10 de noviembre del año 1983, la Albufera de Medio Mundo fue declarada como Zona de Reserva Turística mediante la Resolución Suprema 237-83-ITI/TUR.

Desde el 24 de enero de 2007, está categorizada como Área de Conservación Regional (ACR), según Decreto Supremo N° 006 - 2007 AG y forma parte del Corredor Biológico del Pacífico en la Costa. A partir de la aprobación de este Decreto la ACR AMM pasa a formar parte de las áreas complementarias establecidas por el SINANPE (ProNaturaleza, 2010 y MPH, 2013, p. 301).

Según el GORE-Lima (2014), el establecimiento del ACR AMM tiene como objetivo general “conservar la biodiversidad del ecosistema de humedal por la importante influencia que ejerce sobre otros similares ubicados en la zona costera del Perú y sobre el entorno, promoviendo el uso sostenible y la protección del humedal y sus recursos” (p. 8).

A partir del Decreto Supremo N° 006-2007-AG, el GORE-Lima es el administrador del ACR AMM. En el año 2010, el GORE-Lima aprobó el Plan Maestro 2009-2013 como instrumento de gestión del área, a través de la Ordenanza Regional N° 004-2010-CR-RL (p. 12).

En el año 2013, mediante Resolución Ejecutiva Regional N° 624-2013-PRES (art. 1) la GORE-Lima reconoce la conformación del Comité de Gestión del ACR AMM.

En el año 2014, se actualiza el Plan Maestro y mediante la Ordenanza N° 09-2014-CR-RL se aprueba el Plan Maestro 2015-2019 del ACR AMM. La Resolución Presidencial N° 049-2014-SERNANP (art. 1) señala que “la etapa de formulación del Plan Maestro tiene como finalidad sistematizar la información existente, construir una visión compartida de futuro, priorizar objetivos a alcanzar en los próximos cinco años, establecer compromisos, y revisar y proponer ajustes a la zonificación”.

De acuerdo a la Ley Orgánica N° 27857, la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente es la responsable de efectuar el seguimiento y evaluación de este instrumento de gestión. Cabe mencionar que hasta la fecha como instrumentos de gestión del área se han realizado estos dos planes maestros orientados a su conservación y/o preservación.

Fuera de los límites del ACR AMM existe un área privada en la zona norte de la Albufera llamada “Albufera de Medio Mundo Bungalows & Camping”. Según el Vicepresidente del Comité de Gestión de la Albufera de Medio Mundo, Rolando Quezada, esta área fue comprada por la familia Rovegno. MINAM señala que “la administración de las ACR puede delegarse a personas jurídicas de derecho privado que acrediten interés y capacidad de gestión, mediante un acuerdo entre las partes”. (2015d, p.15)

Por otro lado, se ha evidenciado una superposición en la función de la administración del ACR AMM; es decir, una baja presencia del Estado y débil institucionalidad, ello se pudo comprobar durante el trabajo de campo realizado a la Albúfera. Siendo el GORE-Lima el ente encargado de la administración del humedal, “la Municipalidad Distrital de Végueta mantiene presencia permanente en las instalaciones turísticas construidas por Ministerio de Comercio y Turismo años atrás; prestando los servicios turísticos sin poseer la administración directa del área” (GORE-Lima, 2014: 12). Estas instalaciones se ubican hacia el sector oeste del ACR AMM.

Otra de las problemáticas identificadas en el diagnóstico del Plan Maestro del ACR AMM 2015-2019, fue la falta de una demarcación adecuada de dicha área protegida con hitos. Las coordenadas registradas en el Decreto Supremo N° 006-2007 AG presentaron errores, lo cual impidió la implementación de estos (GORE-Lima, 2014, p.12). El Decreto Supremo N° 005-2013-MINAM precisó los límites del ACR AMM. A inicios de ese año se instalaron 15 hitos de construcción poco resistentes (p. 15). Esto y la mala ubicación de los hitos lo confirma Rolando Quezada quien destacó el mal trabajo del profesional contratado para demarcar los hitos en el ACR AMM.

Actualmente, sólo quedan 4 hitos intactos por lo que la falta de demarcación del área permite el crecimiento urbano del CP. Medio Mundo cerca al acantilado del ACR AMM (GORE-Lima, 2014, p. 15). Las siguiente Figura 3.9 es un ejemplo de lo señalado por el Plan Maestro 2015-2019 y lo comentado por Rolando Quezada.

Esta figura muestra que el hito (tubo blanco) está ubicado sobre la vegetación (grama) de la Albúfera de Medio Mundo; esto quiere decir que por ahí se traza el límite entre el ámbito territorial del ACR AMM y lo que no está incluido dentro de él. De esta manera, se pone en riesgo la conservación del ecosistema del humedal costero.

Figura 3.9. Hito mal ubicado



Fotografía personal. Octubre, 2016

Persiste aún otra problemática que es la ausencia de control y vigilancia en el ACR AMM. Ello también se pudo comprobar en campo, pues en algunas visitas al lugar no se encontró a nadie dentro del área. Incluso el Guardaparque estaba ausente. Como bien lo señala el GORE-Lima (2014) a través de su último Plan Maestro: “no se cuenta con el personal permanente en el humedal, así como de infraestructura que permita el desarrollo de actividades de control y vigilancia”. (p. 15)

En resumen, todos estos problemas en la gestión del ACR AMM traen consecuencias perjudiciales para la conservación del humedal. Por un lado, la poca presencia del Estado en el área permite el uso irracional de los recursos, lo cual, en definitiva, afecta a la economía de la población, a través de sus bajos ingresos. Por otro lado, con poca vigilancia, supervisión y una presencia permanente es más probable que se den impactos antrópicos negativos sobre el ecosistema.

3.8. POBLACIÓN

La información que se presentará a continuación fue obtenida del Plan de Acondicionamiento Territorial (PAT) de la Provincia de Huaura 2013-2022. Los datos proporcionados sobre la evolución de la población en el distrito de Végueta fueron

constatados con la información del INEI. Los datos de la tasa de crecimiento presentados en dicho plan eran incorrectos, por tanto se volvió a realizar los cálculos.

La Tabla 3.2 muestra que para el último Censo Nacional de Población y Vivienda en el año 2007, la población total de Végueta fue de 18 265; cantidad mayor a la población absoluta de los años anteriores. Con respecto a la tasa de crecimiento de la población (%) se muestran datos que siguen una tendencia variable, pues a partir del período 2007-2012 la tasa de crecimiento se reduce de 42.6% a 13.7%, mientras que en el período siguiente, 2012-2022, aumenta en 5.1 puntos porcentuales. Los valores continúan siendo positivos, lo cual significa que si dicha tendencia sigue es probable que el distrito de Végueta continúe con un crecimiento y expansión urbana, lo cual repercutirá en una mayor presión sobre los recursos hídricos para la satisfacción de las necesidades básicas y consumo de la población.

Tabla 3.2. Crecimiento de la población en el distrito de Végueta

EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN					TASA DE CRECIMIENTO (%)			
1981	1993	2007	2012	2022	1981-1993	1993-2007	2007-2012	2012-2022
9361	12 806	18 265	20 763	24 662	36.8	42.6	13.7	18.8

Elaboración propia. Fuente: PAT de la Provincia de Huaura 2013-2022

Por otra parte, la Tabla 3.3 muestra que la población en el distrito de Végueta para el año 1993 fue predominantemente rural; sin embargo, en el año 2007 registró una población mayoritariamente urbana. Respecto a las tasas de crecimiento, la de la población urbana durante el período estudiado (1993-2007) fue de 154%, hubo un crecimiento poblacional explosivo en el 2007, respecto a la población registrada al año 1993; por otro lado, la población rural registrada en el año 1993 disminuyó en un 39.2%. Ambas tasas, la urbana y la rural, para el año 2012 disminuyeron; no obstante, mientras que en el área urbana continúa siendo positiva, en el área rural se mantiene negativa.

En conclusión, la población urbana continúa creciendo hasta el 2012, mientras que la rural tiende a disminuir. Estas dinámicas demográficas influyen en la rápida urbanización del distrito, así como en el desarrollo de las actividades productivas y en la mayor explotación de los recursos hídricos subterráneos para uso poblacional y pecuario, principalmente.

Tabla 3.3. Distribución de la población, intercensal, urbana y rural de Végueta

ÁREA URBANA				
Población urbana			Tasa de crecimiento (%)	
1993	2007	2012	1993-2007	2007-2012
5421	13 781	16 767	154.2	21.7
ÁREA RURAL				
Población rural			Tasa de crecimiento (%)	
1993	2007	2012	1993-2007	2007-2012
7385	4484	3448	-39.2	-23.10

Elaboración propia. Fuente: PAT de la Provincia de Huaura 2013-2022

El CP. Medio Mundo, en cuya jurisdicción se ubica el área de estudio, fue creado mediante la Ordenanza Provincial de Huaura N° 124 el 7 de julio de 1992 (INEI, 2013). El rol que cumple Medio Mundo es el de Ciudad Menor, centro urbano secundario del área nucleada urbana de la provincia de Huaura, complementaria a las funciones de la Ciudad de Végueta (MPH, 2013, p. 259).

Como se observa en la Tabla 3.4, para el 2007 el CP. Medio Mundo contaba con una población total de 5801, 100% urbana. Para el 2012, la población se incrementó a 7058 y permanece 100% urbana.

Tabla 3.4. Población del 2007 y 2012 por centro poblado del distrito de Végueta

CENTRO POBLADO	POBLACIÓN 2007			POBLACIÓN 2012			CATEGORÍA
	URBANO	RURAL	TOTAL	URBANO	RURAL	TOTAL	
Végueta	4152	0	4152	5052	0	5052	*Ciudad
Medio Mundo	5801	0	5801	7058	0	7058	Ciudad
San Felipito	0	194	194	0	149	149	*
Amiralla	0	211	211	0	162	162	Caserío
Primavera	1888	0	1888	2297	0	2297	Pueblo
La Florida	0	349	349	0	268	268	Caserío
La Perlita (La Perla)	907	0	907	1104	0	1104	**Pueblo
Mazo	1033	0	1033	1257	0	1257	Pueblo
La Muralla	0	430	430	0	331	331	Caserío
Nuestra Señora de Guadalupe	0	268	268	0	206	206	Caserío
El Rosario	0	158	158	0	121	121	*
Población dispersa (35)	0	2874	2874	0	2210	2210	Población dispersa
TOTAL	13 781	4484	18 265	16 768	3447	20 215	

**Végueta cambia de Villa a Ciudad **La Perlita cambia de caserío a pueblo, pierde categoría en 2007*

Fuente: INEI CPV 2007 en MPH (2013)

Si estos datos presentados en el cuadro se contrastaran con información de años anteriores entonces no cabría la menor duda de que en dicho lugar hubo un fuerte crecimiento demográfico con el pasar de los años. La información más antigua que ha sido documentada por una fuente oficial en relación a la población del CP. Menor de Medio Mundo se encuentra en el Plan Maestro del Área de Conservación Regional Albúfera de Medio Mundo (ACR AMM).

El proceso de presencia humana en el entorno próximo del ACR AMM data del año 1954. Entre los años de 1954 y 1958 hubo aproximadamente unas 10 familias (GORE-Lima, 2009, p. 34).

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

En esta sección se describirán los métodos, procesos y herramientas utilizadas para cumplir con los objetivos específicos mencionados en el primer capítulo.

Para el primer objetivo específico, se propuso determinar los cambios en la extensión de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo desde su formación, Se realizó un análisis multitemporal con imágenes aeroespaciales. Para ello se utilizó el software ArcGis 10.2, una herramienta del Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para el segundo objetivo específico, referente al análisis del uso del agua para el riego en San Felipe, se realizó una caracterización del sistema de riego actual y un análisis de los cambios en la eficiencia de riego y de los factores que influyen en ella. Asimismo, se determinó la variación del área cultivada y la tasa de utilización de la tierra (porcentaje del área bajo riego que está cultivada) desde el año 1966 hasta la actualidad. Para el desarrollo de este objetivo se utilizaron datos cualitativos y cuantitativos, procedentes de entrevistas, los PCRs e informes técnicos históricos y actualizados.

Para el tercer objetivo específico, se realizaron dos análisis de correlación. El primero fue entre la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio y la dotación de agua para riego. El segundo fue entre la variación de la superficie mencionada y la variación de la tasa de utilización de la tierra en San Felipe para el período 1966-2016.

En relación al cuarto objetivo específico, se identificaron y describieron otros posibles factores que podrían tener efectos sobre la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo, ya que la extracción del agua subterránea del acuífero de San Felipe puede suponer cambios notables en su extensión, así como en su biología,

salinidad y composición del agua (Custodio, 2010, p.119). Se elaboraron algunos mapas que ilustran la ubicación y la variación espacio-temporal de estos.

Se realizaron trabajos de campo en los meses de julio del año 2015, octubre y noviembre del año 2016 y febrero del 2017 al área de estudio para la observación, verificación de procesos, registro de coordenadas de los puntos de interés, así como para realizar las entrevistas a las personas involucradas en la gestión del humedal y del riego.

Por último, es importante señalar que esta investigación no consideró los efectos del Fenómeno El Niño en el área de estudio, como por ejemplo, su posible influencia en la alteración del ciclo hidrológico de la intercuenca San Felipe-Medio Mundo durante los años en los que se registró dicho fenómeno. Dada la compleja interrelación de esta anomalía climática con las variables ambientales, merece ser tomada en cuenta en otras líneas de investigación. Además, los años abarcados por las variables de estudio para esta investigación no coinciden con los años de ocurrencia del Fenómeno, salvo la estación de verano de los años 1997-1998 y 2015-2016. Para estos casos se realizará una explicación en la sección de Resultados.

4.1. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES AEROESPACIALES

Se adquirieron tres proyectos fotográficos del Servicio Aerofotográfico Nacional (SAN) de los años 1945, 1966 y 1971. Sus especificaciones se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Imágenes aeroespaciales del área de estudio

ÍTEM	IMAGEN	FECHA
1	Proyecto fotográfico	22/03/1945
2	Proyecto fotográfico	04/04/1966
3	Proyecto fotográfico	27/10/1971

Elaboración propia. Fuente: SAN

Asimismo, se descargaron dieciocho imágenes satelitales Landsat del servidor Glovis del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), con los sensores TM (Thematic Mapper), ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus) y OLI (Operational Land Imager). Estas se utilizaron para determinar la variación histórica de las áreas de los cuerpos de agua. Quince de ellas fueron imágenes del mes de abril y tres de ellas fueron captadas en marzo. Las especificaciones principales de cada imagen satelital se muestran en el Anexo 2.

Se prefirió trabajar con imágenes satelitales de la misma época para el análisis multitemporal, considerando la estacionalidad de los humedales. Un claro ejemplo de ello es la influencia de una mayor evapotranspiración durante el verano sobre los humedales, a través de la variación del volumen y de los niveles del agua.

Rolando Quezada mencionó en el 2016 que el nivel del agua de la laguna se incrementa durante el invierno, especialmente durante el mes de agosto. También se forman cuerpos de agua, mientras que en verano ocurre todo lo contrario. Es un proceso que ocurre todos los años y que se debe tomar en cuenta para otras investigaciones que incluyen el uso de imágenes satelitales de todo el año.

Cabe resaltar que el proyecto fotográfico de 1971 es del mes de octubre, por lo cual sería una excepción a lo dicho anteriormente, debido a la falta de datos antiguos. Además, puede ser un dato que aporte al conocimiento general de la situación de la superficie hídrica del humedal para dicha época.

El siguiente paso fue la georreferenciación de diez fotografías aéreas; con ello se buscó un posicionamiento espacial y el ajuste adecuado al sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) en la Zona 18 Sur. Es importante señalar que una sola fotografía aérea no ocupaba toda el área de la laguna, por lo que se necesitó de aproximadamente tres fotografías por año. Estas fueron georreferenciadas y se

unieron en mosaicos, de manera que se formó una sola imagen para cada uno de los años: 1945, 1966 y 1971.

En la Figura 4.1, la imagen de la izquierda muestra cuatro fotografías aéreas del año 1945 ya georreferenciadas y unidas en un nuevo ráster, las cuales fueron recortadas para posteriormente facilitar la delimitación manual y determinación del área de los cuerpos de agua de la laguna. Este mismo procedimiento se realizó para las fotografías aéreas de los años 1966 y 1971. Cabe recordar que el procesamiento de imágenes aeroespaciales se realizó en el software ArcMap 10.2.

Figura 4.1. Georreferenciación, unión y recorte de fotografías aéreas de 1945

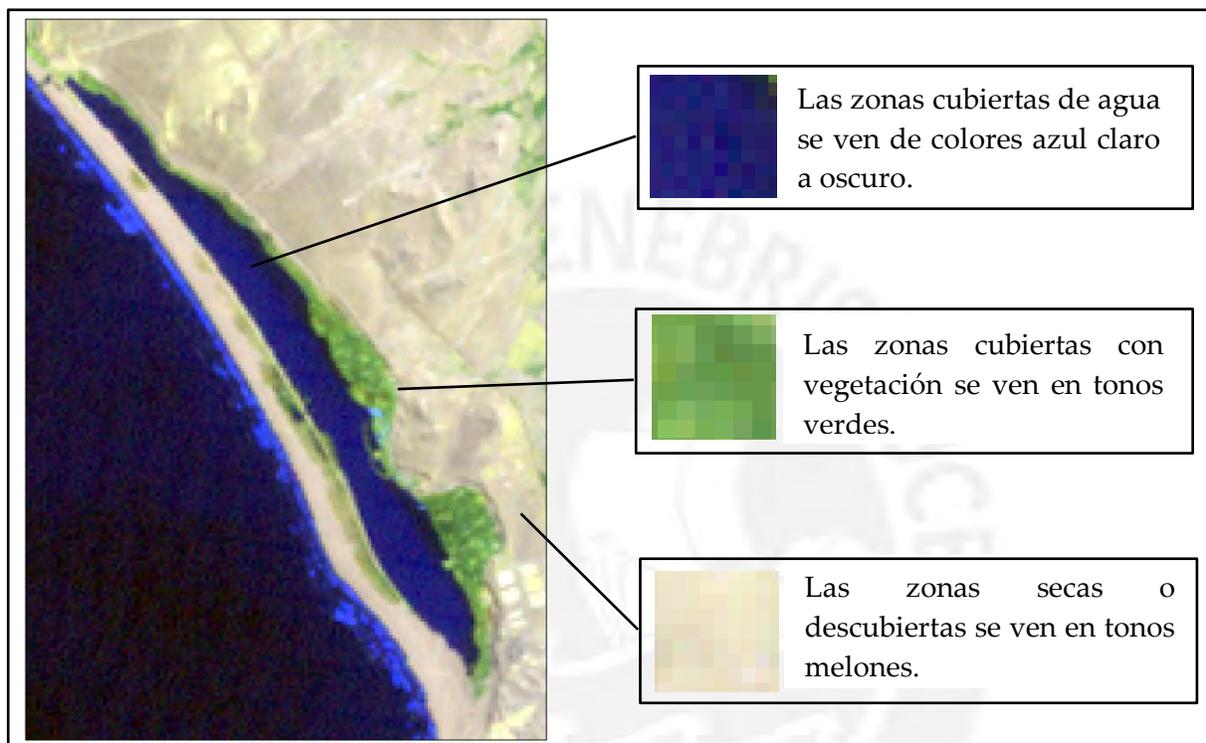


Elaboración propia. Fuente: Fotografías aéreas de 1945 del SAN

Se realizó composiciones de bandas en falso color en las imágenes satelitales. Para la identificación visual de los cuerpos de agua (laguna de Medio Mundo y afloramientos aledaños) se prefirió combinar las bandas 7, 4 y 2 (para Landsat 5 y 7) y las bandas 7, 5 y 3 (para Landsat 8).

En la Figura 4.2 la imagen satelital resultante en falso color muestra zonas cubiertas de agua en colores azul claro a oscuro, lo que favorece a una mejor visualización y rápida identificación de los cuerpos de agua.

Figura 4.2. Visualización de colores en imagen satelital con composición en falso color (bandas 7-4-2)



Elaboración propia. Fuente: Imagen satelital Landsat 5, año 1993

Para las fotografías aéreas, se usó la fointerpretación con la finalidad de identificar los cuerpos de agua. La delimitación de estas superficies se hizo de forma manual, a través del trazado de polígonos.

Para la determinación del área (ha) de los cuerpos de agua en las imágenes satelitales se probaron cuatro métodos: la clasificación supervisada y no supervisada, el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) y el Índice de Agua Modificado de Diferencia Normalizada (MNDWI). Todos estos métodos trabajan con las signaturas espectrales de los píxeles de las imágenes satelitales.

De todos, el método del MNDWI (Xu, 2006) fue la mejor opción para la identificación de los cuerpos de agua. Para hallar el MNDWI de cada imagen satelital se utilizó la fórmula de la Figura 4.3, en donde el espectro visible verde (Green) es la banda 2 y el infrarrojo medio (MIR) es la banda 5 para Landsat 5 y 7 TM. Para Landsat 8 OLI, las bandas utilizadas fueron la 3 y la 6, respectivamente.

Figura 4.3. Fórmula del MNDWI

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$$

Fuente: Xu, 2006

Luego, se escogió manualmente un umbral (valor del píxel) a partir del cual se pudo realizar la clasificación de los cuerpos de agua y áreas sin agua. La Tabla 4.2 indica el umbral escogido para cada año trabajado y a partir de los cuales se hizo el análisis con el MNDWI.

Para los años con imágenes Landsat 5, 1985 y 1986, se trabajó con un umbral de 0.05, pues a partir de este valor todos los píxeles resultantes coincidieron con los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo. Para el caso de las imágenes Landsat 5 en los períodos 1993-1999 y 2004-2010, así como para las imágenes Landsat 8 de los años 2014, 2015 y 2016 se determinó un umbral de 0.1. Por último para las imágenes Landsat 7, de los años 2001, 2002 y 2003, se trabajó con un umbral de 0.3. A partir de dichos valores las áreas resultantes coincidieron con los cuerpos de agua.

Tabla 4.2. Umbrales definidos para la clasificación del MNDWI

SATÉLITE Y SENSOR	FECHA	Umbral
Landsat 5 TM L1T	1985 y1986	0.05
	1993-1999/2004-2010	0.1
Landsat 8 OLI TIRS	2014, 2015, 2016	
Landsat 7 ETM+L1T	2001, 2002 y 2003	0.3

Elaboración propia. Fuente: IGN, Imágenes Landsat 1985-2016

Finalmente, se vectorizaron los polígonos resultantes y se hizo el cálculo del área de la superficie hídrica.

4.2. ANÁLISIS DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS PARA EL RIEGO

El segundo objetivo específico, el cual consistió en el análisis del uso de los recursos hídricos para el riego en la zona agrícola de San Felipe, se subdividió en tres acápites. En el primer acápite se realizó una breve caracterización de algunos aspectos hidrogeológicos pertinentes y en el segundo, una descripción general del sistema de riego de San Felipe en la actualidad. En el tercer acápite se analizaron las variaciones históricas del uso del agua para el riego en la zona de estudio. Para ello, se consideraron tres variables: variación de la dotación al canal principal (m^3/s), variación de la eficiencia de riego (%) y la variación de la tasa de utilización de la tierra (% del área bajo riego cultivado) de San Felipe.

Cabe mencionar que para el análisis de la variación de la eficiencia de riego se describieron los cambios en el tiempo de los factores más importantes que influyen en esta, para lo cual se prefirió seguir un orden cronológico.

Para el desarrollo de este objetivo se realizaron entrevistas que se detallan más adelante, así como la revisión y análisis de informes técnicos y de los PCR del período 2002-2017, esta información fue brindada por la JUAH.

Vale la pena mencionar que la JUAH no cuenta con información desde el año en que fue reconocida (1981) hasta el año 2002. Por dicho motivo se utilizaron datos históricos de esta fuente a partir del 2002 año hasta el 2017, sobre la dotación de agua para riego, el área agrícola bajo cultivo y el área bajo agrícola bajo riego. No obstante, existe información histórica sobre San Felipe en los nueve informes de la FAO, publicados en el año 1970; así como en MINAG (1987a y b). La única observación es que los datos cuantitativos presentados en dichas fuentes refieren sólo a uno o dos años

en específico; lo cual si bien es una limitación de información representa una muestra de la realidad del uso de agua para el riego y, en general, de la actividad agrícola para entonces.

Para el análisis de la variación del área agrícola bajo cultivo también se utilizaron datos provenientes de los PCR. Como forma de contrastar esta información programada en los PCR, se realizó un breve análisis visual de cuatro imágenes satelitales de verano de diferentes años. A partir de ello se elaboró un mapa que sirvió para mostrar dos cosas:

- a) La tendencia y distribución de la variación del área bajo cultivo de manera que se constate con la información de los PCR.
- b) La evolución de la evapotranspiración según la reflectancia de los cultivos a la radiación infrarroja (banda 4, para Landsat 5; y banda 5, para Landsat 8).

En la Tabla 4.3 se muestran las especificaciones de las imágenes satelitales utilizadas.

Tabla 4.3. Especificaciones de las imágenes satelitales usadas para el mapa de variación de áreas de cultivo y evapotranspiración

ÍTEM	SATÉLITE Y SENSOR	FECHA
1	Landsat 5 TM	31/12/1989
2	Landsat 5 TM	01/02/1996
3	Landsat 5 TM	23/02/2004
4	Landsat 8 OLI	05/02/2015

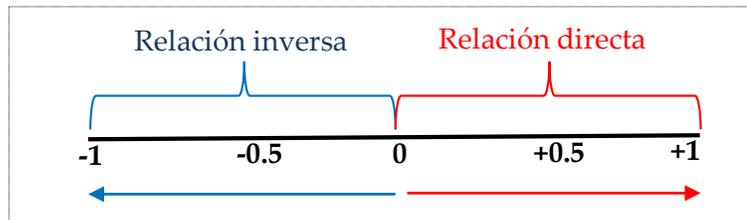
Elaboración propia. Fuente: Glovis USGS

4.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE SUPERFICIE DE CUERPOS DE AGUA, DOTACIÓN DE RIEGO Y TASA DE UTILIZACIÓN DE LA TIERRA

El Análisis de Correlación de Pearson es uno de los métodos más comunes para determinar la asociación lineal entre dos variables cuantitativas continuas. El resultado es el Coeficiente de Correlación de Pearson y se representa con la letra R (Camacho-Sandoval, 2008). Este coeficiente va de -1 a 1, siendo ambos el máximo grado de

asociación lineal entre las variables, considerando que el signo negativo indica una relación inversa y el positivo, una relación directa, tal como se muestra en la Figura 4.4.

Figura 4.4. Correlación de Pearson



Elaboración propia

Cabe mencionar que también se usó el Coeficiente de Determinación (R^2) para indicar los resultados de las correlaciones. Este es el cuadrado del Coeficiente de Correlación de Pearson (R), por ello siempre el signo será positivo. Oscila entre 0 (independencia entre las variables) y 1 (relación lineal perfecta). Es el más apropiado para hacer comparaciones de relaciones lineales entre pares de variables (Molina y Rodrigo, 2010, p. 21).

Se realizaron dos cálculos de correlación, para lo cual se utilizaron tres variables.

- 1) Área de los cuerpos de agua (ha) y dotación de agua para riego (m^3/s).
- 2) Área de los cuerpos de agua (ha) y tasa de utilización de la tierra (%).

Ambos incluyeron el área de los cuerpos de agua como variable dependiente. La variable dotación de agua para riego al canal principal de San Felipe (m^3/s) sería la primera variable independiente. Cabe mencionar que cada uno de los datos que se usaron en cada año de correlación fue equivalente a la suma de los caudales mensuales de dotación de enero a abril, con excepción de los años 2004 y 2016, años cuyas imágenes fueron captadas en el mes de marzo. Por tal motivo, la suma de los caudales fue realizada de enero a marzo para ambos años. La otra variable independiente usada en la segunda correlación es la tasa de utilización de la tierra, denominada así por la

FAO (1970, vol X, p. 37); este es el porcentaje del total de área agrícola bajo riego que está cultivado.

Por otro lado, ya que las áreas cultivadas y bajo riego en los PCR's están categorizados por años agrícolas (de agosto hasta julio del año siguiente), el área de los cuerpos se tuvo que adecuar para corresponder a cada uno de los años agrícolas. En este sentido, se seleccionaron los datos de las áreas correspondientes al año final del año agrícola. Por ejemplo, para el año agrícola 2003-2004 se utilizó el área de los cuerpos de agua de la Albufera del 2004 para la correlación, lo mismo pasó con los demás años.

Hubo dos excepciones; para el período agrícola 1966-1967 se usó el área de los cuerpos de agua del año 1966 como dato para correlacionar. Por último, para la información de la superficie cultivada del año 1987, se usó el dato de área de la laguna del año 1986, pues era el único dato disponible para aquella época y para el mes considerado.

Para ambas correlaciones, se trabajó con los datos disponibles de imágenes satelitales, de los PCR's y de los informes técnicos a mediados de los años 60 y 80. Las Tabla 4.4 y Tabla 4.5 muestran los meses correspondientes a los datos de las áreas de los cuerpos de agua usados. También se especifica la cantidad de años y los años considerados en ambas correlaciones.

Tabla 4.4. Meses y años utilizados para la correlación entre el área de los cuerpos de agua (ha) y la dotación de agua para riego (m³/s)

MES	Nº AÑOS	AÑOS
Marzo	2	2004 y 2016
Abril	9	1967, 2001, 2003, 2005, 2006, 2007, 2010, 2014 y 2015

Elaboración propia

Tabla 4.5. Meses y años agrícolas utilizados para la correlación entre el área de los cuerpos de agua (ha) y la tasa de utilización de la tierra (%)

MES	N° AÑOS	AÑOS
Marzo	1	2015 y 2016
Abril	9	1966-67, 1987, 2002-03, 2004-05, 2006-07, 2009-10, 2013-14 y 2014-15

Elaboración propia

4.4. ANÁLISIS DE OTROS ELEMENTOS INFLUYENTES

Para este objetivo se usó información recopilada de las entrevistas, así como de lo registrado en campo a través de la observación y el registro de coordenadas con un receptor GPS y GLONASS.

Los actores principales identificados fueron Redondos S.A. y la población del CP. Medio Mundo, mientras que las actividades fueron: el bombeo de aguas subterráneas por parte de estos dos actores.

Para poder explicar cómo es que estos influyen en la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo se elaboraron dos mapas. El primero de ellos fue el mapa de la variación de la superficie de galpones de Redondos en el período 1978-2017, en el cual también se localiza el pozo de la empresa.

Por otro lado, se elaboró un mapa de la expansión urbana del CP. Medio Mundo para el período 1971-2016, en donde se muestra la localización de este CP. y el pozo que le pertenece a la Junta Administradora de Servicios y Saneamiento (JASS) de Medio Mundo. De este se extrae agua para el consumo poblacional.

Los mapas se trabajaron en base a imágenes satelitales y las coordenadas registradas con un receptor GPS y GLONASS durante las salidas de campo.

4.5. ENTREVISTAS

El propósito de las entrevistas fue recoger información sobre los siguientes aspectos:

Las preguntas en el sector de la Albufera de Medio Mundo involucraron temas referentes a la formación de la Albufera; la variación espacial de la superficie hídrica y del volumen de agua; características biológicas del humedal; la gestión del humedal; la interacción de la empresa Redondos y el CP. Medio Mundo con la Albufera; relación de la Albufera con la irrigación San Felipe, entre otros temas.

Por otro lado, a aquellos actores de la irrigación San Felipe se les hizo preguntas sobre el método de riego, la variación del uso del agua para el riego, principales cultivos, la eficiencia de riego, la distribución y organización del riego y el estado de la infraestructura hidráulica, entre otros. Las entrevistas fueron realizadas con el modelo de preguntas libres a los actores que se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Actores entrevistados en el área de estudio

NOMBRE	FUNCIÓN	FECHA
Juan Rocas	Guía turístico del ACR AMM	09/07/2015
Anónimo	Vigilante de la Albufera	09/07/2015
Anónimo	Residente del CP. Medio Mundo	09/07/2015
Juan Chávez	Ex-sectorista miembro de la CRSF* Encargado del mantenimiento de la infraestructura hidráulica en San Felipe	09/07/2015 08/01/2017 10/02/2017
Raúl Núñez	Administrador de la JUAH	09/07/2015
Máximo León	Técnico Agropecuario de la JUAH	24/07/2015 14/02/2017
Rolando Quezada	Coordinador Ambiental del Programa Vivencial de Ciencias en la Albufera de Medio Mundo/Vicepresidente del Comité de Gestión de la Albufera/Guía Ecológico	22/10/2016 20/11/2016
Alberto Tamara	Guardián del ACR AMM, trabajador de la Municipalidad Distrital de Végueta	06/11/2016

Elaboración propia

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

En el primer resultado se mostrará la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo. En el segundo, se mostrará la variación del uso del agua para riego, a través de los cambios en la dotación de agua, la eficiencia de riego y la tasa de utilización de la tierra en San Felipe. En el tercer resultado se presentarán dos cálculos de correlación entre variables como el área de los cuerpos de agua de la albufera, la dotación de agua para riego y la tasa de utilización de la tierra. En el último resultado se describirán otros factores que influyen en la variación de la superficie hídrica del humedal.

5.1. VARIACIÓN DE LA SUPERFICIE HÍDRICA DE LA ALBUFERA DE MEDIO MUNDO

El proyecto fotográfico más antiguo del cual se tiene registro para esta zona es del año 1945 del SAN. Está compuesto por 4 fotografías aéreas, con las cuales se realizó la fotointerpretación y el cálculo del área de la superficie hídrica. El área resultante fue de 2.9 ha

Posteriormente al año 1949, año de la construcción del canal de San Felipe según la FAO (1970, vol X, p. 41), el nivel del agua y la superficie de la Albufera de Medio Mundo se incrementaron debido a los retornos de riego (flujos subterráneos) de San Felipe (CIGA-PUCP, 1993, p. 29; MPH, 2009; MINCETUR, 2005; Castillo, 2010; y todos los entrevistados).

En las siguientes tablas se muestran las áreas resultantes de los cuerpos de agua desde 1945 hasta el año 2016. La Tabla 5.1 indica los resultados a partir del trabajo con las fotografías aéreas, mientras que la Tabla 5.2 lo hace en base al análisis multitemporal con las imágenes satelitales Landsat.

Tabla 5.1. Áreas de la superficie de agua de la Albufera de Medio Mundo según las fotografías aéreas. Período 1945-1971

FECHA	ÁREA (ha)
22/07/1945	2.9
04/04/1966	258.7
27/10/1971	252.0

Elaboración propia

Tabla 5.2. Áreas de la superficie de agua de la Albufera de Medio Mundo según las imágenes satelitales. Período 1984-2015

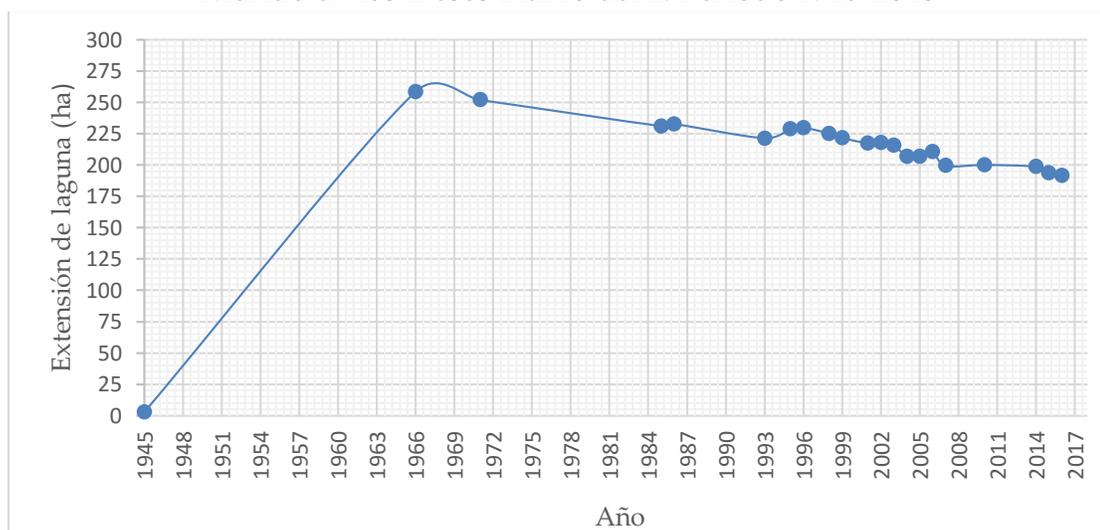
ÍTEM	AÑO	MES	ÁREA (ha)	ÍTEM	AÑO	MES	ÁREA (ha)
1	1985	Abril	231.2	10	2003	Abril	215.8
2	1986	Abril	232.8	11	2004	Marzo	207.0
3	1993	Abril	221.5	12	2005	Abril	206.8
4	1995	Abril	228.7	13	2006	Abril	210.5
5	1996	Abril	229.9	14	2007	Abril	199.5
6	1998	Abril	225.3	15	2010	Abril	200.2
7	1999	Abril	221.7	16	2014	Abril	198.8
8	2001	Abril	217.4	17	2015	Abril	193.9
9	2002	Marzo	217.8	18	2016	Abril	191.6

Elaboración propia

La Figura 5.1 muestra la variabilidad de la extensión de los cuerpos de agua en el período 1945-2016. En esta se aprecia la variación significativa de la superficie hídrica de 1945 al año 1966. La Figura 5.2, por otro lado, muestra la variación de las áreas para el período 1966-2016, pues a partir de 1966 la variación del área no fue tan significativa. En general, se muestra la reducción del área con el paso de los años. El área de los cuerpos de agua en los años 1966 y 1971, que sobrepasó las 250 ha, no se volvió a repetir en años posteriores.

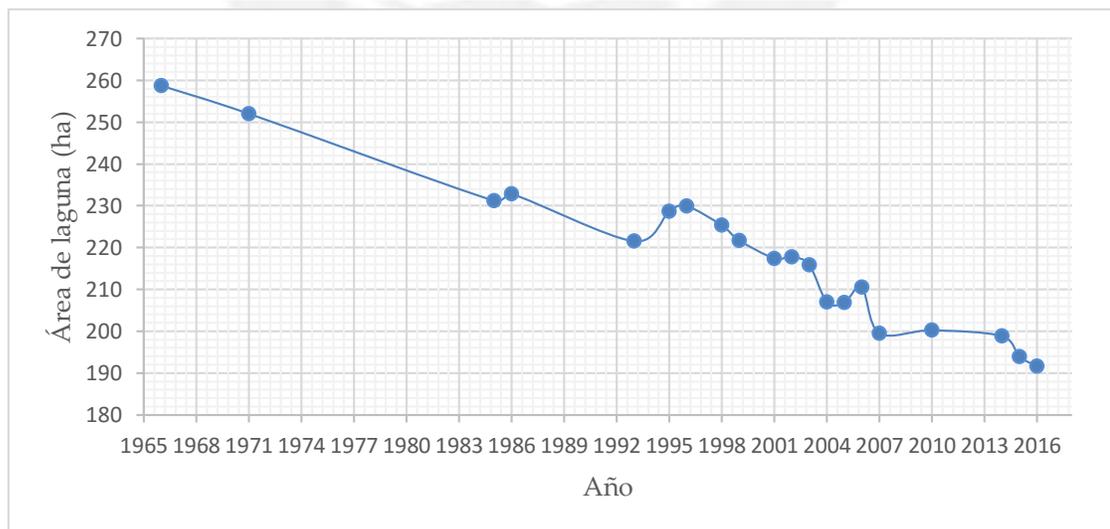
A partir de 1985 se muestra una variación irregular de las áreas, con picos y caídas, explicados por un conjunto de factores, entre los cuales el más importante sería la variación en el riego en San Felipe. Cabe señalar que el Fenómeno El Niño durante los años 1997-1998 y 2015-2016 no parece haber tenido efectos sobre las áreas de la Albufera, pues no se muestran cambios significativos en dichos años.

Figura 5.1. Variación de las áreas de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo en los meses marzo-abril. Período 1945-2016



Elaboración propia. Fuente: imágenes satelitales del SAN (1966 y 1971) y Landsat (1985-2016)

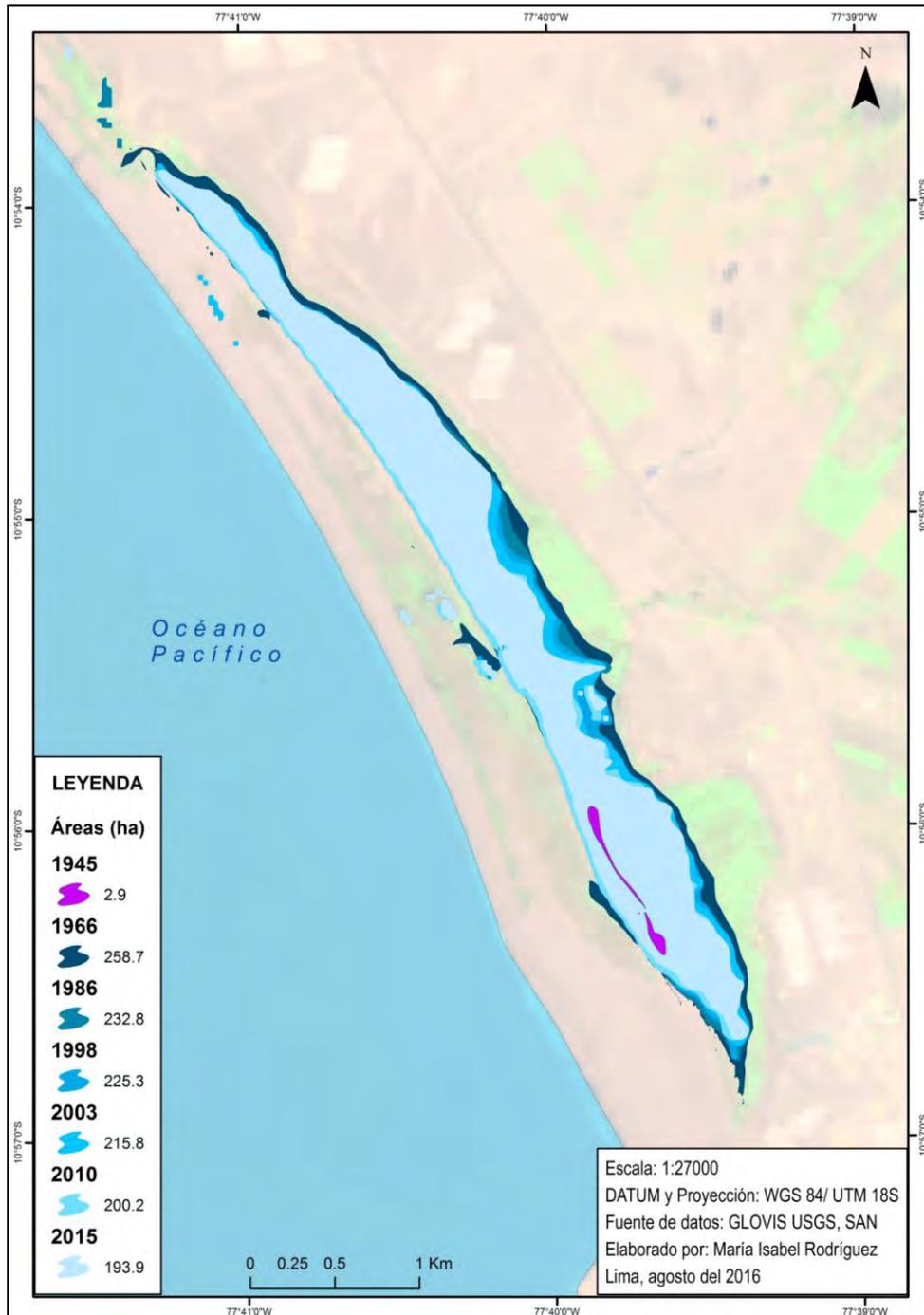
Figura 5.2. Variación de las áreas de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo en los meses marzo-abril. Período 1966-2016



Elaboración propia. Fuente: imágenes satelitales del SAN (1966 y 1971) y Landsat (1985-2016)

El Mapa 5.1 muestra la variación espacial simplificada de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo.

Mapa 5.1. Variación del área de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo 1945-2015



Se observa que para el año 1945 el área de cuerpo de agua era bastante reducida en relación con el área del año 1966 y años posteriores. Asimismo, queda en evidencia la tendencia de la laguna hacia la disminución de su área, especialmente en la zona centro-este.

5.2. USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS PARA EL RIEGO EN SAN FELIPE

5.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO ACTUAL

La irrigación San Felipe comenzó como proyecto de sistema de riego en 1948 (FAO, 1970, vol IV, p. 8) y en el año 1949 se construyó el canal principal llamado de la misma manera (vol X, p. 41). Este es el eje hidráulico principal de todo el sistema de riego desde entonces.

La fuente de captación de agua es superficial y parte del río Huaura. El suministro de agua a San Felipe se efectúa a través de una bocatoma. Según la JUAH (2017) está ubicada en el cauce del río Huaura, a la altura del kilómetro 10.5 de la carretera Huaura-Sayán, a una altitud de 168 msnm. Tiene compuertas de regulación, posee una vida útil de 60 años y su función es regular el ingreso del agua al Canal de Derivación (CD) San Felipe.

Actualmente, existe un desvío rústico en base a cañas y piedras (Ver Figura 5.3). Según la JUAH (2017), Juan Chávez y Máximo León, el incremento del agua en el río durante las avenidas del 2015 averió e inhabilitó la bocatoma fija que había sido construida con barraje de concreto (ALA-Huaura, 2010, p. 8) (Ver Figura 5.4).

Figura 5.3. Toma rústica actual



Fotografía personal. Febrero, 2017

Figura 5.4. Bocatoma inoperativa desde el año 2015



Huacho Portal. Agosto 2015

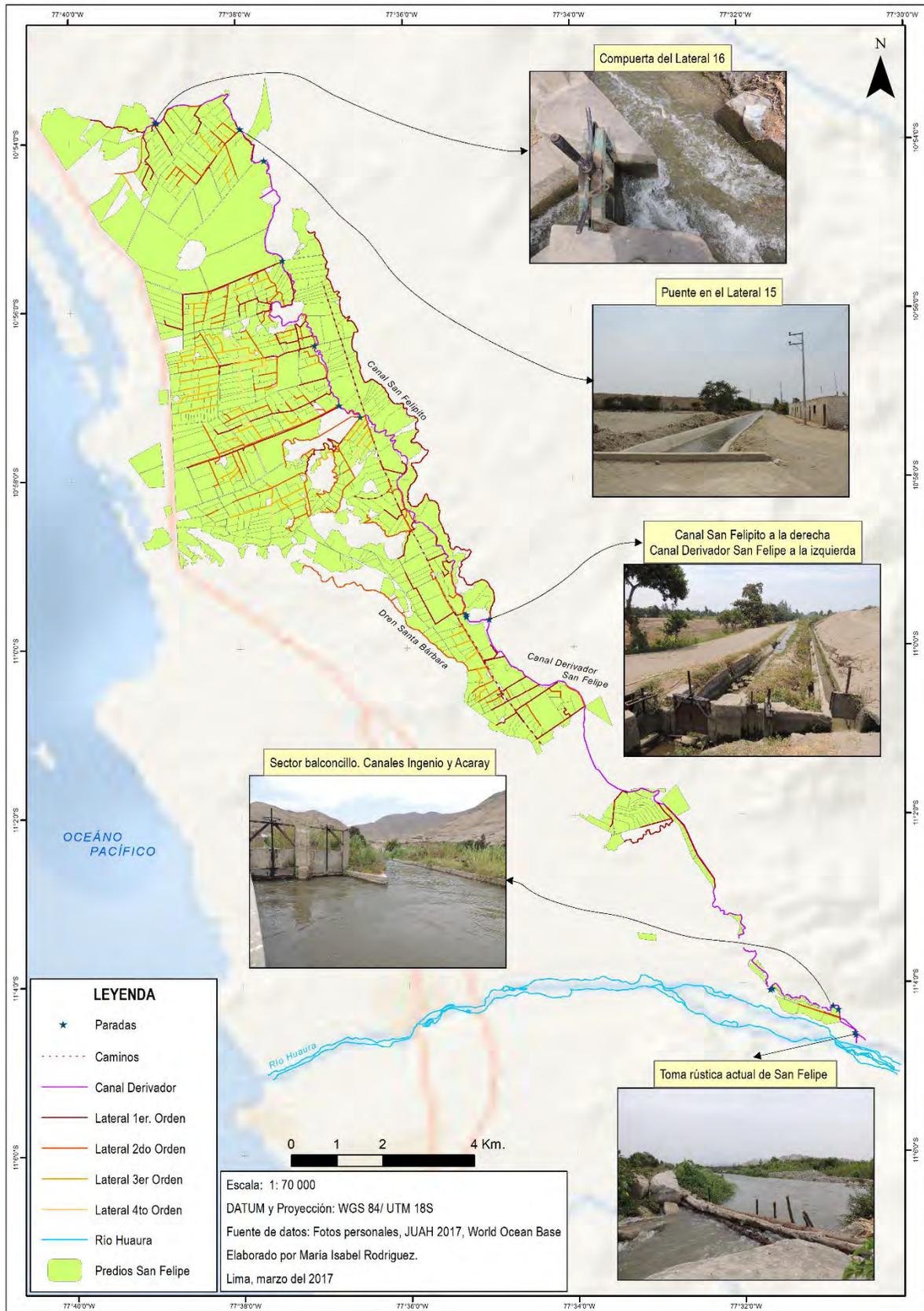
La distribución del agua para riego parte del canal de San Felipe que según la JUAH “está emplazado hacia la margen derecha del río Huaura y tiene una longitud total de 36+014 km., revestido con piedra emboquillada con concreto simple, su caja hidráulica es de sección trapezoidal, revestido con material piedra tipo laja emboquillada en mortero de concreto en un 95 % de la longitud total”. (2017)

En relación a los canales laterales, existe un buen número de ellos de primer a sexto orden (inventario de infraestructura hidráulica). En campo se hizo un recorrido

a lo largo del Canal de Derivación (CD) San Felipe (canal principal) y se confirmó la presencia de 16 laterales de riego de primer orden revestidos con concreto. Además, existe el Dren Santa Bárbara constituida por canales rústicos. Esta filtración se crea por los retornos de riego de San Felipe y Acaray, según Juan Chávez, Máximo León y CIGA-PUCP (1993). En el Mapa 5.2 se muestra la infraestructura hidráulica principal del sistema de riego San Felipe (no se incluyen los laterales de riego del 5to y 6to nivel), este fue elaborado con la información del inventario hidráulico del año 2017 proporcionado por la JUAH y la ALA-Huaura, así como por algunas fotografías registradas en campo.



Mapa 5.2. Infraestructura hidráulica principal del sector de riego San Felipe



El suministro de agua a los canales laterales es regulado por los sectoristas de riego, a través de compuertas metálicas. Según la JUAH, “la Comisión de Regantes San Felipe ha implementado 42 compuertas metálicas a nivel de canal matriz y laterales de primer orden, compuertas con mecanismo de izaje ‘tipo ARMCO’, soporte guía, braquetas deslizantes, las hojas tiene un espesor mínimo de pulgada (1/4”)” (2017).

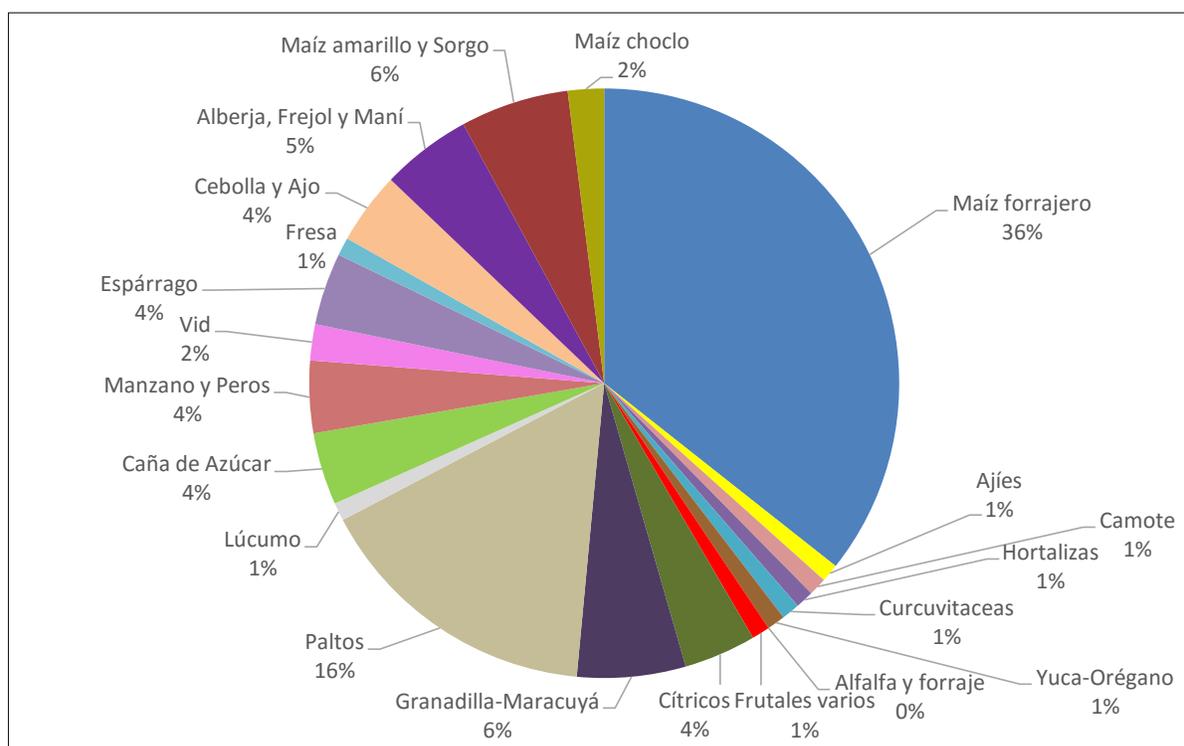
Por otra parte, uno de los métodos de riego más utilizados para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos en el Valle de Huaura es el riego por gravedad (INRENA-FAO, s.f. citado por INRENA, 2005a). Según MINAG (2003), su distribución se hace por melgas, surcos, canales, acequias, entre otros. En la actualidad, según la JUAH (2017), un 63% del área bajo riego de la irrigación San Felipe sigue usando el método tradicional del riego por gravedad, mientras que un 33% utiliza el riego tecnificado (1551 ha).

El sistema de riego San Felipe, está constituido por dos bloques de riego: San Felipe (Bloque N° HUA-01) y Santa Bárbara (Bloque N° HUA-02) (ALA-Huaura, 2010, p. 7). El área bajo cultivo total según el PCR 2016-2017 es de 4429.8 ha, mientras que el área bajo riego, que es equivalente al área agrícola neta⁵ de San Felipe, es de 4739.3 ha. Ello significa que actualmente el área bajo cultivo representa el 93.7% del área que recibe agua para los cultivos, según la programación que hace la JUAH.

En relación a los cultivos predominantes, la JUAH (2017) realiza un análisis de la campaña agrícola que va de agosto del año 2014 a julio del 2017 y determina que los más significativos son: el maíz forrajero, el palto, el maíz amarillo duro, frejol, menestras, espárragos, caña de azúcar y otros frutales. En la Figura 5.5 se muestra los cultivos instalados en San Felipe, con sus respectivos porcentajes.

⁵ Incluye el área correspondiente a la infraestructura de riego, drenaje y vial (MINAG, 1987a, V-73).

Figura 5.5. Cultivos instalados en San Felipe. Campaña Agrícola 2014-2017



Elaboración propia. Fuente: JUAH (2017)

5.2.2. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL USO DEL AGUA PARA EL RIEGO

La finalidad de este análisis histórico es mostrar los cambios ocurridos en relación al uso de los recursos hídricos para el riego en San Felipe desde su creación como irrigación en 1948 hasta la actualidad. Esto podrá dar alguna noción de cómo la variación de la organización del riego y la política agraria del país han sido determinantes en la forma en que se ha venido utilizando el agua de regadío en el área de estudio.

5.2.2.1. VARIACIÓN DE LA DOTACIÓN DE AGUA PARA RIEGO

Para INRENA, la dotación de agua para riego es:

“la cantidad de agua necesaria que debe llegar a los predios para producir una cosecha determinada. Incluye el agua consumida por los cultivos y la que se pierde dentro de los

predios, ya sea por escorrentía o infiltración profunda, este último cuando se humedece a profundidades mayores a la de las raíces". (2005a)

Este concepto de dotación hace referencia a una escala de predios o de la unidad terciaria. Según la FAO (1970, vol V), "la dotación de agua para riego es la cantidad de agua que ha de aplicarse al campo para satisfacer la evapotranspiración más todas las pérdidas de agua relacionadas con el sistema de ordenación de agua" (p. 34). En este sentido, vendría a ser el volumen o caudal de agua total que ingresa al sistema agrícola de San Felipe para ser usada con fines de riego.

El área de estudio incluye a todo el sistema de riego de San Felipe, por lo que el concepto de dotación más adecuado para ser considerado en esta sección será el señalado por la FAO (1970, vol V), que considera también las pérdidas de agua desde el inicio de su recorrido hasta su aplicación en campo.

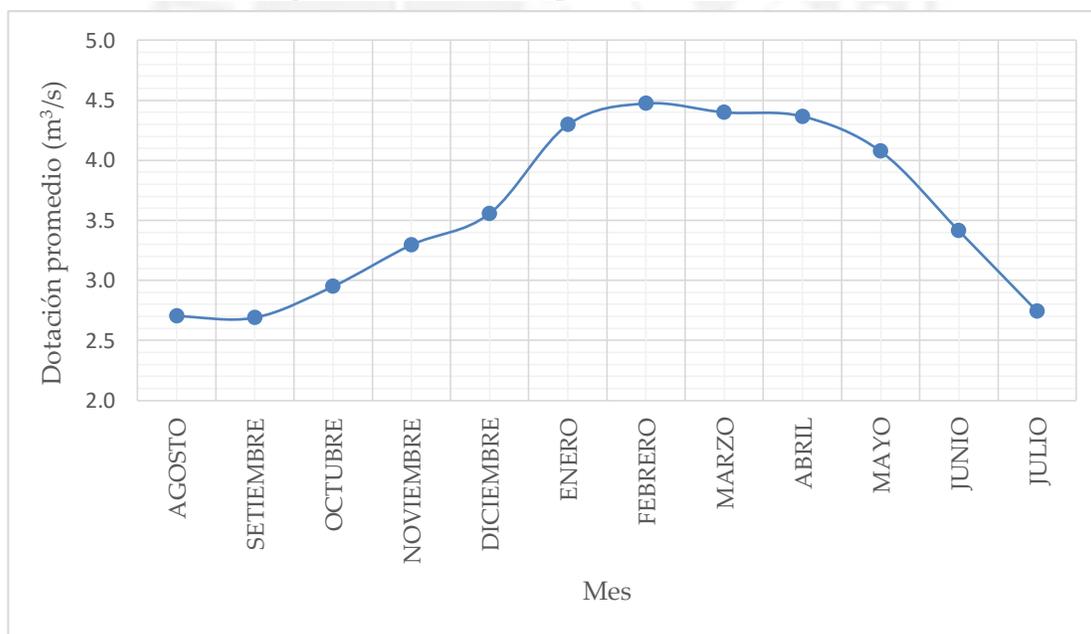
Según Máximo León, la programación de la dotación de agua para riego es presentada por la CRSF a la JUAH. La JUAH en base a ciertos criterios le asigna a la CRSF un volumen de agua una vez que la solicitud de autorización presentada a la ALA-Huaura, quien cumple una función normativa, haya sido aprobada. Según ello se realiza la operación y distribución diaria del riego en San Felipe.

Se debe considerar que los caudales de dotación de agua se otorgan en base al promedio de la demanda neta de agua, el área en cuestión (FAO, 1970, vol V, p.12), la capacidad de conducción del CD San Felipe, según Juan Chávez y Máximo León y; por último, la disponibilidad hídrica del río Huaura. Este último viene a ser el factor limitante respecto al uso del agua, por lo cual debe ser tomado en cuenta en la planificación de los cultivos y el riego.

Una forma de comprobar que la variación de la descarga hídrica del río Huaura es un factor limitante para la dotación de agua para el riego en San Felipe es que los valores máximos y mínimos mensuales de la dotación registrada coinciden con los meses de descarga máxima y mínima del río Huaura para el período 1967-2016 (Ver Figura 5.6). Esta variación de las descargas del río fue mostrada en el Capítulo 3, en el acápite de caracterización de la hidrología del río Huaura.

Los datos de los caudales de dotación (m^3/s) presentados a continuación forman parte de lo entregado por la CRSF al CD San Felipe, no de lo programado. En este sentido, es información registrada diariamente por los sectoristas, a diferencia de los PCRs. Por tal razón, aún no se cuenta con los datos del presente año 2017, sino sólo hasta el año pasado, 2016.

Figura 5.6. Variación mensual de la dotación promedio de agua (m^3/s) para riego al canal San Felipe. Período 1967-2016



Elaboración propia. Fuente: FAO (1970, vol I), JUAH

De esta figura se interpreta que los meses con los caudales más altos de dotación de agua para riego (m^3/s), durante el período estudiado, coinciden con la época de

avenidas de la cuenca del río Huaura, es decir de enero a abril; mientras que los meses en los que la dotación de agua para riego es menor coinciden con la época de estiaje del río; es decir, entre los meses de mayo a diciembre.

Es preciso mencionar también que actualmente la capacidad máxima de conducción del canal de San Felipe, según Juan Chávez y Máximo León es de, aproximadamente 4.5 m³/s. Ambos entrevistados señalaron que durante la época de avenidas en la cuenca del río Huaura, cuando hay una mayor disponibilidad de agua, la dotación de agua que la JUAH le asigna al bloque de riego San Felipe casi siempre cubre al 100% la capacidad de conducción del canal. En otras palabras, suponiendo que se cumpla con la eficiencia de riego proyectada en la programación de cultivo y riego, el agua dotada al sistema San Felipe satisfaría la totalidad de la demanda neta de los cultivos de toda la irrigación.

Por otro lado, durante los otros meses del año ocurre lo opuesto. Según los entrevistados, el caudal asignado en época de estiaje está por debajo de la capacidad máxima de conducción del canal de San Felipe, ello debido a la falta del recurso agua para satisfacer las demandas hídricas de los cultivos. Por ejemplo, a finales de la década de los 60, en el volumen V de la FAO se señalaba lo siguiente (Ver Tabla 5.3):

“Durante enero, febrero, marzo y abril, el período cuando el flujo del río y el riego requerido son óptimos, el agua es desviada desde el río a los varios canales de suministro en proporción a la capacidad máxima de estos canales, montando a un módulo de dotación de aproximadamente 1,2 l/seg/ha [5.4 m³/s]. Durante el período restante del año el agua está dotada en base al flujo real del río y a la total área de riego”. (1970, vol V, p. 17)

Tabla 5.3. Caudales mensuales de dotación de agua. Período 1966-1967

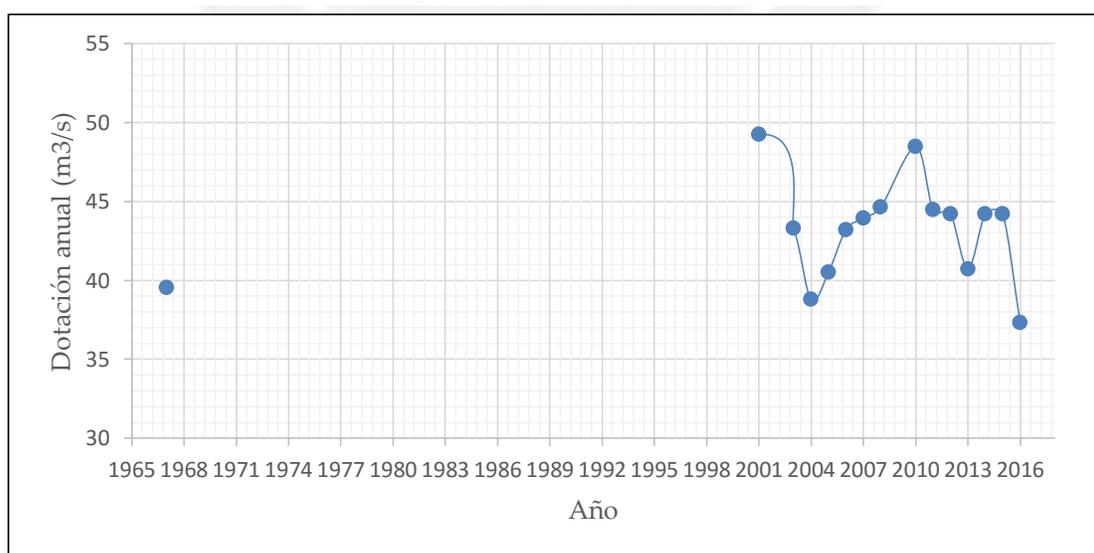
AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
1.8	2.0	2.3	2.7	2.7	5.4	5.4	5.4	5.4	2.7	1.9	1.9

Elaboración propia. Fuente: FAO (1970, vol I)

De lo citado se desprende que el criterio para el uso de agua, a través de la dotación para riego no ha cambiado en el tiempo; sin embargo, lo que sí se ha modificado ha sido la capacidad máxima de conducción del canal de San Felipe. A finales de la década de los 60 esta fue de 5.4 m³/s, mientras que en la actualidad es de aproximadamente 4.5 m³/s. Según Juan Chávez y su experiencia como sectorista de riego en San Felipe, ello se debe a que hoy en día el CD San Felipe, a pesar de estar totalmente revestido con concreto, al ser un canal con más de 65 años de antigüedad presenta claras señales de desgaste (grietas) y falta de mantenimiento en algunos tramos.

Con respecto a la variación anual de los caudales de dotación de agua para riego en el período 1967-2016, la tendencia no es muy clara debido, en parte, a la falta de datos desde el año 1967 (Ver Figura 5.7). Para dicho año el caudal anual de dotación era de 39.5 m³/s. Es notorio que a pesar que el canal San Felipe conducía un valor mayor de caudal de agua que en la actualidad, el valor total del caudal anual para entonces sea menor al promedio de los valores anuales a partir del año 2001.

Figura 5.7. Variación del caudal anual de dotación de agua para riego al canal San Felipe. Período 1967-2016



Elaboración propia. Fuente: FAO (1970, vol I), JUAH

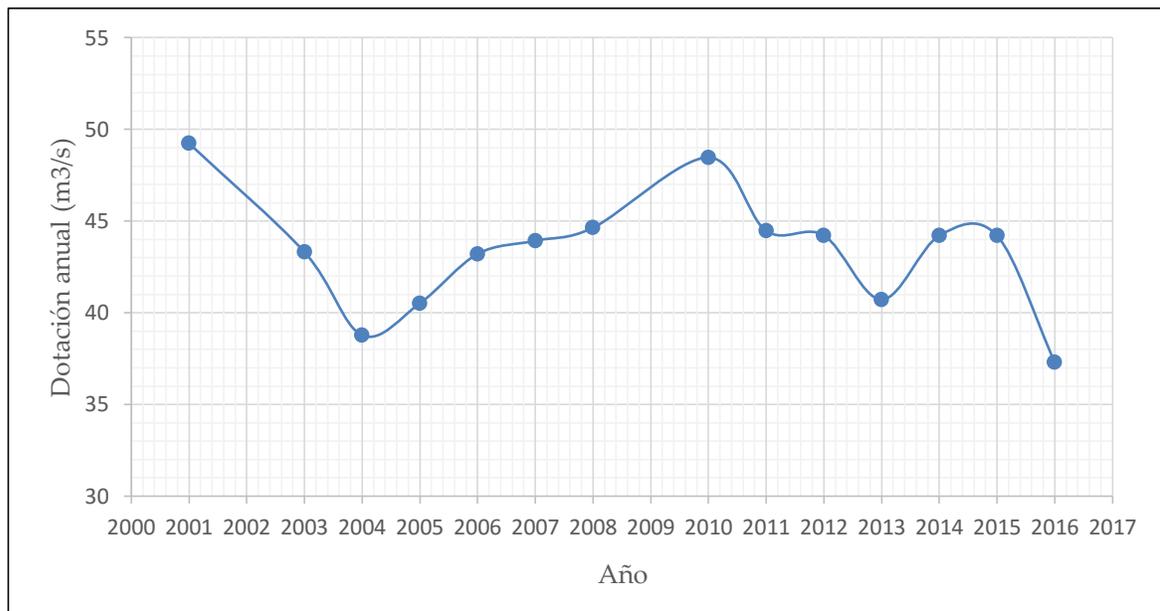
Según la FAO (1970, vol I), la causa sería el bajo caudal de dotación de agua para riego en los meses de la época de estiaje del río Huaura. Para finales de la década de los años 60, la capacidad de retención de los sistemas de captación y aforo de agua durante la época de avenidas (reservas de las presas de Surasaca y Cochaquillo) para su uso en operaciones de riego durante los meses de estiaje, era tan pequeña que no podía satisfacer las deficiencias del riego en meses de escasez de agua (p.30). Esto también se demuestra en la Tabla 5.3, en donde el caudal mínimo de agua que conducía el CD San Felipe llegaba hasta 1.8 m³/s para entonces.

Según Juan Chávez, en la actualidad con este mínimo caudal de agua el canal de San Felipe no podría estar operativo. Por otra parte, Máximo León mencionó que el caudal que se dota en meses de estiaje se hace en referencia a un módulo de riego (menor en invierno que en verano), que también está supeditado a las variaciones de las descargas hídricas del río Huaura.

La Figura 5.8 muestra la misma información que el gráfico de líneas anterior, pero delimitado al período 2001-2016, de manera que se tenga una visualización más clara de la variación de los caudales anuales.

Se aprecia que el caudal anual de dotación de agua para dicho período es bastante variable y no sigue una tendencia. Todas las fluctuaciones, en especial los valores mínimos, se deben a los impactos generados principalmente por la presencia de huaycos que dañan las infraestructuras de conducción y distribución de gran parte de los sistemas de riego de la cuenca, por lo que afectan los valores de los caudales de dotación de agua para riego, según Máximo León. Por otro lado, también tienen influencia los años secos en los valores más bajos mostrados.

Figura 5.8. Variación anual de dotación de agua para riego al canal San Felipe. Período 2001-2016



Elaboración propia. Fuente: FAO (1970, vol I), JUAH

Un claro ejemplo de la dependencia del caudal de conducción del canal San Felipe a la dinámica hidrológica de la cuenca del río Huaura fue lo que ocurrió en agosto del año 2016, cuando el caudal de dotación bajó a un mínimo de 2.4 m³/s. Juan Chávez señaló que se debió a factores que la JUAH no pudo controlar, como es el caso de la afectación de la bocatoma, en agosto del 2015, por las fuertes avenidas ocasionadas por el Fenómeno de El Niño. Esta fue la razón principal por la que el caudal anual de dotación de agua para riego en San Felipe del año 2016, registró un caudal de 37.3 m³/s, el mínimo valor en todo el período, como se muestra en la Figura 5.8.

5.2.2.2. VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RIEGO

Los estudios para la determinación de las eficiencias de riego en San Felipe han sido muy escasos (INRENA, 2005a). La Tabla 5.4 muestra los valores de los porcentajes de eficiencia de riego y la fuente de recopilación de dicha información. Cabe recordar

que la eficiencia de riego es el producto de las eficiencias de conducción, distribución y aplicación (Ídem).

Tabla 5.4. Eficiencias de riego para el sistema de riego San Felipe

FECHA	EFICIENCIA DE RIEGO (%)	FUENTE
1967	15	FAO (1970, vol X, p. 37)
1993	32	CIGA-PUCP (1993) INRENA-FAO (1993)
2004	32	INRENA (2005a)
2017	35	JUAH (2017)

Elaboración propia

La información de esta tabla muestra que los porcentajes de las eficiencias de riego en San Felipe son significativamente bajos. Sin embargo, al año 2017 la eficiencia de riego ha variado, esta se ha incrementado en 17 puntos porcentuales, siendo un poco más del doble de lo que fue para finales de la década de los años 60.

No obstante, este incremento significativo de la eficiencia aún significa que más de la mitad del agua (65%) que ingresa al sistema de riego de San Felipe no constituye el consumo del agua por parte de los cultivos (no se evapotranspira), por lo que se pierde de distintas formas: “por percolación profunda por debajo de la zona radicular, por escurrimiento al pie de la parcela, por evaporación antes de llegar al suelo, o desde la superficie del suelo o de la cubierta vegetal, y por deriva por efecto del viento fuera de la parcela”. (Petillo, 2011, p.79)

Se debe resaltar que la mayor parte de las bajas eficiencias del sistema se concentran en la aplicación del riego a nivel de parcela (Playán, 1994, p. 120), más que en la conducción y distribución. Ello sumado a la alta permeabilidad de los suelos (CIGA-PUCP, 1993, p.44) generan grandes volúmenes de excedentes hídricos que se percolan profundamente y recargan el acuífero (uso no consuntivo) (Lecina et al., 2009,

p. 20). Cabe resaltar que la percolación del exceso de agua de regadío es el único medio de reposición para el acuífero de San Felipe (FAO, 1970, vol I, p. 24).

Otro de los aspectos importantes a señalar son las mayores pérdidas operacionales durante el riego que se dan durante la época de avenidas, ello ocurre en todo el valle del río Huaura, incluyendo a San Felipe. INRENA (2005a), señala dos razones por las que ello sucede:

La primera de ellas es la no regulación del caudal del canal principal. En el anterior acápite se mencionó que durante los meses de avenidas el canal conduce un caudal proporcional a su máxima capacidad, ello implica que casi siempre la dotación supere la demanda de agua (neta) de los cultivos de San Felipe, generándose pérdidas significativas de agua, especialmente por percolación profunda.

La segunda razón refiere a la frecuencia del riego. Según el ex-sectorista Juan Chávez, el riego en San Felipe, tanto en invierno como en verano, se hace por la modalidad de rotación sobre grupos de tomas. Por 48 horas continuas las compuertas de los laterales de primer orden del sector norte de la irrigación (aproximadamente 2400 ha) quedan abiertas, mientras que las compuertas del sector sur (la otra mitad del área bajo riego) permanecen cerradas hasta que le corresponda su turno de riego en las siguientes 48 horas. INRENA (2005a) señala, para este caso, que las pérdidas durante el verano son mayores, ya que los agricultores no llegan a regar las 48 horas seguidas, lo que ocasiona una menor eficiencia de riego. Por lo tanto, al haber más agua y menor eficiencia las pérdidas se incrementan. Cabe recordar que durante el verano la evapotranspiración es de 4 a 7 mm, mientras que en invierno varía de 1 a 2 mm (FAO 1970, vol IV, p.1). Esto quiere decir que en verano posiblemente gran parte de las pérdidas sean por evaporación del agua en el suelo, más que por filtraciones.

A continuación se presentará una descripción cualitativa de la variación de cada uno de los factores principales que tienen mayores influencias en la determinación de la eficiencia de riego en San Felipe, desde finales de la década de los 60 hasta la actualidad. Todo lo expuesto se hará en base a la literatura existente, la experiencia en campo y las entrevistas. Esto servirá para complementar la información cuantitativa presentada en la Tabla 5.4.

a) Nivelación de terrenos

Este es uno de los factores más importantes que tiene efectos directos en las eficiencias de aplicación y distribución del riego. Ello se debe a que la nivelación de terrenos forma parte del diseño y operación del riego por gravedad (Petillo, 2011, p. 79); en otras palabras, es un condicionante físico para mejorar la eficiencia de aplicación y distribución del riego.

Mientras el terreno no haya sido nivelado, el microrelieve irregular de las tierras persistirá y no podrá haber una buena uniformidad del riego; esto quiere decir que habrán zonas en las que se aplica un exceso de agua en relación a la demanda neta de los cultivos; mientras que en otras zonas no se podrán satisfacer estas necesidades. Por dicha razón los cultivos no podrán alcanzar su máximo rendimiento (Lecina et al., 2009, p. 47).

La Tabla 5.5 presenta una pequeña recopilación de la información histórica existente en relación con la aplicación de la nivelación de la tierra en San Felipe.

Tabla 5.5. Variación de la nivelación del terreno en San Felipe

Período	Nivelación del terreno	Fuente
Finales de los años 60	Nivelación de suelos insuficiente: suministro de agua para riego muy defectuoso.	FAO, 1970, vol X, p.41
Finales de los años 80	Nivelación del terreno dentro de las melgas no era la más óptima.	MINAG, 1987a, p. v-59
Actualidad	Realización de nivelación del terreno en varios predios de San Felipe.	Juan Chávez Máximo León

Fuente: Elaboración propia

b) Infraestructura hidráulica y estructuras de medición

El estado de la infraestructura hidráulica y la presencia de estructuras de medición en un sistema de riego tienen impactos significativos en las eficiencias de conducción y distribución de la misma.

Ya son bien conocidas las características de los suelos de San Felipe; es decir, suelos franco-arenosos, altamente permeables y con baja capacidad de conservación de la humedad de los suelos. Estos suelos permiten la percolación profunda del agua de riego con facilidad (CIGA-PUCP, 1993, p. 44).

El MINAGRI señala que uno de los principales problemas de los canales sin revestimiento son las pérdidas de agua por las filtraciones, así como la acumulación de raíces, arbustos, malezas, piedras, entre otros (2012, p. 9). En este sentido, la forma más óptima de reducir las pérdidas de agua por conducción y distribución sería a través del revestimiento de los canales con algún material que evite en buena medida las filtraciones.

La Tabla 5.6 presenta una breve recopilación de la variación de la infraestructura hidráulica y las estructura de medición en San Felipe.

Tabla 5.6. Situación histórica de las condiciones físicas del sistema hidráulico

PERÍODO	INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS DE MEDICIÓN	FUENTE
Finales de los años 60	Sistema de riego dentro de las granjas y parcelas consistía en presas y badenes sin revestimiento alguno.	FAO, 1970, vol X, p.41
	Deficiente estado de los sistemas de distribución: falta de revestimiento de los canales de regadío.	FAO, 1970, vol V, p. 71
	El 26% del agua a la que tenía derecho la granja Camay no llegaba a ella. Esta situación se replicaba en otras zonas al inferior de un canal de suministro	FAO, 1970, vol X, p.43
	Falta de los dispositivos para regulación del suministro del agua. “La dotación de agua a las haciendas particulares era principalmente cuestión de adivinanza, quedando librada la dotación del agua al favoritismo de parte del personal administrativo responsable”.	FAO, 1970, vol V, p. 7
	Falta de embalses y tanques de almacenamiento	FAO, 1970, vol I, p. 42
Finales de los años 80	Carencia parcial de mantenimiento y de revestimiento del canal principal. 9 laterales de riego estaban revestidos, pero todos los demás estaban contruidos en tierra.	MINAG, 1987a, p. V-52
	Falta de mantenimiento y revestimiento del canal principal con deterioros en varios tramos. Problemas de sedimentación de depósitos en el fondo del canal.	MINAG, 1987a, p. IX-2
	Pérdida de la capacidad de conducción del canal en ciertos tramos.	MINAG, 1987a, p. VII-23
	El 30% de las compuertas metálicas de 34 de las tomas parcelarias del canal principal no funcionaba de manera óptima debido al desgaste propio de la antigüedad.	MINAG, 1987a, p. V-54
	Inexistencia de obras de medición y regulación en San Felipe	MINAG, 1987a, p. V-67
Año 1993	Falta de revestimiento en la mayoría de los canales de conducción y distribución	INRENA-FAO, 1993
	Sistemas muy deficientes. Se recomendó construcción de micro reservorios.	CIGA-PUCP, 1993, p.52
Año 2005	Compuertas deterioradas y corroídas por falta de mantenimiento continuo	JUAH, 2017
Año 2009	80 km de los 80 canales de San Felipe no estaban revestidos y 65 km sí lo estaban	GORE-Lima, 2009
Actualidad	96% del canal principal revestido Implementación de 42 compuertas metálicas a nivel de canal matriz y laterales de primer orden	JUAH, 2017

Elaboración propia

A manera de complementar la información de la tabla anterior, en la actualidad, el revestimiento del canal principal de San Felipe se refleja en la eficiencia de conducción promedio del canal, el cual es de 95.3%, lo que significa un incremento, en relación a lo estimado por el INRENA en el año 2005, que fue 83.4%. Así también, la implementación de las 42 compuertas metálicas ha permitido aumentar la eficiencia de distribución en un 4% en los últimos 10 años; es decir a 84% (JUAH, 2017).

Se ha considerado separar la descripción de la situación histórica de la estructura de captación más importante para San Felipe, que es la bocatoma; ya que si bien esta forma parte de la infraestructura hidráulica, eventos como la subida de los caudales del río Huaura y los huaycos durante la época de avenidas o el Fenómeno El Niño, pueden ocasionar cambios súbitos en su operación que, dependiendo de su intensidad, puede alterar todo el sistema de riego de forma indefinida.

La FAO, para fines de los años 60, describió a las 14 bocatomas del valle de Huaura (incluyendo a la de San Felipe y con excepción de la de Santa Rosa) como primitivas y con artefactos provisionales de diseño anticuado. Estas, durante la época de avenidas, cuando el río eleva su caudal y serpentea en su cauce, en muchos casos son arrastradas por la corriente o simplemente, se quedan sin agua (1970, vol V, p. 7).

Desde su construcción han sido más de cinco veces que la bocatoma, que cumple la función de regular el ingreso de agua al canal principal, se ha visto afectada e inhabilitada por las fuertes corrientes del río Huaura. Asimismo, la alta presencia de sedimentos en suspensión y arrastre traídos por los huaycos en épocas de avenidas ha averiado la bocatoma (en especial las compuertas) y algunos tramos del canal principal, según explicó Juan Chávez.

Según la FAO (1970, vol VI), la bocatoma de San Felipe fue reconstruida en 1967, luego de ser dañada durante la temporada de crecientes del río Huaura (p. 8). En el año

1984, la bocatoma que había sido construida en base a concreto fue afectada quedando en desuso desde entonces; asimismo, partes del canal principal se rompieron en dicho año. Se construyó una toma completamente rústica 1 km más arriba (que derivaba el agua con “mancarrones” de troncos y piedras); esta funcionó hasta poco después de 1987, año en el cual se puso en proyecto la construcción de una nueva bocatoma (MINAG, 1987a, p. V-51).

Según Juan Chávez y el administrador de la CRSF Raúl Núñez años más tarde, en 1998, el Fenómeno de El Niño volvió a afectar las compuertas de la bocatoma de San Felipe y, en especial, el canal principal que se partió en 3 partes. Finalmente, en el año 2015, la bocatoma quedó inoperativa por el mismo problema, por lo cual actualmente existe una toma rústica.

A pesar de todo, se debe reconocer que a partir de la mayor regulación de las cobranzas de las tarifas de agua (a partir de la Ley de Recursos Hídricos) se ha invertido y financiado, en mayor magnitud, la ejecución de obras de mantenimiento de canales y de la bocatoma en San Felipe (CRSF, 2011a).

Aplicación y prácticas de riego

La determinación de la eficiencia de aplicación es más complicada pues, se hace a nivel de parcela y depende de la forma como cada uno de los agricultores realice el riego. Sin medidores, ni instrumentos de control del caudal en la mayoría de las parcelas, se puede inferir que los datos de eficiencia de aplicación a nivel del sector de riego San Felipe son difícilmente generalizables. Sin embargo, la premisa que indica una notable mejora en la actualidad de la aplicación del agua a los cultivos y al suelo es totalmente verosímil por los siguientes motivos:

La implementación de la actividad agrícola en suelos de zonas áridas costeras implica lidiar con la presencia elevada de sales, por lo que se recomienda el lavado y

drenaje de los suelos antes y durante la siembra, tomando en cuenta que en San Felipe se practica mayormente el riego superficial por el método de surcos, bordes de desviación (FAO, 1970, vol VI, p. 5) y melgas, según MINAG (1987a, p. V-113).

Como bien lo explica Lecina et al. (2009), “el riego en zonas áridas requiere de hecho ‘dos veces’ agua: primero para cubrir las necesidades de agua (ETp) de los cultivos; segundo para cubrir las necesidades de lavado de sales de los cultivos” (p. 72). Por otro lado, según la FAO, si se sigue un régimen de riego, se evitaría el problema de la salinización y el ensalitramiento de los suelos (1970, vol I, p.20). La Tabla 5.7 indica la variación de la aplicación y prácticas de riego en San Felipe.

Tabla 5.7. Situación histórica de la aplicación y prácticas de riego

PERÍODO	APLICACIÓN Y PRÁCTICAS DE RIEGO	FUENTE
Finales de los años 60	Riego en forma excesiva. Gran filtración de nutrientes y pérdidas considerables de agua por percolación profunda	FAO, 1970, vol I, p. 42
	Según agricultores, la mayor pérdida durante el riego ocurría en el campo	FAO, 1970, vol V, p. 12
	Desperdicio de agua era intencional para realizar el lavado de los suelos a través de la producción de la alfalfa, cultivo predominante para fines de los 60.	Juan Chávez
Finales de los años 80	La fuente principal de recarga del acuífero eran las pérdidas de campo del agua de riego	MINAG, 1987a, v-42
	Aplicación del agua para lavado de los suelos fue disminuyendo. Presencia de sales cada vez menor.	Juan Chávez
Actualidad	33% del área bajo riego con riego tecnificado. Mayor implementación del riego por goteo y por aspersión.	JUAH, 2017

Elaboración propia

En la actualidad, la implementación cada vez mayor del riego tecnificado ha significado una mayor eficiencia de aplicación, que va de 85 a 90%. Esto ha posibilitado el aumento de una nueva eficiencia de aplicación que llega en promedio a 66%. Este porcentaje es mucho mayor al valor calculado por INRENA en el año 2005, que fue de 48-51% (JUAH, 2017). Esta baja eficiencia de aplicación en el 2005 se explica por las

malas prácticas de riego y, en general, por una mayor predominancia del riego por gravedad tradicional, a través del cual se generan más pérdidas, especialmente por percolación profunda.

Tanto Juan Chávez como Máximo León confirmaron que la eficiencia de aplicación en San Felipe tiende a aumentar. Ambos atribuyeron a la variación de las técnicas de riego como el factor principal para explicar dicha tendencia. Asimismo, precisaron que mientras no se implementen los sistemas de riego presurizado y disminuya el riego por gravedad tradicional, no habrá cambios significativos en la eficiencia por aplicación. Según MINAG (2003), el riego presurizado es el que tiene una eficiencia mayor de aplicación del agua al suelo para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Asimismo, menciona que se adecúa bien en las zonas áridas, sobre suelos arenosos (MINAG, 2003).

Tenencia y uso de la tierra y administración

Según la FAO (s.f.), la tenencia de la tierra está constituida por una red de intereses interrelacionados que determinan quiénes pueden utilizar qué recursos, durante cuánto tiempo y bajo qué circunstancias. La estructura de tenencia en San Felipe ha sido uno de los factores más importantes con impactos en la forma cómo se han aprovechado los recursos naturales tales como el agua y la tierra, lo cual ha limitado o favorecido el aumento de la producción de San Felipe. Asimismo, es importante considerar una serie de cambios en la política agraria y de recursos hídricos que también tuvieron efectos trascendentales en la estructura de tenencia de la tierra y el agua, así como en la forma del aprovechamiento de los recursos.

La Tabla 5.8 muestra la variación de algunos aspectos concernientes a la tenencia y uso de la tierra, así como a la administración del riego en San Felipe.

Tabla 5.8. Situación histórica de la tenencia, uso de la tierra y administración

PERÍODO	TENENCIA, USO DE LA TIERRA Y ADMINISTRACIÓN	FUENTE
Finales de los años 60	Las fincas de tamaño multifamiliar grande cubrían el 72.7% de la superficie y abarcaban el 27.4% de las explotaciones.	FAO, 1970, vol X, p.6
	El control de las tierras y el agua por parte de los hacendados en San Felipe se demuestra por la dimensión media de las fincas explotadas en San Felipe: 120 ha.	FAO, 1970, vol X, p.48
	Predios de categoría familiar aprovechaban la tierra en un 67.1% del total de la superficie bajo riego, mientras que las explotaciones multifamiliares medianas y grandes sólo aprovechaban la tierra en un 44.5% y 49.4%.	FAO, 1970, vol X, p.13
	Grandes fundos con propietarios ausentistas al frente.	FAO, 1970, vol VII, p.31
	Despreocupación de propietarios por mejorar las estructuras internas de riego la administración de las haciendas.	FAO, 1970, vol VII, p.91
Finales de los años 80	Reducción del tamaño promedio de las fincas a 17 ha.	MINAG, 1987a, V-50
	Las cooperativas con primacía en el uso del agua, en beneficio de sus propios intereses.	Figallo, 1987, p.5
	Acciones de operación y mantenimiento de la infraestructura de riego y drenaje bajo la responsabilidad de la ATDR-Huaura, con el apoyo de la JUAH y CRSF.	MINAG, 1987a, p. IX-1
	Gastos nulos en operación y mantenimiento.	Guerra et al., 1991
	La ATDR-Huaura sin maquinaria para trabajos de mantenimiento y conservación de la infraestructura hidráulica.	MINAG, 1987a, p. IX-2
Actualidad	Tamaño promedio de los predios es de aprox. 6 ha.	Juan Chávez
	Implementación de políticas para el incremento de la eficiencia de riego en la agricultura por parte del MINAGRI y la ANA.	MINAGRI, 2012

Elaboración propia

Es importante señalar que ante la urgencia de mejorar la institucionalidad y la infraestructura de los sistemas de riego eficiente en el Perú se creó, en 1998, el Proyecto Subsectorial de Irrigación, dependiente del MINAGRI. Este tiene como uno de sus objetivos principales incrementar la eficiencia en la GIRH (MINAGRI, 2012).

Posteriormente, en el 2006 se creó el Programa Subsectorial de Irrigación (PSI) mediante la promulgación de la Ley N° 28675. Entre sus actividades principales están

la realización de obras de mejoramiento y rehabilitación de los sistemas de riego, el fortalecimiento de las JUs, la promoción, asistencia y ejecución del riego tecnificado (MINAGRI, 2015). En San Felipe, el PSI ha tenido mayores efectos en cuanto a la promoción y asistencia técnica para la implementación del riego tecnificado, especialmente desde el año 2011 (CRSF, 2011b).

Si bien desde el año 2004 la ANA, a través de la DARH, llevó a cabo el Programa de la Formalización de los Derechos de los Usos de Agua con fines agrarios por bloques de riego, lo cual permitió mejorar la gestión de los proyectos de mejoramiento de infraestructura de saneamiento y riego en el valle del río Huaura; para Máximo León, el PSI en San Felipe se llevó a cabo con más fuerza a partir del año 2009 (año en que se aprobó la Ley de Recursos Hídricos). Comentó que a partir de entonces la administración del riego en San Felipe es más eficiente. Ello se demuestra a través del mayor respeto a los turnos de riego por parte de los usuarios, un mayor cumplimiento de los pagos de las tarifas de agua, la distribución categórica del agua (según los PCRs), entre otras mejoras.

No obstante, Juan Chávez percibe el PSI de otra manera. Según él, el PSI no ha financiado lo suficiente las obras de mantenimiento y rehabilitación de los sistemas de riego, tan sólo cumple con dar charlas técnicas y hacer los inventarios de la infraestructura hidráulica.

La Ley de Recursos Hídricos ha propiciado que se eviten tantos incumplimientos en temas administrativos. Por lo tanto, mientras mayor sea el cumplimiento de las responsabilidades y funciones de los actores involucrados en la gestión del agua, más fácil será lograr los objetivos planteados para el uso racional del agua (mayor eficiencia de riego) y un mejor aprovechamiento de la tierra.

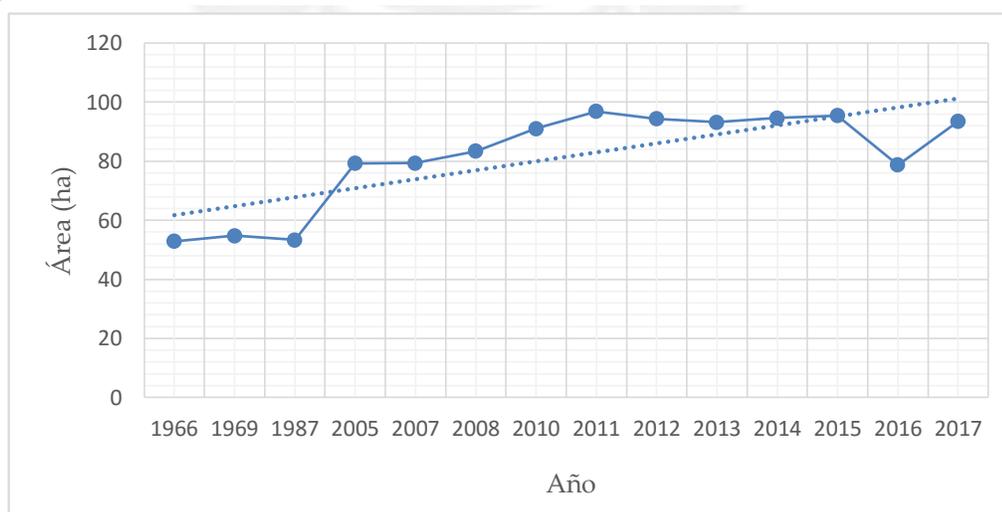
En síntesis, según lo expuesto en este acápite, la variación de los factores que afectan la eficiencia de riego en San Felipe desde fines de los años 60 hasta la actualidad indica mejoras en el uso y en la administración del agua, lo cual se refleja en un incremento del porcentaje de la eficiencia de riego y, en consecuencia, una reducción del volumen de los retornos de riego.

5.2.2.3. VARIACIÓN DE LA TASA DE UTILIZACIÓN DE LA TIERRA

En esta sección se parte de la premisa que “la diferencia en el aprovechamiento de la tierra está determinada en gran parte por el mejor o peor uso que se hace del agua”. (FAO, 1970, vol VII, p. 97). En base a la anterior conclusión, la mejora progresiva de la eficiencia de riego supondría también un mejor aprovechamiento de la tierra en San Felipe con, relativamente, la misma dotación de agua.

Para evaluar ello, se determinará los cambios en el aprovechamiento de la tierra, a través del análisis de la variación de la tasa de utilización de la tierra y, por último, la evapotranspiración de los cultivos en San Felipe. Se debe tener en cuenta que la tasa de utilización de la tierra refiere al porcentaje del área bajo cultivo en relación al área bajo riego. En la Figura 5.9 se muestra la variación de dicha tasa para el período 1966-2017.

Figura 5.9. Variación de la tasa de utilización de la tierra. Período 1966-2017



Elaboración propia. Fuente: FAO (1970), MINAG (1987a), JUAH 2005-2017

Se muestra que la tendencia general es el aumento de la tasa de utilización de la tierra; es decir, un mayor aprovechamiento de la tierra que está bajo riego. En otras palabras, se cultiva más y se dejan menos tierras en abandono por factores como la falta de agua. Tal como afirmaba Figallo, “cuando falta agua parte del valle deja de sembrarse”. (1987, p.4)

No obstante, es notoria la reducción de la tasa de utilización de la tierra en los años 1987 y 2016. Si bien no existe literatura que desarrolle una explicación al respecto de manera específica, se pueden hacer algunas deducciones relacionadas a lo ya comentado en el acápite sobre los factores que afectan la eficiencia de riego.

Según MINAG, para el año 1987 se dan tres de los factores que pueden explicar la disminución significativa de las áreas agrícolas bajo cultivo en San Felipe. Si bien no se tiene datos sobre la eficiencia de riego en esa época, no se contempló mejora alguna en los factores de la eficiencia de riego expuestos, en comparación a la situación de los años finales de la década de los 60. Por el contrario, la situación a finales de los años 80 era la siguiente:

- Existió una grave crisis económica durante el primer gobierno de Alan García, la cual coincide con el año 1987, por lo que tuvo un impacto directo en el estancamiento productivo del agro a nivel nacional (Bayo, 1986).
- El Estado tuvo el control directo del agua desde 1969 hasta 1989 y no invirtió en el mantenimiento de la infraestructura hidráulica. Las consecuencias fueron los graves signos de deterioro y precariedad del canal principal de San Felipe, problemas de sedimentación en los canales, falta de revestimiento, mal estado de varias compuertas metálicas, no habían obras de medición y control del agua, la bocatoma fue averiada en una de las avenidas por lo que su estado fue rústico. En general, no hubo mejoras en las eficiencias de conducción y distribución, por

lo que el agua en vez de ser aprovechada por los cultivos se perdía antes de llegar a ellos.

- La aplicación del agua en campo seguía siendo deficiente y las pérdidas de agua eran abundantes; tal es la razón por la que no hubo mejora en la eficiencia de aplicación.

La Figura 5.9 muestra, además, que la tasa de utilización de la tierra de San Felipe se reduce de 95.4% en el 2015 a 78.7% para el año 2016. Esto se debe principalmente a dos factores anteriormente explicados:

- Uno de ellos tiene que ver con el colapso de la bocatoma para el mes de agosto del año 2015, a partir de entonces hasta la actualidad la estructura de captación y distribución es una toma rústica compuesta por mancarrones de troncos y piedras. Es evidente que las consecuencias al reemplazar una bocatoma de concreto por una toma completamente rústica no son positivas en cuanto al impacto que genera en la operación y distribución del agua para riego, lo cual finalmente tiene efectos en la productividad agrícola.
- El otro factor refiere a la fuerte sequía a principios del año 2016. Dada la dependencia de la dotación de agua para riego con el registro hidrológico del caudal del río Huaura, la falta de lluvias tuvo una influencia directa en el bajo caudal de dotación de agua para la irrigación en San Felipe. Ello fue confirmado por Máximo León y Juan Chávez.

A pesar del decrecimiento de la tasa de utilización de la tierra en ambos años se debe resaltar la tendencia del incremento de la superficie bajo cultivo a expensas de las áreas no cultivadas en San Felipe, ya que con ello se demuestra un camino hacia el desarrollo y la modernización agrícola, que implica una mayor eficiencia de riego.

Para finales de la década de los años 60, la tasa de utilización era muy reducida, pues sólo se cultivaba el 52.3% del área bajo riego debido a una serie de factores como la mala nivelación de la tierra y, en general, la baja eficiencia de riego, especialmente en los meses críticos (FAO, 1970, vol X, p. 37).

En la actualidad, las condiciones han cambiado y han permitido una mejora en la eficiencia de riego, principalmente en la eficiencia de aplicación. Uno de los factores más importantes, según la JUAH (2017), ha sido la implementación del riego presurizado que, al desarrollarlo de manera adecuada, permitirá satisfacer la demanda neta de un mayor porcentaje de cultivos, con lo cual se podría ampliar su superficie.

Cabe mencionar que actualmente la tasa de utilización es de 93.5%; es decir, casi la totalidad del área agrícola bajo riego está cultivada, a diferencia de finales de los 60 en el que se cultivaba aproximadamente sólo la mitad del área bajo riego.

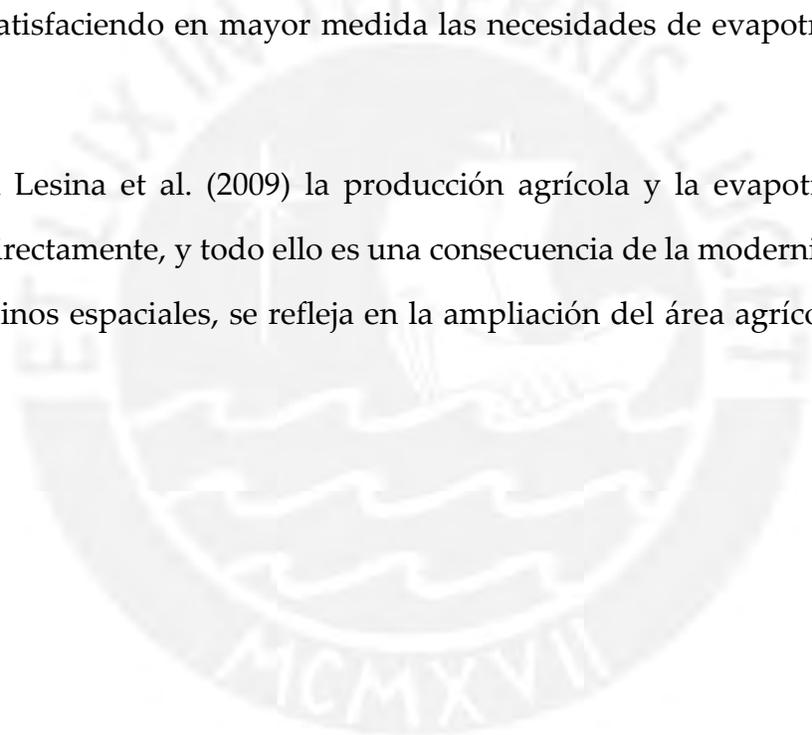
Por último, otras de las formas de evaluar el incremento de la eficiencia de riego es a través del análisis visual de imágenes satelitales. Para este caso se han utilizado imágenes de los años 1989, 1996, 2004 y 2015 de San Felipe. Todas estas, excepto la del año 1989 (diciembre), son del mes de febrero. Se eligió imágenes en los meses de verano debido a la mayor evapotranspiración en dicha época del año, en dicho caso, los valores de reflectancia de los cultivos en la banda infrarroja serán mayores.

Se realizó una combinación en falso color de las bandas 432 para las imágenes Landsat 5 (1989, 1996 y 2004) y 543 para las imágenes Landsat 8 (año 2015). A través de la reflectancia de la banda del infrarrojo (banda 4 para Landsat 5 y 5 para Landsat 8), se demuestra la intensidad de evapotranspiración (Herrero y Casterad, 1999; Ramos et al., 2009, citado por Lesina et al., 2007, p.49). Tonalidades más intensas de rojo demuestran una mayor evapotranspiración y vigorosidad de los cultivos, mientras que las tonalidades más opacas o claras demuestran lo contrario (Ver Mapa 5.3).

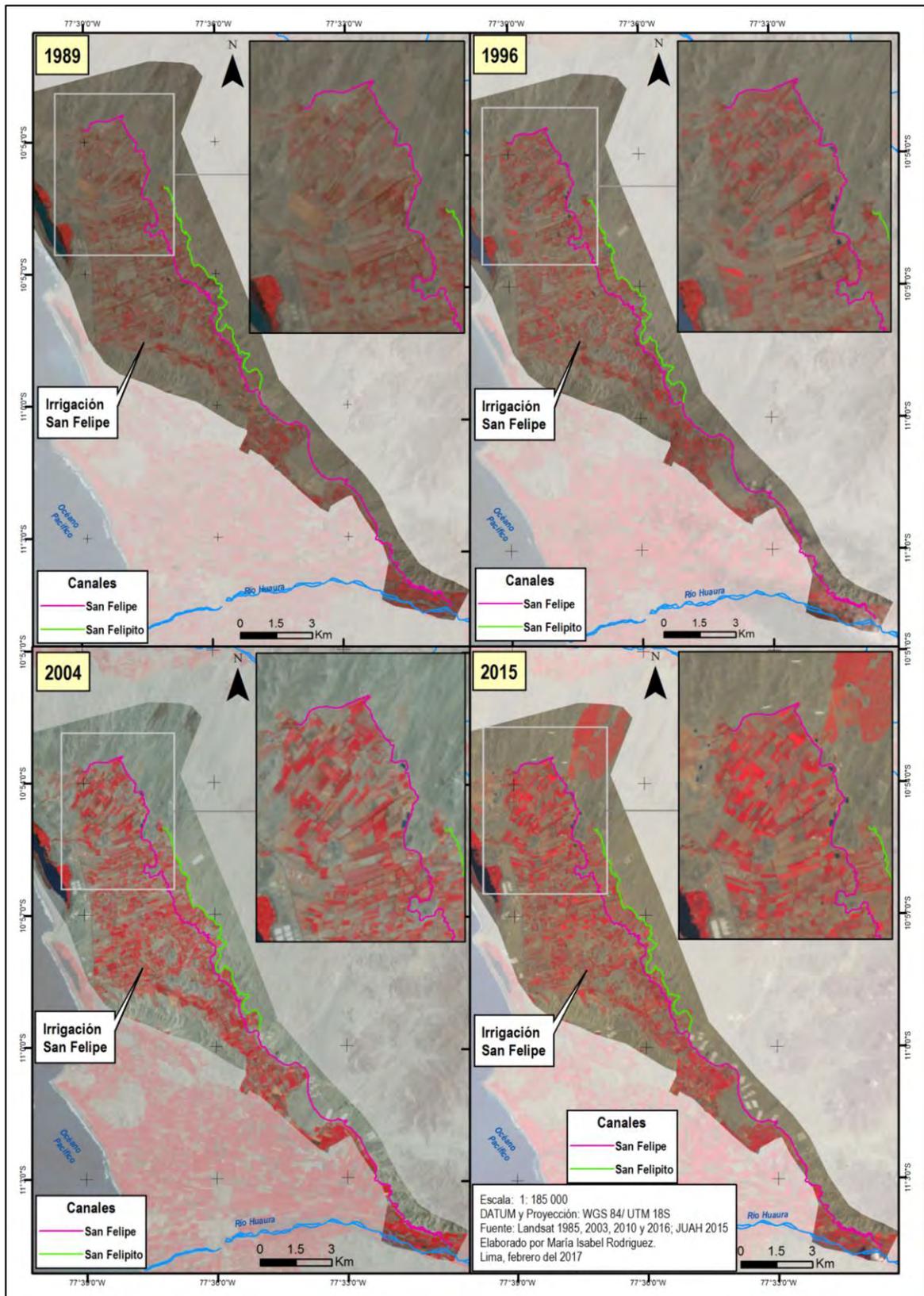
Del mapa se observan dos cosas. El primero tiene que ver con el área de la superficie cultivada en San Felipe. Estos mapas demuestran que las áreas bajo cultivo se han ido ampliando, especialmente de la zona centro hacia el noreste de la irrigación, hacia la margen derecha del canal San Felipito.

Por otro lado, conforme pasaron los años las tonalidades de rojo se vuelven más fuertes. Las tonalidades más fuertes en el año 2015, a diferencia del año 1989, no solo indica una mayor vigorosidad de los cultivos, sino también una tendencia a un mayor consumo de agua por parte de los cultivos. Ello refiere a que el riego, con el pasar del tiempo, va satisfaciendo en mayor medida las necesidades de evapotranspiración de los cultivos.

Según Lesina et al. (2009) la producción agrícola y la evapotranspiración se relacionan directamente, y todo ello es una consecuencia de la modernización agrícola que, en términos espaciales, se refleja en la ampliación del área agrícola cultivada (p 78).



Mapa 5.3. Variación de la vigorosidad o intensidad de los cultivos en San Felipe. Período 1989-2015



En resumen, la mayor satisfacción del requerimiento neto de los cultivos trae consecuencias positivas en cuanto a la producción agrícola. Asimismo, ella sirve de indicador para demostrar la mejora de la eficiencia de riego, así como el incremento de la tasa de utilización de la tierra, en caso se den las condiciones climáticas, topográficas y económicas apropiadas. Si la tendencia en cuanto a la evapotranspiración de los cultivos se mantiene (en aumento) como se muestra en el mapa, entonces poco a poco la superficie de tierra abandonada y sin cultivar irá disminuyendo, lo cual demuestra que el deficiente abastecimiento de agua o la baja eficiencia de riego dentro de la zona agrícola de San Felipe estará quedando en el pasado, para dar paso a la modernización del riego.

5.3. INFLUENCIA DEL RIEGO AGRÍCOLA DE SAN FELIPE EN LA VARIACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LA LAGUNA DE MEDIO MUNDO

Si bien se pueden identificar relaciones entre el uso del agua en el riego agrícola de San Felipe y la variación de la extensión de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo de manera cualitativa, también se puede hacer de manera cuantitativa, a través del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson y el de determinación. Para el primer cálculo se usaron las variables área de los cuerpos de agua y la dotación de agua para riego; y para el segundo cálculo, el área y la tasa de utilización de la tierra.

Sin embargo, antes pasar a los resultados es preciso señalar que antes de la existencia de la irrigación San Felipe (año 1948), la Albufera no existía como se conoce actualmente. En el primer resultado (acápite 5.1) se señaló que para 1945 el área del cuerpo de agua fue de 2.9 ha, lo cual demuestra que para entonces no existía un flujo significativo de agua subterránea hacia el humedal.

En dicho acápite también se indicó que la formación de este humedal se dio por la lenta deposición de agua proveniente de las mareas, mas no de las irrigaciones

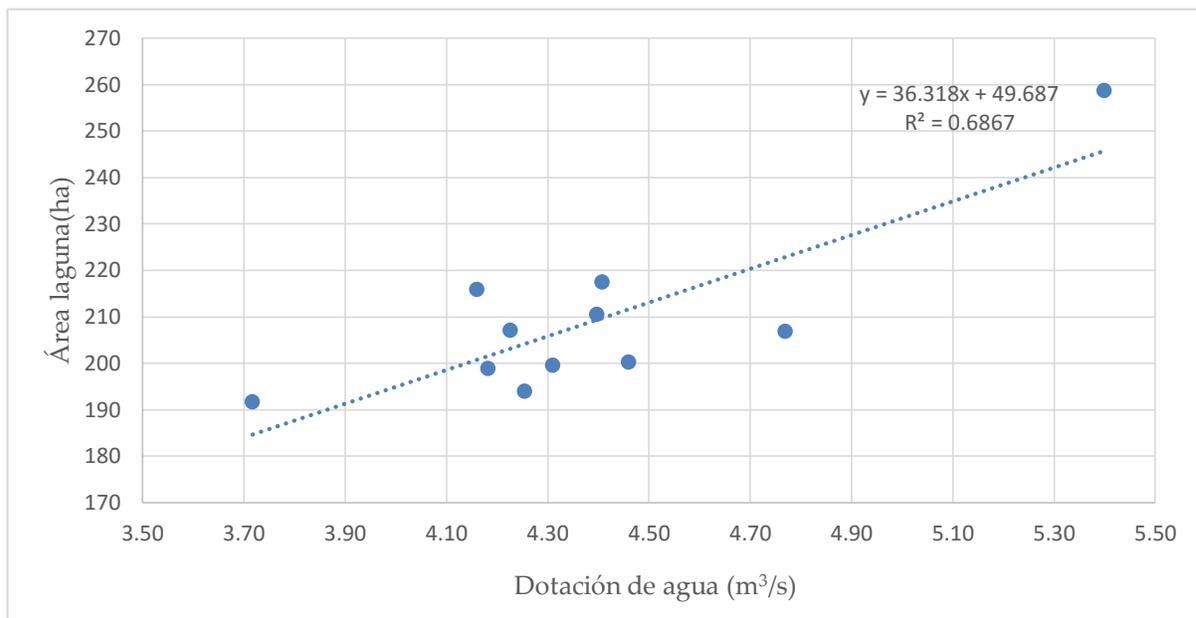
agrícolas costeras. Dicha afirmación se pudo apoyar en el trazo de la línea de costa para el año 1945, la cual se encontraba cientos de metros más cercana al cuerpo de agua de lo que está en la actualidad; es decir, se daba antes una mayor influencia de las mareas como para formar el cuerpo de agua de 2.9 ha.

Dicho esto, si bien no se cuenta con fotografías aéreas o imágenes satelitales en donde se visualice la situación de la llanura de lo que hoy en día se conoce como San Felipe, con lo ya mencionado basta para entender que la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo fue ampliada a partir de los retornos de riego de San Felipe; es decir, recién a partir de 1948. Así pues, al ser el retorno de riego el único aporte de agua al humedal es evidente que las variaciones que ocurran en el regadío en San Felipe han repercutido y lo seguirán haciendo tanto en la variación de los niveles de agua de la laguna como en la variación de las áreas de los cuerpos de agua de este humedal.

El primer cálculo se determinó con el promedio de dotación de agua para riego con los datos de enero a abril para todos los años. Para los años 2004 y 2016, la información disponible del área de los cuerpos de agua refería al mes de marzo, por lo cual el promedio de dotación se realizó con los datos de enero a marzo.

Como se observa en la Figura 5.10 el coeficiente de determinación (R^2) tiene un valor de 0.68, lo cual quiere decir que la variable dependiente, en este caso la variación del área de los cuerpos de agua de la Albufera está explicada, en buena medida, por la variación de la dotación de agua para riego en San Felipe. Por otro lado, el coeficiente de correlación de Pearson (R) tuvo como resultado un valor de 0.83 lo cual significa una alta correlación positiva; es decir, cuanto mayor sea el caudal de dotación, mayor será la superficie de agua (ha) de la albufera.

Figura 5.10. Correlación entre la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo (ha) y la dotación de agua (m³/s). Período 1966-2016



Elaboración propia. Fuente: PCR's 2002-2016 de la CRSF

Si bien a partir de este análisis cuantitativo el resultado fue una alta correlación lineal positiva, se debe tomar en cuenta, la falta de datos entre 1967 hasta el año 2001 para la interpretación de la variación de la dotación de agua para riego. No obstante, a pesar de que esto podría repercutir en un resultado sesgado, debido al vacío de información entre dichos años, ello se puede complementar con la información cualitativa que se tiene hasta el momento.

Al evaluar la tendencia del decrecimiento de los cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo, es muy probable que el área entre 1967 y 2001 haya seguido la misma tendencia, sin subestimar la variabilidad de todos los humedales, en cuanto a cambios en los niveles de agua y de superficie hídrica. Ello debido a la caracterización histórica ya expuesta sobre la dotación de agua para riego en San Felipe entre 1967 y 2001. El agua que ingresó al sistema de riego, por lo menos hasta finales de la década de los 60, fue mucho mayor de lo que actualmente ingresa.

Como se mencionó, la capacidad máxima del canal de San Felipe fue mayor de la que es ahora. Entonces, considerando que durante los meses de verano el canal conduce un caudal equivalente a su capacidad máxima, la dotación de agua fue mayor para esa época; dicho de otro modo la cantidad de agua que ingresó al sistema de riego era significativamente mayor.

Por otro lado, para entonces no había un control del agua por parte del Estado, y aun cuando este anuló la privatización del agua en el año 1969, el control lo seguían teniendo los hacendados. En época de avenidas no existía un régimen fijo de dotación de agua, por lo que los hacendados regulaban la dotación a su propia conveniencia.

Se debe tomar en cuenta que para esa época aún se practicaba constantemente el lavado de suelos o la lixiviación para retirar el exceso de sales y el suelo pueda quedar apto para producir. Por ello fue conveniente el cultivo de alfalfa, pues se aprovechaba el exceso de agua para elevar su rendimiento productivo y al mismo tiempo, fue un mecanismo para lavar los suelos. Con ello ocurría la percolación profunda del excedente hídrico no consumido por los cultivos. En años posteriores, posiblemente la situación no cambió mucho, al menos hasta 1989, año a partir del cual las JUs se encargaron de la operación y distribución el agua.

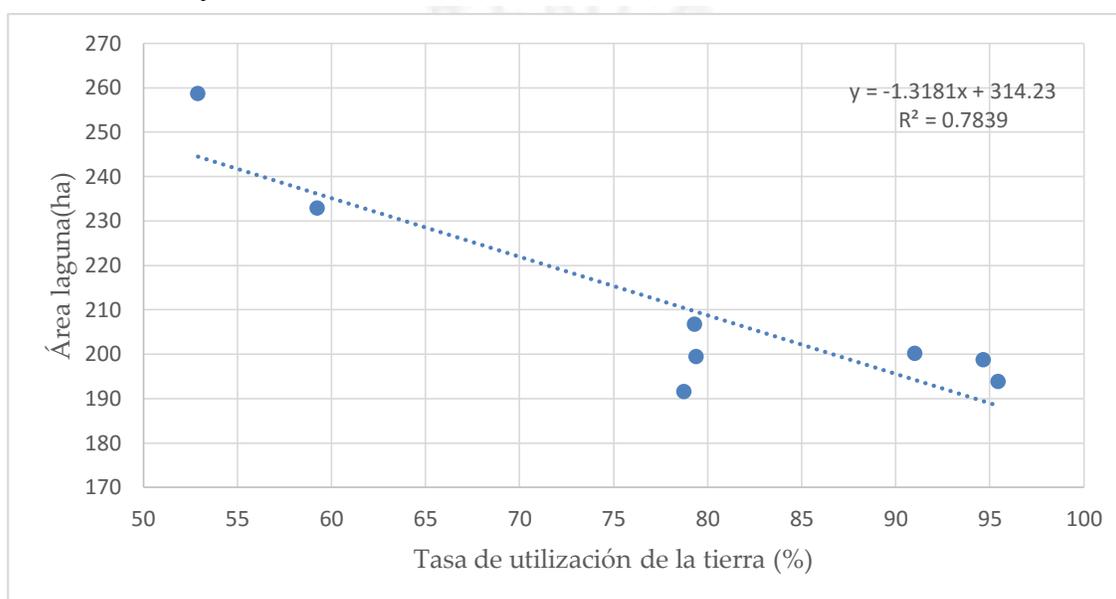
Por otro lado, la importancia del uso del agua recae mayormente en cómo este se emplea en el campo, más que en el caudal de agua que ingresa al sistema de riego de San Felipe. Ello debido a que el uso del agua para regar los cultivos determina la eficiencia de riego y con ello, una perspectiva general de las pérdidas de agua, entre las cuales la más importante para esta investigación es la percolación profunda.

Por ello es que se decidió hacer otro cálculo de correlación en donde se evalúe la asociación de las áreas de los cuerpos de agua con la tasa de utilización de la tierra, esta última, además de servir como información complementaria para explicar el

primer resultado de correlación, puede constituirse como un buen indicador de la eficiencia de riego, e incluso, del contexto económico con influencia en la agricultura, principalmente a lo largo de la historia del Perú.

Para el segundo cálculo de correlación (Ver Figura 5.11) se usó el área de los cuerpos de agua y la tasa de utilización de la tierra en San Felipe para el período 1966-2016.

Figura 5.11. Correlación entre el área de los cuerpos de agua de la Albufera (ha) y la tasa de utilización de la tierra (%). Período 1966-2016



Elaboración propia. Fuente: PCR's 2002-2016 de la CRSF

El resultado del coeficiente de determinación fue de 0.78, lo cual indica una asociación significativa entre ambas variables. Por otro lado, el valor resultante del coeficiente de Pearson fue de -0.89, ello indica una alta correlación lineal negativa. Esto quiere decir que las áreas de los cuerpos de agua disminuyen al aumentar la tasa de utilización de la tierra.

Una mayor tasa de utilización representa un mejor aprovechamiento de la tierra y por lo tanto una mayor eficiencia de riego. Esto trae consigo una serie de

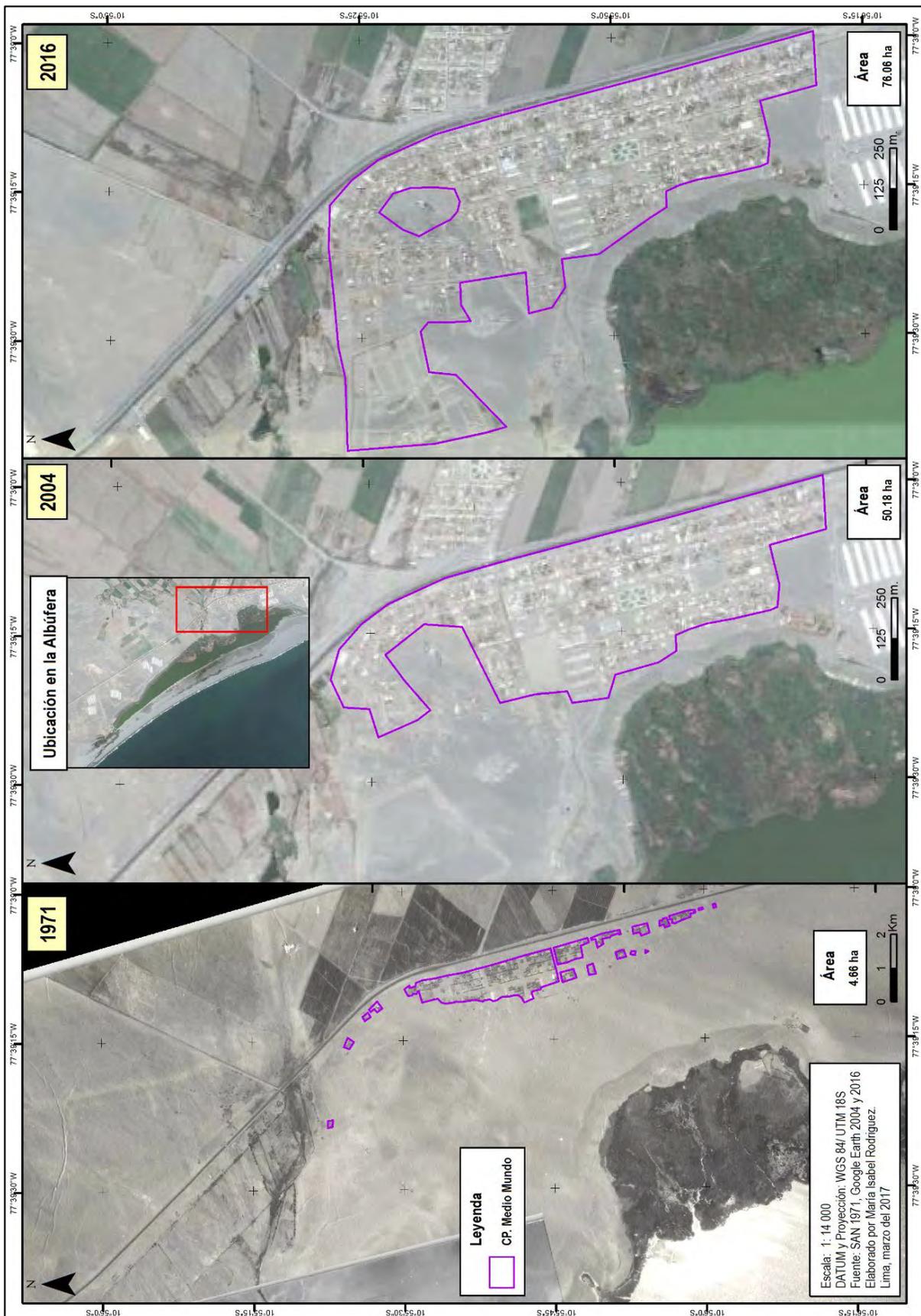
consecuencias. En primer lugar, se da la reducción del uso no consuntivo del agua durante todo el proceso del riego y un aumento de la evapotranspiración por parte de los cultivos. Es decir, disminuyen los retornos de riego, lo que genera una menor recarga del acuífero de San Felipe y, por tanto, un menor suministro de agua para el afloramiento de manantiales, que finalmente da origen a una menor descarga hídrica de la Albufera de Medio Mundo. Ello tiene influencias en la reducción de los niveles de agua de la laguna, y posteriormente, en la disminución de su superficie, así como la de los cuerpos de agua aledaños.

5.4. OTROS FACTORES CON INFLUENCIA EN LA RECARGA DEL ACUÍFERO

Al evaluar el sistema hidrológico del área de estudio, desde un enfoque integral, es importante considerar que así como hay entradas significativas de agua hacia la laguna, en este caso del riego agrícola, hay salidas que también pueden tener un efecto directo en la variación de la superficie hídrica del humedal. Se identificaron salidas de agua importantes a través de la explotación de agua subterránea llevadas a cabo por dos procesos: la urbanización del CP. Medio Mundo y la producción de la empresa avícola Redondos.

El CP. Medio Mundo está pasando por un proceso de crecimiento poblacional urbano acelerado. De las 10 familias que habitaban este centro poblado en los años 1954 y 1958 (GORE-Lima, 2009) se pasó a 5801 personas para el año 2007. La población se incrementó aún más al año 2012, con 7058 personas (MPH, 2013). Esto también implica una mayor presión sobre los recursos hídricos subterráneos para la satisfacción de las necesidades básicas de la población, por lo que tiene influencia directa en el descenso de la napa freática. Una forma gráfica de representar la ampliación espacial del CP. Medio Mundo es a través del siguiente Mapa 5.4.

Mapa 5.4. Variación del área urbana del CP. Medio Mundo. Período 1971-2016



En el mapa se muestra que desde el año 1971 el área ocupada por las viviendas pasó de 4.66 ha a 76.06 ha para el año 2016. El acelerado crecimiento urbano en Medio Mundo y en centros poblados aledaños genera una mayor demanda de recursos hídricos, pues se busca satisfacer el consumo poblacional total.

La forma de explotación del agua subterránea se hace a través del bombeo a través de un pozo ubicado en la zona sureste de la Albufera de Medio Mundo. En las Figura 5.12 y Figura 5.13 se muestran la estación de bombeo, así como las filtraciones generadas por el afloramiento de la napa freática. Estas son usadas por algunos pobladores como área de recreación, de baño o de lavado de ropa, entre otras actividades. Por otro lado, en la Figura 5.14 se muestra un cartel con un aviso que indica la propiedad privada de ese lugar. Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), la estación de bombeo y, en general, todos los servicios de saneamiento de Medio Mundo son administrados por la JASS de Medio Mundo (2014, p.16).

Figura 5.12. Vista desde el noreste de la Albufera: estación de bombeo (caseta blanca) del CP. Medio Mundo



Fotografía personal. Octubre, 2016

Figura 5.13. Estación de bombeo y filtraciones de agua



Fotografía personal. Octubre, 2016

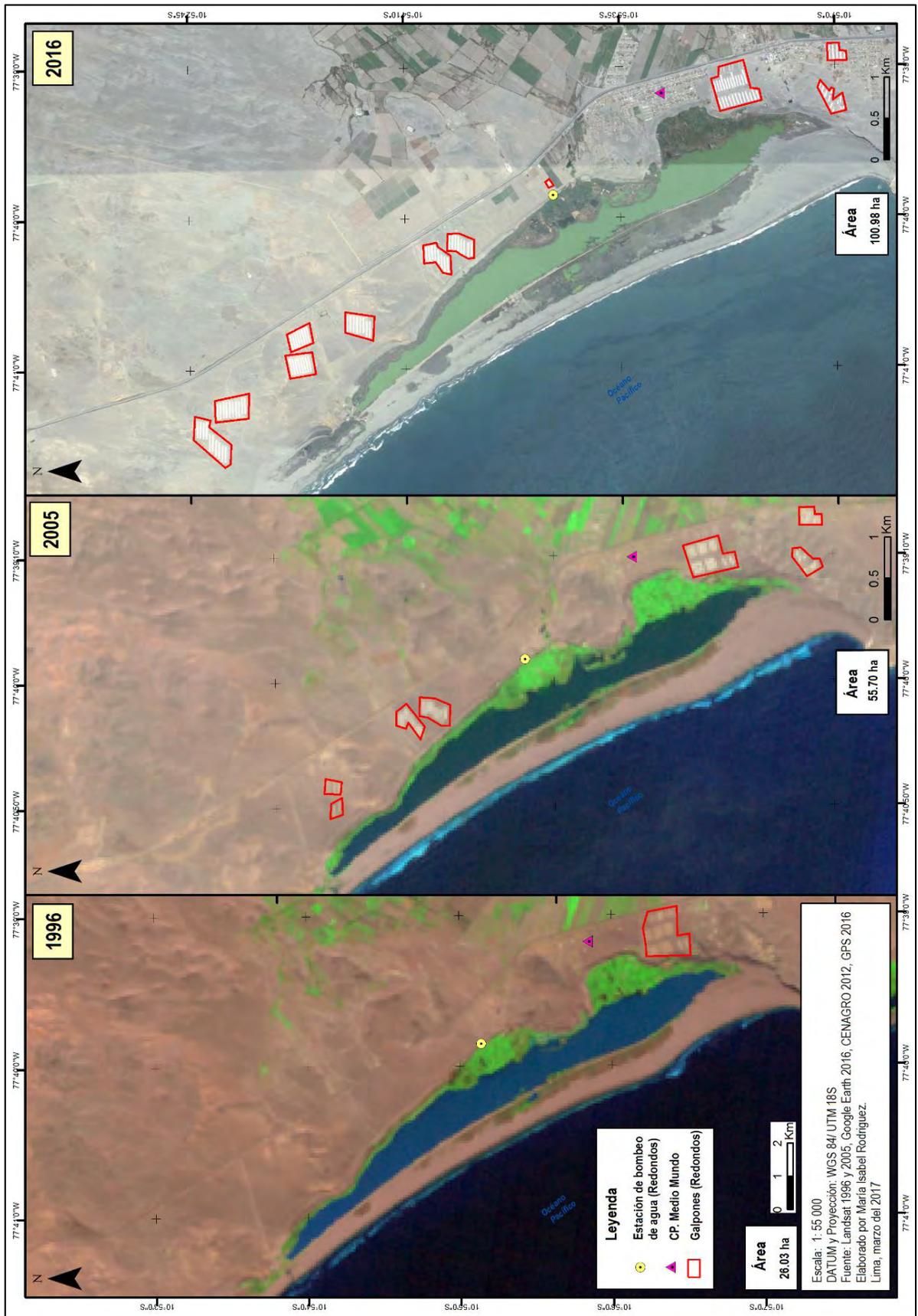
Figura 5.14. Cartel de propiedad privada de la JASS Medio Mundo



Fotografía personal. Noviembre, 2016

Otros de los factores que viene afectando la recarga del acuífero de San Felipe es el crecimiento de la cantidad de galpones de la empresa Redondos hacia el este de la Albufera, tal como se muestra en el Mapa 5.5.

Mapa 5.5. Variación de la superficie de galpones de Redondos. Período 1996-2016



Según el “Análisis preliminar del impacto ambiental de la empresa avícola Redondos en el humedal Albúfera de Medio”, la empresa Redondos S.A, fundada en 1978, posee una planta de procesamiento de alimento balanceado ubicada en el kilómetro 171 de la Panamericana Norte (Gonzales, 2007, p.2). Según Gonzales, esta planta “genera en Medio Mundo problemas de contaminación visual y de perturbación de la fauna silvestre (por el ruido y emisiones atmosféricas de la maquinaria de la planta)” (Ibídem). Por otro lado, identificó que las plantas de reproducción y de engorde ubicadas en el área de influencia de la Albúfera de Medio Mundo generan la afectación de la recarga de los humedales.

Por otra parte, en el Plan Maestro de la ACR AMM (2009-2013) se mencionó que cada galpón (granjas de reproducción y de engorde) poseía un aproximado de 10 000 aves al año que consumían un total de 240 000 litros de agua al año (1200 cilindros de agua/galpón/año) (GORE-Lima, 2009, p.38). Con ello se muestra que a mayor cantidad de galpones, mayor cantidad de aves y, por tanto, se da un mayor consumo de agua. Considerando la tendencia en las últimas décadas de un mayor número de galpones de Redondos, es bastante probable que en la actualidad se realice un uso mayor de agua.

Para el abastecimiento de agua en los galpones, se explota agua subterránea. Esta se realiza en la zona de bombeo ubicada al este de la Albúfera, como se mostró en el Mapa 5.5. Según Alberto Tamara, la estación de bombeo se conecta con una red de pozos que recibe el agua bombeada y lo distribuye hacia los galpones. En la Figura 5.15 se observa la caseta de bombeo de Redondos.

Rolando Quezada comentó que cada vez que la empresa Redondos realiza el bombeo de agua subterránea, el nivel del agua de la laguna desciende, casi de forma

inmediata. Ello tiene sentido debido a que se extrae agua directamente del acuífero, el mismo que aflora en forma de manantiales y descarga en la Albufera de Medio Mundo.

Figura 5.15. Camino hacia la zona de bombeo de Redondos



Fotografía personal. Noviembre, 2016

Esta figura muestra la escalera que guía a la estación de bombeo de Redondos. Cabe mencionar que la fotografía fue captada desde la zona centro-este de la Albufera de Medio Mundo. La Figura 5.16 muestra un mayor acercamiento a la estación.

Figura 5.16. Estación de bombeo de Redondos



Fotografía personal. Octubre, 2016

La Figura 5.17 muestra una de las varias estaciones que reciben el agua bombeada y la distribuyen hacia los galpones.

Figura 5.17. Una de las estaciones de distribución del agua bombeada



Fotografía personal. Noviembre, 2016

La Figura 5.18 muestra un par de galpones, cada uno con un tanque de agua.

Figura 5.18. Galpones de Redondos con tanques de agua



Fotografía personal. Noviembre, 2016

Según uno de los guardianes de la Albufera de Medio Mundo, Alberto Tamara, quien trabaja para la Municipalidad Distrital de Végueta, el agua bombeada por Redondos también es distribuida hacia el lugar donde están las instalaciones turísticas de la municipalidad. Estas se ubican hacia el lado oeste, en la parte central de la Albufera; es decir al frente de la estación de bombeo de Redondos, cruzando la laguna (Ver Figura 5.19)

Figura 5.19. Instalaciones turísticas del ACR AMM hacia el otro lado de la laguna



Fotografía personal. Noviembre, 2016

En la Figura 5.20 se muestra el final de la tubería, que según Tamara recorre transversalmente la laguna. A través de una red tuberías, como la que se muestra en la figura, se distribuye el agua para cubrir la demanda de esta de los restaurantes, alojamientos y demás instalaciones en la zona.

Figura 5.20. Canal de distribución del agua bombeada por Redondos



Fotografía personal. Noviembre, 2016

En síntesis, la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo no sólo se relaciona con el volumen de descarga del agua proveniente de los retornos de riego de San Felipe, sino que también está condicionada por el volumen de agua explotado a través del bombeo de agua subterránea por parte de la JASS de Medio Mundo y la empresa avícola Redondos.



CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN

6.1. LA CONTRADICCIÓN ENTRE EFICIENCIA DE RIEGO Y HUMEDALES COSTEROS EN ZONAS DESÉRTICAS

La Albufera de Medio Mundo es alimentada casi totalmente por los retornos de riego provenientes de los campos agrícolas de San Felipe. Los humedales se consideran ecosistemas frágiles; sin embargo, la dependencia hídrica de la Albufera de Medio Mundo al riego en San Felipe la hace aún más vulnerable frente a cualquier cambio en el balance hidrológico de la intercuenca sobre la cual se ubica.

Su conservación como ecosistema, por tanto, debe empezar con el conocimiento sobre las dinámicas de interrelación con los otros elementos de la intercuenca que tienen efectos sobre el ciclo del agua, para luego desarrollar la planificación y la adecuada implementación de las medidas pertinentes para lograr dicho propósito.

La presente investigación ha puesto énfasis en el aporte al conocimiento sobre la relación de los humedales costeros con la agricultura. Se ha llegado a la conclusión que la variación de la superficie de agua de la Albufera de Medio Mundo, desde su inicio como ecosistema, guarda relación con la variación en el uso de agua para riego en San Felipe.

La superficie de agua de la Albufera de Medio Mundo tiende a la reducción, mientras que el uso del agua para riego en San Felipe tiende a mejorar, ya que si bien la dotación de agua para riego presenta mucha variabilidad, tanto la eficiencia de riego, como la tasa utilización de la tierra han aumentado desde fines de los años 60 hasta la actualidad.

Estas dos tendencias opuestas se relacionan por el hecho de que en las últimas décadas se ha venido dando una menor recarga del acuífero, producto de la generación

de un menor volumen de los excedentes de riego. Ello ocasiona que la Albufera no aflore la misma cantidad de agua que en el pasado, lo cual impide que la superficie hídrica del humedal se amplíe.

Como dato importante, la formación y el desarrollo de la Albufera de Medio Mundo fueron posibles gracias a la baja eficiencia del riego agrícola en San Felipe a fines de los años 40, lo que se tradujo en un mayor volumen de excedentes de riego. Se debe notar que sin esta baja eficiencia, este ecosistema no existiría, a menos que se hubiera realizado otro aporte de agua significativo al acuífero. A partir de entonces la relación entre ambos se mantiene hasta la actualidad.

Esta relación se reafirma a partir de los resultados del cálculo de las dos correlaciones. Se determinó altas correlaciones positiva y negativa entre el área de los cuerpos de agua de Medio Mundo, como variable dependiente, con la dotación de agua para riego (primer cálculo); y la tasa de utilización de la tierra (segundo cálculo), como variables independientes.

La permanente interrelación hídrica entre la Albufera y el riego en San Felipe ha sido posible debido a las características de los suelos y del acuífero del área de estudio. Por un lado, en San Felipe la textura del suelo que va de arenoso a franco arenoso, al no ser un suelo retentivo, posibilita la rápida percolación profunda del agua. Por otro lado, la gradiente hidráulica de 5 por mil y el material grueso del acuífero permite que el agua percolada se desplace hacia la Albufera (CIGA-PUCP, p. 29).

La Albufera de Medio Mundo se caracteriza por tener una depresión en el terreno y por poseer suelos cuyas condiciones posibilitan la descarga de agua subterránea. Por lo tanto, todo lo que ocurre en el riego en San Felipe repercute directamente en el acuífero y este a su vez en el humedal costero de Medio Mundo. Adam (1992) señalaba que los cambios en el ciclo hidrológico, como pequeñas

variaciones en los niveles de agua subterránea, tiene una gran influencia sobre la fluctuación a lo largo del tiempo de la superficie de los cuerpos de agua de los humedales (citado por Madrigal, 2014).

Por todas las razones expuestas se confirma la hipótesis de la presente investigación que considera la existencia de una relación entre la variación de la superficie de agua de la Albufera de Medio Mundo y el uso del agua para el riego en la zona agrícola San Felipe.

En esta investigación se dejó entrever que el estudio del uso del agua en la agricultura es fundamental, ya que es el sector agrario que hace un mayor uso de este recurso a diferencia de los otros sectores productivos, por lo que tiene un impacto significativo sobre sistemas naturales que le deben su existencia y se alimentan del agua subterránea.

En este sentido, es de vital importancia que la sociedad y las autoridades conozcan y comprendan una realidad que es aparentemente invisible para muchos. Esta refiere a la aparición de ecosistemas tan importantes como los humedales costeros debido a la baja eficiencia de riego en zonas más altas. Además, se han desarrollado un conjunto de actividades antrópicas en torno a los humedales que, en tanto se desenvuelvan con prudencia, poseen múltiples beneficios en la sociedad y contribuyen en la conservación de los humedales.

Cabe resaltar y reflexionar sobre la idea de Mateos et al. (1996), quienes señalaron la necesidad de considerar el uso del agua para riego desde un punto de vista agregado, pues lo que para la agricultura es una ganancia (mejorar la eficiencia de riego), no lo sería para el sistema en su conjunto (Citado por Bielsa y Duarte, 2000, p. 104) o para algunas partes constituyentes de dicho sistema, como por ejemplo, los humedales costeros.

Por último, dada la escasa disponibilidad de datos sobre los regadíos existentes, el proceso de modernización de estos y los procesos hidrológicos que se desarrollan en los humedales costeros, es fundamental la generación de investigaciones enfocadas al estudio de las relaciones, así como a las posibles consecuencias de la modernización del riego agrícola sobre los ecosistemas de humedales y sobre los otros elementos que constituyen o participan en el sistema hidrológico.

Es solo a partir de estos resultados que se podría determinar si llevar a cabo una agricultura con una alta eficiencia de riego es conveniente para asegurar la sostenibilidad económica, social y ambiental. Tal como Palacios-Vélez (1991) señaló: “es importante analizar cuidadosamente las implicaciones económicas, ecológicas y sociales de las acciones que se lleguen a tomar cuando se pretenda mejorar la eficiencia en el uso del agua”. (p. 8)

Esta es una situación que parece contradictoria a los principios de la sostenibilidad hídrica en un ambiente desértico, pero estamos ante la conformación espontánea de un ecosistema valioso como consecuencia del manejo ineficiente del agua en décadas anteriores.

Sería mucho más sencillo si se pudiera valorar el agua desde sus diferentes implicancias mencionadas y determinar qué decisión sería la más conveniente tomar según ello. Sin embargo, valorar el agua desde el efecto que tiene su uso, especialmente, en los aspectos medioambientales y sociales es algo bastante complejo, pues “al no ser productos o servicios de mercado, su valoración objetiva en términos económicos resulta difícil”. (Lecina et al., 2009, p. 31). En este sentido, la clasificación de un uso del agua como beneficioso o no beneficioso puede diferir, dependiendo del punto de vista desde la cual se analice.

Dicho esto, se pone en manifiesto la necesidad de prevenir, empezando por visibilizar este asunto. Es un tema bastante delicado, que si no se considera con la debida atención por parte de las autoridades y la sociedad en general, podría poner en riesgo la integridad de los ecosistemas de humedales y el desarrollo socioeconómico de la población. Es necesario promover la investigación e iniciar el debate sobre el tema para tomar decisiones más acertadas y evitar cualquier tipo de inconvenientes.

6.2. LA NECESIDAD DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS

En los últimos años, la GIRH ha adquirido una importancia primordial en la agenda nacional. Esta política parte del principio de que los usos de agua son interdependientes, por lo que se deben de considerar de forma conjunta para su gestión; para lo cual se busca que todos los sectores realicen un uso sostenible del agua. En este sentido, uno de sus objetivos principales está orientado en lograr un uso más eficiente del agua (Libélula, 2011), de manera que se pueda asegurar el bienestar económico y social, así como la sostenibilidad de los ecosistemas, conforme al primer principio de la Ley de Recursos Hídricos.

Desde el enfoque integral, los recursos hídricos deben ser administrados de forma holística; por lo tanto, es de vital importancia realizar diagnósticos claros y capaces de integrar el pasado, presente y futuro no sólo del uso agrícola del agua y de los humedales costeros, sino también de otras actividades antrópicas y eventos naturales que podrían suscitarse sobre la misma cuenca o ámbito territorial. Asimismo, la información de los diagnósticos sería de mucha utilidad para orientar de manera adecuada los procesos de la GIRH, de forma que se alcance el bienestar de todos los sectores.

Sólo a partir de ello y con la participación activa de los actores involucrados (3^{er} principio de la Ley de Recursos Hídricos), se podría implementar con éxito diversas políticas, dentro del marco de la GIRH, que orienten sobre, por ejemplo, cómo combinar la protección del humedal, el uso de los recursos hídricos superficiales y la explotación del agua subterránea. De manera más específica, qué hacer cuando el uso de agua, que implica la modernización de la agricultura, el desarrollo de la avicultura y el rápido crecimiento de la urbanización, en San Felipe y el CP. Medio Mundo, puede perjudicar a los sistemas naturales como los humedales costeros y sus servicios ecosistémicos, que finalmente son el sustento de vida para mucha población local.

En ese sentido, la gestión del uso agrícola del agua en San Felipe debe considerar su impacto en la Albúfera de Medio Mundo y evaluarse la posibilidad de mantener un “caudal ecológico” de infiltraciones para asegurar el mantenimiento del humedal.

El ejemplo mencionado anteriormente es fundamental, considerando que un número importante de humedales costeros en el Perú tiene su origen en los aportes hídricos procedentes de la fase subterránea del ciclo hidrológico; es decir, son varias y variadas las interrelaciones que tienen los humedales costeros con otras actividades antrópicas que usan el agua subterránea de un acuífero en común y, por tanto, son múltiples y diferidos los efectos sobre estos ecosistemas ante cualquier alteración del ciclo hidrológico en el área.

La hipótesis de la investigación que refiere a la afectación de la recarga hídrica del acuífero por parte de otras actividades realizadas en el entorno aledaño a la Albúfera de Medio Mundo se reafirma de manera parcial, pues se evidenció el bombeo de agua subterránea a través de Redondos y la JASS de Medio Mundo, para los usos productivo y poblacional, respectivamente. Al haber una mayor explotación de agua subterránea con el paso de los años, según Custodio (2001) se da una disminución de

la descarga de agua subterránea y el descenso del nivel freático, lo que a su vez reduce la entrada de agua al humedal y genera, finalmente, la reducción del humedal (p. 18).

Esta reafirmación de la hipótesis es parcial pues el impacto real de las actividades que realizan la explotación de agua subterránea sobre la variación de la extensión hídrica de la Albufera de Medio Mundo, o sobre el ecosistema en sí mismo, no se puede determinar sin antes haber adquirido un amplio conocimiento del comportamiento hidrogeológico del humedal y del balance hídrico en el área.

A partir de los estudios de balances hídricos se podría comprender mejor de forma cualitativa y cuantitativa las interrelaciones hídricas entre la Albufera de Medio Mundo y los otros usos de agua que satisfacen las necesidades hídricas de los procesos productivos de Redondos y el consumo poblacional de Medio Mundo. Además, podrían indicar si se da un incremento en la demanda de agua para diferentes usos a una tasa mayor que la recuperación de los sistemas acuáticos, tanto superficiales como subterráneos. Al respecto, es bueno señalar que un aspecto interesante de investigación fue seguir esa línea; sin embargo, la falta de datos cuantitativos de las entradas y salidas de agua en el área de estudio no lo permitió.

Por otra parte, para adquirir un mayor entendimiento de la relación hidrológica de los humedales con su entorno es necesario cambiar el enfoque sobre los estudios de humedales. La realización de monitoreos sobre la integridad ecológica de los humedales sería un gran aporte, pues como mencionan García y Llellish “un cambio, sea a gran o a pequeña escala, en los aportes de agua en los humedales puede modificar sus funciones y sus servicios ecosistémicos” (2011). No está demás mencionar que la mayoría de los esfuerzos de monitoreo, en todos estos años, se hayan concentrado en la medición de la calidad ambiental del aire y agua (Convención Ramsar 1995, 1996, 2004 y 2005 citado por Abarca, 2007, p.130).

Al hacer seguimientos sobre los estados de estos ecosistemas, se pueden obtener indicadores a partir de los cuales sería posible identificar qué elementos tienen efectos positivos y negativos en la integridad ecológica humedal. Asimismo, puesto que en los humedales el agua es un elemento imprescindible, también es necesario conocer su hidroperíodo, el cual refiere a la vinculación de la hidrología de los humedales con las formas de acumulación de agua, es decir cómo se mantiene el agua y de dónde viene (Moreno-Casaola y Warner, 2009).

Por último, la elaboración de este estudio ha pasado por una serie de limitaciones metodológicas que vale la pena señalar para que futuros estudios que profundicen en este tema puedan tener en cuenta.

Una de ellas ha sido la baja disponibilidad de imágenes satelitales de libre descarga para los meses de invierno, por lo cual sólo se utilizaron imágenes de verano, en especial sólo de dos meses: marzo y abril. Las imágenes satelitales Landsat 5 son captadas cada 16 días (INPE, s.f.) por lo que existen pocas oportunidades de conseguir imágenes libres de nubosidad.

De haber contado con imágenes satelitales de invierno se podría haber evaluado la relación hídrica estacional entre la Albufera y el riego en San Felipe, pues en los meses más fríos, de mayo a noviembre, el caudal de dotación es otro. El aporte de agua para riego en San Felipe para dicha época es menor debido a la menor disponibilidad del caudal del río Huaura. Sería bueno confirmar lo señalado por los entrevistados e identificar las posibles razones. Según Rolando Quezada, en los meses de invierno, específicamente en agosto, el nivel de agua y el área de la superficie hídrica de la Albufera de Medio llegan a su máximo anual. Él cree que una posible causa de la reducción de ambos se deba a la menor evapotranspiración durante el invierno; no obstante, ello se debe investigar.

Por otro lado, si bien el MNDWI utilizado para la determinación de las áreas de los cuerpos de aguas de la Albufera de Medio Mundo fue bastante útil para lograr el objetivo de una forma automatizada, siempre hubo cierto margen de error. La baja resolución de las imágenes Landsat (30 x 30 m) dificultó el análisis visual previo al uso del índice mencionado; además, distinguir algunos de los píxeles que representaban las superficies de agua fue un proceso complicado. En segundo lugar, luego del cálculo del índice, a veces se confundían las zonas húmedas con las superficies con agua, por lo que se tuvo que borrar algunos polígonos, especialmente hacia el margen izquierdo de la laguna y definir un valor que represente el umbral a partir del cual se diferencia entre los píxeles cubiertos con agua y los que no.

Finalmente, la escasez de datos históricos de las variables estudiadas fue una limitante para el análisis de la variación de estas. No obstante, se debe reconocer que la información elaborada por la FAO a fines de los años 60 y el MINAG, a fines de los 80, aportó mucho a la investigación al posibilitar un mayor conocimiento y comprensión en relación al uso de agua para el riego en la cuenca del río Huaura en el pasado y, en general, respecto a toda las actividades de distribución, mantenimiento, operación y administración de la irrigación San Felipe.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Las condiciones físicas de gran parte de la costa peruana facilitan una alta infiltración del agua de las irrigaciones de la costa peruana. En la irrigación San Felipe, debido al suelo franco-arenoso que lo caracteriza y a la cualidad del acuífero (libre), la capacidad del almacenamiento o retención es bastante baja, por lo que el agua producto de la baja eficiencia de riego, infiltra más rápido y percola hasta llegar a la zona de afloramiento; es decir a la Albúfera de Medio Mundo.

El resultado del análisis de las imágenes aeroespaciales determinó que para el año 1945, la laguna tuvo una extensión de, aproximadamente, 3 ha. A partir de la llegada de los retornos de riego de San Felipe la Albúfera de Medio Mundo crece en área y forma todo un ecosistema propio de un humedal. Ello se observa en la fotografía aérea del año 1966. Posteriormente, la variación de la superficie hídrica de la Albúfera de Medio Mundo, tiende hacia la reducción desde el año 1966 hasta el año 2016.

En relación con el uso de agua para riego en San Felipe, fueron estudiadas la variación de tres variables: el caudal de dotación de agua para riego, el porcentaje de eficiencia de riego y la tasa de utilización de la tierra.

Los caudales máximos anuales de la dotación de agua para riego al canal de San Felipe coinciden con los caudales máximos del río Huaura; es decir, de enero a abril; lo mismo sucede con los caudales mínimos, que se dan de mayo a diciembre. La capacidad máxima de conducción del canal ha disminuido desde fines de los años 60 debido al desgaste y deterioro del canal. La variación anual de la dotación no tiene una tendencia, sino que presenta una notable variabilidad en el tiempo. Los entrevistados Máximo León y Juan Chávez hicieron mención de la influencia de la ocurrencia de

eventos como huaycos o la subida del nivel del río en algunas fluctuaciones de la dotación.

En relación con la eficiencia de riego en San Felipe, esta se ha incrementado en más del doble de lo que fue para fines de los años 60 (de 15 a 35%). La mejora de los factores que afectan la eficiencia de riego tales como la nivelación del terreno, la infraestructura hidráulica, las estructuras de medición, la aplicación y prácticas de riego, la tenencia y uso de la tierra, así como la administración del agua, ha contribuido significativamente en el aumento del porcentaje de la eficiencia de riego en la actualidad.

El reemplazo del método tradicional por gravedad de riego por uno más moderno y presurizado en varias áreas de la irrigación ha generado un aumento significativo de la eficiencia por aplicación, la cual es el tipo de eficiencia con una mayor influencia en las variaciones de la eficiencia de riego. Además, desde la aprobación a nivel nacional de la Ley de Recursos Hídricos en el año 2009 y la aprobación del Proyecto Subsectorial de Irrigación en el año 2011, por parte de la Comisión de Regantes de San Felipe, se ha venido implementando, en mayor medida, el riego tecnificado; lo cual ha contribuido al incremento de la eficiencia de riego en San Felipe.

En la irrigación San Felipe, el porcentaje del área agrícola bajo riego que está cultivado, llamado tasa de utilización de la tierra, se ha incrementado en los últimos años. Este ha sido un factor importante para explicar el aumento de la eficiencia de riego.

La evapotranspiración de los cultivos está asociada con la utilización de la tierra en San Felipe. Luego del análisis visual de las imágenes satelitales se identificó un aumento de la evapotranspiración de los cultivos, lo cual significa un aumento del

consumo del agua de riego; en consecuencia, se pierde menos agua por percolación profunda, lo cual trae efectos positivos en la productividad de los cultivos.

Actualmente, la mejora en la eficiencia de riego en San Felipe ha generado una menor recarga del acuífero, y, por tanto, la disminución de la superficie hídrica del humedal. En años anteriores, el aporte significativo del agua al acuífero debido a la mala eficiencia de riego fue lo que permitió la recarga constante y la expansión de la Albufera de Medio Mundo, tal como se mostró en la fotografía aérea a partir del año 1966.

Se determinó una alta correlación positiva entre la variación de la superficie hídrica de la Albufera de Medio Mundo y el caudal de dotación de agua para riego, mientras que una alta correlación negativa entre la superficie hídrica de la Albufera y la tasa de utilización de la tierra en San Felipe.

Existen otros factores que están causando una mayor variabilidad del volumen y del nivel de la napa freática de San Felipe, que podrían estar repercutiendo en la variación de la superficie hídrica de la Albufera, estos son: la explotación de agua subterránea por parte de Redondos y la Junta Administradora de Servicios y Saneamiento del centro poblado Medio Mundo. El agua es usada con fines productivos y con fines poblacionales, respectivamente. Con el pasar de los años ambos han ido demandando un mayor volumen de agua del acuífero y posiblemente ello ha tenido influencia en la reducción del área de los cuerpos de agua de la Albufera. Esto se debe comprobar con los estudios de balances hídricos en la zona de estudio.

Si bien la política de recursos hídricos en el Perú promueve un uso eficiente del agua para sus diferentes usos y, a su vez, la conservación de ecosistemas como los humedales, se ha identificado una situación contradictoria de beneficio y afectación, entre la mejora en la eficiencia de riego y su relación con la reducción del área de los

cuerpos de agua de la Albufera de Medio Mundo. Para prevenir y evitar posibles afectaciones sobre algunos de los usos del agua, se propone profundizar en el estudio, desde un enfoque holístico e integral, de la hidrología de la intercuenca San Felipe-Medio Mundo, la integridad ecológica e hidrogeología de la Albufera de Medio Mundo y las consecuencias de la modernización del riego en la costa peruana sobre sistemas naturales como los humedales costeros.

La gestión del agua sectorizada deberá dejarse de lado si se busca prevenir los impactos negativos de una gestión que no considera la interrelación hidrológica de los humedales costeros con otras actividades humanas. Asimismo, es importante que las autoridades y la sociedad civil conozcan y comprendan el uso ecológico del agua de los humedales costeros, de manera que valoren la importancia del agua para sustentarlos y posibilitar que estos brinden una diversidad de servicios ecosistémicos, los cuales benefician al ambiente y a la sociedad.

Finalmente, se reafirma que el estudio de las interrelaciones entre los humedales costeros y otros usos de agua, como la agricultura, desde un enfoque geográfico, es una ventaja para facilitar la comprensión integral y espacial de estas, y para aportar con alternativas de solución a la problemática analizada. Todo ello constituye una contribución a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que finalmente puede asegurar la conservación de los humedales costeros y los usos sostenibles del agua.

RECOMENDACIONES

Para determinar los cambios de extensión o áreas de los cuerpos de agua de los humedales es recomendable trabajar con imágenes satelitales de alta resolución, de manera que los resultados tengan un mayor nivel de precisión y confiabilidad; es decir, se acerquen más a la realidad. La obtención de información más oportuna será el

primer paso para realizar una mejor toma de decisiones para la gestión de los humedales costeros.

Se recomienda hacer estudios sobre el cálculo del caudal ecológico (art. 53, Ley de Recursos Hídricos) de la Albufera de Medio Mundo y de otros humedales costeros, de manera que aporte a la GIRH en la intercuenca San Felipe-Medio Mundo. García y Lleellish (2011) mencionan que es importante incluir en la GIRH la cuantificación de las necesidades de agua en los humedales costeros, denominada “demanda de agua ecológica” (caudal ecológico).

Partiendo de que la explotación de los acuíferos interfiere con los humedales, pero al mismo tiempo trae beneficios socioeconómicos, se recomienda promover una gestión de acuíferos costeros que considere el caudal ecológico o “demanda hídrica” de los humedales, para favorecer a la conservación de estos ecosistemas. Asimismo, una correcta implementación de la gestión de acuíferos costeros permitiría lograr una utilización sustentable de los recursos hídricos subterráneos en los diversos usos que se les da; tales son los casos del uso agrario, industrial y poblacional. De esta manera se evitaría en el futuro algún tipo de afectación negativa sobre alguno de estos sectores y los conflictos sociales que podrían devenir a partir de ello. Por último, a través de esta gestión también se podría evitar la intrusión marina (Peña, 2008, p. 72), en el escenario en donde el aporte de agua al acuífero sea reducido, pues se sabe que “la descarga de agua dulce al mar es necesaria para limitar la penetración y dispersión del agua salina en el medio subterráneo” (López-Geta et al., 2008, p. 362 y Peña, p. 72). Una intrusión marina podría afectar sustancialmente a los humedales costeros, especialmente aquellos que tienen mayores concentraciones de agua dulce, como es el caso de la Albufera de Medio Mundo.

El conocimiento exhaustivo del sistema hidrológico es requisito obligatorio para poder tomar medidas pertinentes para la protección de ecosistemas, así como para el adecuado desarrollo de actividades económicas. En esta línea, es necesaria la realización de balances hídricos no sólo a nivel de la cuenca o a una escala regional, sino también a nivel de intercuenas, en este caso de la intercuenca San Felipe-Medio Mundo, de manera que se le ponga más atención a los procesos locales con un efecto mayor sobre el humedal costero de Medio Mundo.

Para ello se requiere primero de una contabilización del agua en términos de cantidad para conocer el agua consumida, así como dónde, cuándo y en qué se está consumiendo. Y, por otro lado, una contabilización del agua en términos de calidad, pues es esta quien determina la posibilidad de su uso (Lecina et al., 2009, p 77 y p 78). Se requiere también de la generación y actualización constante de datos hidrometeorológicos para el cálculo de balances hídricos, tanto para el área de estudio como para otras zonas costeras.

Cabe resaltar la recomendación que realiza Custodio (2001), quien señala la importancia de cuantificar el comportamiento actual, la previsión de la evolución y el análisis de escenarios futuros referentes a por ejemplo, la explotación del agua subterránea y su impacto en las descargas hídricas de los humedales costeros. Ello se podría realizar a través de métodos de hidráulica subterránea y el uso de modelos numéricos de flujo y transporte de masa. Esto posibilitaría llevar a cabo evaluaciones del riesgo que suponen las actividades humanas y futuras nuevas condiciones, incluyendo el cambio climático sobre los humedales.

Se debe tomar en cuenta para próximos estudios, la dinámica de la expansión de la vegetación de juncales y totorales en la Albufera de Medio Mundo. Según lo comentado por Rolando Quezada, existe un mayor interés económico por la

explotación del junco y la totora en los últimos años. Estos son comercializados, especialmente para la elaboración de artesanías. Por otro lado, al parecer la ampliación de la vegetación de humedal se realiza mayormente hacia el interior de la laguna. Según Rolando Quezada, especies como la *Totora enea* está desplazando a los Juncales e invadiendo la superficie de la laguna de Medio Mundo, generando que el cuerpo de agua expuesto a los satélites se vea reducida por dicho fenómeno.

Por este motivo se recomienda desarrollar nuevas técnicas de teledetección para detectar con mayor precisión los factores que generan los cambios en extensión y volúmenes de los humedales. Para el caso de la detección de la evapotranspiración de los humedales el MINAM, SENHAMI y ANA han venido usando un modelo denominado SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), el cual ha tenido resultados aceptables en humedales costeros como el de Ite en Tacna y el Paraíso en Huacho. Más adelante este modelo podría usarse no sólo para el tema ecológico, sino también para evaluar el consumo de agua en zonas irrigadas, huella de agua, recarga de acuíferos, entre otras de sus funciones (García, 2015 y García y Lleellish, 2011).

Finalmente, las autoridades responsables de la planificación hidrológica deben promover la comprensión de los conceptos fundamentales de la hidrología de una cuenca y generar consciencia sobre las consecuencias que tiene cualquier tipo de modificación del uso de agua (Lecina et al., 2009, p 80). Esto traería resultados exitosos en el accionar de las personas en relación a la práctica de un uso adecuado del agua, considerando, desde una perspectiva integral, la existencia de los demás usos del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, F (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. En: *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (pp. 113-135). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Acuy, M. y Pulido, C. (2007). *Perú: informe anual. Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2006*. Buenos Aires: Wetlands International.
- Administración Local del Agua de Huaura-ALA-Huaura (2010). *Evaluación de Recursos Hídricos superficiales de la cuenca del río Huaura*. Lima.
- Alfaro, J., Guardia, F., Golte, J., Masson, L. y Oré, M. (1991). La organización social del riego. *RURALTER, Revista de Desarrollo Rural Alternativo*, 9, 11-23. Lima
- Autoridad Nacional del Agua - ANA (Sin fecha). *Análisis y situación de la Cuenca Hidrográfica del río Huaura* [diapositivas de PowerPoint]. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2013/com2013ciencia.nsf/0/6d60e2f910bc4beb05257d200056ee9d/\\$FILE/01-Ancajima-ANA.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2013/com2013ciencia.nsf/0/6d60e2f910bc4beb05257d200056ee9d/$FILE/01-Ancajima-ANA.pdf)
- Apacla, R., Eguren, F., Figueroa, A. y Oré, M. (1991). Las políticas de riego en el Perú. En *Panorama del Riego en el Perú. Parte I: ¿Qué recursos hídricos existen y qué se ha hecho?* Lima: CEPES.
- Aponte, H. y Cano, A. (2013). Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa de Lima (Perú): actualización y nuevos retos para su conservación. *Revista Latinoamericana de Conservación*, 3 (2), 15-27.
- Aponte, H. y Ramírez, D. (2010). Humedales de la Costa Central del Perú: Estructura y Amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología Aplicada*, 10 (1), 31-39.
- Aponte, H., Pérez-Irigoyen, P. y Armesto, M. (2014). Notas sobre el uso y mercado de *Schoenoplectus americanus* "junco" en la costa central del Perú: Implicancias para su manejo y conservación. *Científica*, 11(3), p. 218-229.
- Asociación del Riego Sostenible (2016) *Glosario de Riego*. Recuperado de www.riego.org
- Bala, L. (2007). Importancia de los humedales costeros patagónicos como sitios de parada de aves migratorias: bases técnicas para la definición de áreas a conservar.

En *Taller Regional sobre humedales costeros patagónicos*. Buenos Aires: Fundación Patagonia Natural.

- Barrera, S. (2011). *Análisis del nivel hídrico y las condiciones del humedal de la Laguna de Batuco* (Tesis de licenciatura). Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Chile.
- Bayo, F. (1986). Perú: el gobierno de Alan García mantiene las expectativas. *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*, 9, 139-144.
- Bielsa, J. y Duarte, R. (2000). La eficiencia técnica de riego: análisis de las conexiones y la utilidad de sus diversas definiciones. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 189, 103-118.
- Brack, A. y Mendiola, C. (2000). Las comunidades de las lagunas costeras. En *Ecología del Perú*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/94907505/Ecologia-del-Peru-Antonio-Brack-y-Cecilia-Mendiola-Parte-3-Cap-6>
- Burgos, E. (2011). *Revisión general de los humedales marino-costeros del área de La Bahía de Trujillo-Guaimoreto-Aguan; Colon, Honduras. Presentada a: The Nature Conservancy (TNC)*. Honduras: Fundación Calentura y Guaimoreto.
- Burillo, F., Panivini, G., Durán, J., Peinado, T. (1988). *Intrusión marina en acuíferos kársticos costeros: aplicación al litoral español*. Granada: Instituto Geológico y Minero de España.
- Camacho-Sandoval, J. (2008). Asociación entre variables cuantitativas: análisis de correlación. *Acta Médica Costarricense*, 50 (2), 94-96.
- Carreño, M., Pardo, M., Esteve, M. y Martínez, J. (2007). Dinámica de hábitats de los humedales litorales de la laguna del Mar Menor (Murcia, SE de España) asociada a los cambios en el régimen hidrológico de su cuenca drenante. *Anales de Biología* 29, 13-22.
- Castillo, L. (2010). *Humedales costeros de la región Lima* (1a ed.). Lima: Comunica S.A.C.
- Castro, I., Mendoza, W. y Suarez, M. (2016). *Evaluación de las Unidades de Vegetación, mediante imágenes WorldView3, en el Área de Conservación Regional Albúfera de Medio Mundo*. Huaura, Lima: CooperAcción.

- Centro de Investigación en Geografía Aplicada - CIGA-PUCP (1993). *Estudio geomorfológico-hidrológico de un sector de la Irrigación San Felipe, Valle de Huaura*. Lima: Centro de Asistencia a Proyectos de Estudios Rurales
- Centro Peruano de Estudios Sociales - CEPES (1994). *Cuenca del río Huaura* (pp. 281-287). Lima
- Centro Peruano de Estudios Sociales - CEPES (2003). *Legislación de Aguas peruanas entre 1969 y 2003*. Lima
- Chang, L. (2013). *Las Organizaciones de Usuarios de Agua y Autogestión del Agua* [diapositivas de PowerPoint]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú
- Comisión de Regantes San Felipe - CRSF (2011a). *Mantenimiento bocatoma San Felipe*. Recuperado el 6 de mayo de 2011, de: <http://comisionderegantessanfelipe.blogspot.pe/2011/05/mantenimiento-bocatoma-san-felife.html>
- Comisión de Regantes San Felipe - CRSF. (2011b). *Proyecto de Riego Tecnificado de San Felipe*. Recuperado el 7 de diciembre de 2011, de: <http://comisionderegantessanfelipe.blogspot.pe>
- Comisión Nacional del Agua - CONAGUA (2010). Capítulo 3: Usos del Agua. En *Estadísticas del Agua en México*. México.
- Consorcio Eléctrico de Villacuri Sac - COELVISAC (2011). *Estudio hidrológico para aprovechamiento hídrico del proyecto pequeña central para generación eléctrica Coelvidro 2*. Huaura, Lima.
- Corporación Nacional Forestal - CONAF (2010). *Programa Nacional para la Conservación de Humedales insertos en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado*. Chile.
- Custodio, E. (2001). Aguas subterráneas y humedales. *Aguas subterráneas y medio ambiente. Serie C, 1*. Madrid: Fundación Marcelino Botín
- Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria (DIDP). 2014. *Protección y conservación de los bofedales en el Perú*. Informe de investigación N° 33. Lima.

- Dourojeanni, R.; Tovar, S.; Hofmann, R. (1969). *La conservación de la fauna, de las bellezas escénicas y de algunos otros recursos naturales en la cuenca del río Huaura* (pp. 27-105). Lima: Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Agraria La Molina, Servicio Forestal y de Caza.
- Eguren, F (2003). *La Agricultura en la Costa Peruana. Debate agrario: Análisis y Alternativas*, 35. Lima.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio - EM. (2005). *Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y agua*. Informe de Síntesis. Washington: World Resources Institute.
- Figallo, F. (1987). *La parcelación y los nuevos problemas de la agricultura costeña. Debate Agrario (1)*. Lima.
- Flórez, N., Zution, I., Rodrigues, D., Agnellos, A., Ponciano-de Deus, F., Diego, M., Eiji, E. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47 (2), México.
- Galbraith, H.; Amerasinghe, P.; Huber-Lee, A. (2005). *The effects of agricultural irrigation on wetland ecosystems in developing countries: A literature review*. CA Discussion Paper 1. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat.
- García, E y Llellish, M. (2011). Estimación espacial de la evapotranspiración usando imágenes de satélite Landsat y el modelo SEBAL en el humedal Paraíso, Huacho. *Revista peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 3, 73-81.
- García, E. (2015). *Necesidades de agua para humedales costeros*. Lima: ANA.
- García, M., Pérez, M. y Sanz, J. (2006). Variabilidad hídrica y edáfica de humedales peninsulares interiores a partir de imágenes Landsat (TM y ETM). *Estudios Geográficos*, 260 (260), 57-78. Doi:10.3989/egeogr.2006.i260.43
- Gestión Social del Agua y el Ambiente en Cuencas - GSAAC. (2003). *Legislación peruana sobre Recursos Hídricos 1969-2003*. Lima
- Gestión Sostenible del Agua - GSAGUA (2014). *Ley de Organizaciones de Usuarios (Ley N° 30157)*. Recuperado el 22 de enero de 2014, de: <https://gsagua.com/2014/01/22/ley-de-organizaciones-de-usuarios-ley-no-30157/>

- Gobierno Regional de Lima - GORE-Lima (2009). *Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo: Plan Maestro 2009–2013*. Lima
- Gobierno Regional de Lima - GORE-Lima (2014). *Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo: Plan Maestro 2015-2019*. Lima
- Gonzales, J. (2007). *Análisis preliminar del impacto ambiental de la empresa avícola Redondos en los humedales “laguna el paraíso” y “albufera de medio mundo”*. Lima: Terra Nuova.
- Gu, D., Y. Zhang, J. fu y X. Zhang (2007). The landscape pattern characteristics of coastal wetlands in Jiaozhou Bay under the impact of human activities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 124, 361-370.
- Guerra, J., Guardia, F., Hendriks, J. (1991). Operación, mantenimiento, distribución y administración en sistemas de riego en *RURALTER, Revista de Desarrollo Rural Alternativo*, 9, 45-95.
- Guevara, J. (2006). La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo. *Terra Nueva Etapa* 22 (31), 31-72. Caracas: Universidad Central de Venezuela
- Huacho Portal (2015). *Bocatoma de San Felipe es bomba de tiempo*. Recuperado de: <http://huacho-portal.blogspot.pe/2015/08/bocatoma-de-san-felipe-es-bomba-de.html>
- Iannacone, J., Atasi, M., Bocanegra, T., Camacho, M.; Montes, A. y et al. (2010). Diversidad de aves en el humedal Pantanos de Villa, Lima, Perú: periodo 2004-2007. *Biota Neotropica*, 10 (2), 295-304. Campinas, Brasil: Instituto Virtual da Biodiversidade.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2012). *Censo Nacional Agropecuario*. Perú
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2013). *Directorio Nacional de Municipalidades Provinciales, Distritales y de Centros Poblados*. Lima
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (Sin fecha). *Divisão de Geração de Imagens*. Recuperado de: http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php

- Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA (1996). *Resolución Jefatural N° 054-96-INRENA: Aprueban la "Estrategia Nacional para la Conservación de Humedales en el Perú"*. Legislación de Áreas Naturales Protegidas, Lima, 20 de marzo, 1996.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA. 2005a. *Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua*. Lima: MINAGRI.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA. 2005b. *Delimitación y codificación de cuencas hidrográficas del Perú*. Lima: Intendencia de Recursos Hídricos.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (1993). *Rehabilitación de Sistemas de Riego y Drenaje Sub Proyecto Huaura -Santa Rosa*. Lima.
- Jiménez, R. (2010). *Sistema de Monitoreo y Evaluación de humedales frente al cambio climático*. Foro Nacional: gestión ambiental y cambio climático: vulnerabilidad, adaptación y gestión de desastre. Lima: Terra Nuova Eniex de Cooperación Italiana.
- Junta de Usuarios de Agua de Huaura - JUAH (2014). *Quiénes somos*. Recuperado el 6 de mayo de 2014, de: <http://juntausuariosuaura.blogspot.pe/2014/05/blog-post.html>
- Junta de Usuarios de Agua de Huaura - JUAH (2017). *Evaluación de la disponibilidad hídrica en la irrigación San Felipe-Eficiencias*. Huaura, Lima.
- Lankford, B. y Franks, T. (2000). The sustainable coexistence of wetlands and rice irrigation: A case study from Tanzania. *Journal of Environment and Development*, 9, 119-137.
- Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E. y Aragüés, R. (2009). Efecto de la modernización de regadíos sobre la cantidad y la calidad de las aguas: la cuenca del Ebro como caso de estudio. *Monografías INIA: Serie agrícola*, 26. España
- Libélula (2011) *Diagnóstico de la agricultura en el Perú-Informe final*. Lima: Peru Opportunity Fund.
- López-Geta, J., Loredó, J., Fernández, L y Llera, J (Eds.) (2008). Investigación y gestión de los recursos del subsuelo. *Hidrogeología y Aguas subterráneas*, 27. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

- Madrigal, S. (2014). Tipología de unidades de síntesis definidas por criterios ecológicos que pueden adoptarse en los procesos de meso zonificación ecológica económica. Una aproximación al territorio peruano. *Ecología Aplicada*, 13 (1), 1-13.
- Mellado, C. (2008). *Caracterización hídrica y gestión ambiental del humedal de Batuco 2008*. (Tesis de licenciatura). Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Mendoza, W. y Castro, I. (2016). *Evaluación de las Unidades de Vegetación, mediante imágenes Worldview 3, en el Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura, Lima-Perú* (presentación en Power Point). I Foro sobre Ecosistemas de Lomas y Humedales. Huacho: UCSS y CooperAccion.
- Ministerio de Agricultura - MINAG (1987a). *Proyecto PLANHERATI III: Rehabilitación y mejoramiento de los sistemas de riego y drenaje del valle de Huaura*. Estudio definitivo-Primera etapa. Proyecto especial de rehabilitación de tierras. Informe Principal (vol. 1). Lima: Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial de Rehabilitación de Tierras.
- Ministerio de Agricultura - MINAG (1987b). *Proyecto PLANHERATI III: Rehabilitación y mejoramiento de los sistemas de riego y drenaje del valle de Huaura*. Estudio definitivo-Primera etapa. Proyecto especial de rehabilitación de tierras. Informe Principal (vol. 2). Lima: Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial de Rehabilitación de Tierras.
- Ministerio de Agricultura - MINAG (2003). El Agua. Proyecto Subsectorial de Irrigación (PSI). *Boletines Técnicos*, 1 (2).
- Ministerio de Agricultura - MINAG (2004). *Programa de Entrenamiento en Servicio-PES: Determinación de Eficiencias de Conducción y Distribución*. Instructivo Técnico. Lima: PSI.
- Ministerio de Agricultura - MINAG (2005). *Inventario y monitoreo de las aguas subterráneas en el valle de Huaura*. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI (Sin fecha a). *¿Qué es el PSI?* Recuperado de: <http://www.psi.gob.pe/que-es-el-psi/>
- Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI (2012). *Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI): Plan Estratégico Institucional 2012-2016*. Lima

- Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI (2015). *Cuencas y Drenaje*. Recuperado de: <http://minagri.gob.pe/portal/marco-legal/51-sector-agrario/hidrometeorologia/362-cuencas-y-drenaje>
- Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI y Autoridad Nacional del Agua - ANA (Sin Fecha). *Marco Legal en Relación a las Organizaciones de Usuarios*. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI y Autoridad Nacional del Agua-ANA (2010). *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura*. Tomo I. Resumen Ejecutivo e Informe principal. Lima.
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2010). *Cambio climático: costa norte*. Lima: Fundación Manuel J. Bustamante de La Fuente.
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2015a). *Dirección general de la diversidad biológica*. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/>
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2015b). *Plataforma Nacional de Servicios Ecosistémicos*. Recuperado de: <http://serviciosecosistemicos.minam.gob.pe/contenido/59>
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2015c). *Estrategia Nacional de Humedales. Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales*. Lima: Dirección General de Diversidad Biológica.
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2015d). *Documento de trabajo 5: Áreas de Conservación Regional (1a ed.)*. Lima: SERNANP.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo - MINCETUR. (2005). *Plan Maestro para un desarrollo integral sostenible de Supe y Barranca (1)*. Lima: Plan Copesco Nacional.
- Ministerio del Medio Ambiente - MMA (2011). *Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental*. Santiago de Chile: Centro de Ecología Aplicada.
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia - MinAmbiente (2001). *Política nacional para humedales interiores de Colombia*. Recuperado de: <http://www.encolombia.com/medio-ambiente/humedales/hume-politicacolombiana/hume politicacolombiana6/>

- Mitsch, W. y Gosselink, J. (2000). *Wetlands* (3a ed.). Nueva York: John Wiley & Sons Inc.
- Molina, G. y Rodrigo, M. (2010). *Estadística descriptiva en Psicología. Curso 2009-2010*. España: Universidad de Valencia.
- Moreno-Casaola, P. y Warner, B. (2009). *Breviario para describir, observar y manejar humedales* (1a ed.). Veracruz, México: Costa Sustentable.
- Moschella, P. (2012). *Variación y protección de humedales costeros frente a procesos de urbanización: Casos Ventanilla y Puerto Viejo*. (Tesis de Maestría). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mostacero, J., Ramírez, R. y Mejía, F. (2008). Caracterización biológica, física y química de los Humedales altoandinos. *REBIOL*, 28 (2).
- Mundo Azul (2005). *Inventario de humedales costeros del Perú*. Recuperado de: <http://peru.mundoazul.org/habitats-especies/humedales-costeros-del-peru/>
- Municipalidad Provincial de Huaura - MPH (2009). *Plan de Desarrollo Concertado de la provincia de Huaura 2009-2021*. Huaura.
- Municipalidad Provincial de Huaura - MPH (2013). *Plan de Acondicionamiento Territorial: Provincia de Huaura 2013-2022*. Huaura
- Novoa, Z. (Ed.) (2011). *Ciclo hidrológico*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Núñez, R., Christian, A., Madero, M. y Edgar, E. (2009). Cambios en coberturas de áreas y usos del suelo en tres humedales en el Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, 58 (4), 308-315.
- Oré, M. (1989). *Riego y Organización*. Lima: Tecnología Intermedia (ITDG).
- Oré, M. y Del Castillo, L. (2006). *La legislación de aguas en el Perú*. Lima
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (1970). *Reconocimiento sobre el uso de agua y tierras para el desarrollo de la cuenca del río Huaura*. Informe Final. Vols. I-X: General. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (1970). 2002. *Agua y cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura*. Roma.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2017). Qué es la tenencia de la tierra. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/y4307s/y4307s05.html>
- Palacios-Vélez, E. (1991). *La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego*. Montecillo, México.
- Pastrana-Buelvas, E. y Pacheco-Restrepo, Y. (2010) La Convención Ramsar a lo largo del eje local-global: protección de humedales en el Valle del Cauca. *Papel Político*, 15 (2), 573-616.
- Peña, F. (2008). *Hidrogeología de la cuenca del río Huaura*. Master oficial en hidrología y gestión de los recursos hídricos. España: Universidad de Alcalá.
- Peña, F. (2017). *Los humedales costeros y su relación con el agua subterránea* [diapositivas de PowerPoint]. VII Encuentro Científico por el Día Mundial del Agua. Lima: INGEMMET (organizador)
- Pérez, V. (1980). *Sutton y la irrigación de Olmos*. Lima.
- Petillo, M. (2011). Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15 (2), 76-82.
- Pinto, Y. (2011). *Nuevo marco legal en Gestión de Recursos Hídricos*. III Congreso Nacional del Agua. Lima: UNMASM.
- Playán, E. (1994). Eficiencia en el aprovechamiento del agua por el regadío. *Geológica* 3, 99-128.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2010. *Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2009. Por una densidad del Estado al servicio de la gente. Parte II: una visión desde las cuencas* (1a ed.). Lima: MIRZA Editores & Impresores SAC.
- ProNaturaleza (2010). *Documento base para la elaboración de una estrategia de conservación de los Humedales de la Costa Peruana: Humedales de la costa peruana* (1a ed.). Lima: Conservación Internacional y RAMSAR.

- Proyecto de Conservación de Humedales de la Costa Central - PROCOMHCC (2007). *Humedales de la costa central del Perú*. Recuperado de: <http://prohumedales.blogspot.com/2007/10/educacin-ambiental-para-el-desarrollo.html>
- Ramsar (1971). *Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas*. Irán.
- Ramsar (2004). Asignación y manejo de los recursos hídricos. *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales* (2a ed.) (pp.1-58). Gland, Suiza.
- Ramsar (2005). *Lineamientos para el manejo de las aguas subterráneas a fin de mantener las características ecológicas de los humedales*. 9na Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales Resolución. Kampala, Uganda.
- Ramsar (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (4ta. ed.). Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Ramsar (2007). *VI Reunión Regional Panamericana de la Convención sobre los Humedales*. Documento Informativo N°1. Bogotá.
- Ramsar (2010). *Manual 1: Uso racional de humedales: Conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales*. Manuales Ramsar (4ta ed.). Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Ramsar (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (6a ed.). Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Ramsar (2015). *Se necesitan medidas mundiales para restaurar y proteger los humedales naturales del planeta*. Recuperado el 2 de junio de 2015, de: <http://www.ramsar.org/es/nuevas/se-necesitan-medidas-mundiales-para-restaurar-y-protger-los-humedales-naturales-del-planeta>
- Ramsar (2016). *Humedales: en peligro de desaparecer en todo el mundo*. Ficha Informativa 3.
- Ramsar (2017). *Ramsar Sites Information Service*. Recuperado de: [https://rsis.ramsar.org/rsis-search/?f\[0\]=regionCountry_en_ss%3APeru](https://rsis.ramsar.org/rsis-search/?f[0]=regionCountry_en_ss%3APeru)

- Reboratti, C. (1990). Fronteras Agrarias en América Latina. *Geo Crítica, Cuadernos Críticos de Geografía Humana* (87).
- Rodriguez, A. (2014). *Plan de Gobierno: Distrito Histórico de Végueta 2015-2018*. Lima: Movimiento Político Regional Concertación para el Desarrollo Regional.
- Romero, C. (2004). *Efectos ambientales de los volúmenes de agua generados por los excedentes de riego del distrito de riego Arenal sobre los humedales del Parque Nacional Palo* (Tesis de licenciatura). San Jose, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Sánchez, J. (2011). Conceptos fundamentales de Hidrogeología. En *Medidas puntuales de permeabilidad*. Salamanca: Universidad de Salamanca. Recuperado de: <http://hidrologia.usal.es>
- Santos, B. y Peña, F. (2016). *Modelo Hidrogeológico de las Albuferas de Medio Mundo, Sector Huaura*. XVIII Congreso Peruano de Geología. Lima: Sociedad Geológica del Perú.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). 2013. *Humedales en Áreas Naturales Protegidas, fuentes de vida y desarrollo*. Lima.
- Sueltenfuss, J., Cooper, D., Knight, R. y Waskom, R. (2013). The Creation and Maintenance of Wetland Ecosystems from Irrigation Canal and Reservoir Seepage in a Semi-Arid Landscape. *Wetlands*, 33 (5), 799-810.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). 2014. *Estudio tarifario: Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de la provincia de Huaura-EMAPA HUACHO S.A.* Lima: Gerencia de Regulación Tributaria.
- Tantaleán, H. y Leyva, M. (2011). Los “Templos en U” del valle de Huaura, costa norcentral. Una aproximación preliminar a un problema monumental. *Bulletin de l’Institut Français d’Études Andines*, 40 (3), 459-493.
- Torres, M., Quinteros, Z. y Takano, F. (2006). Variación temporal de la abundancia y diversidad de aves limícolas en el Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa. *Ecología Aplicada*, 5 (1-2), 119-125. Lima-Perú.
- Tovar, A. (1977). Sinecología de la laguna Medio Mundo. *Revista Forestal del Perú*, 7, 1-25. Lima.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; Fondo Mundial para la Naturaleza-UICN, PNUMA y WWF (1991). *Cuidar la Tierra: Estrategia para el Futuro de la Vida*. Gland, Suiza.

Viceministerio de Patrimonio Cultural e Industrias Culturales - VMPCIC (2015). *Resolución Viceministerial N° 054-2015-VMPCIC-MC: Declaran Patrimonio Cultural de la Nación a los Conocimientos y prácticas relacionados a la cestería en junco y totora en las provincias de Huaura, Huaral y Barranca del departamento de Lima*. El Peruano, Lima, 23 de abril de 2015.

Viñals, M.J., Blasco, D., y Morant, M. (2011). *Los humedales mediterráneos: el contexto ambiental y social. Reflexiones para su estudio y gestión eficaz*. Valencia: Fundación Biodiversidad.

Wild Life Conservation Society - WCS Perú (2015). *Estrategia Nacional de Humedales*. Recuperado de: <http://inambari.org/humedales/estrategia-nacional/>

Xu, H (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (14), 3025–3033. doi: 10.1080/01431160600589179

Zegarra, E. y Orihuela, J. (2005). *La agenda pendiente en el sector Agricultura*. Informe de consultoría para el Proyecto Crecer. Lima: Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE).

Zegarra, E. (2002). La investigación social sobre el manejo del agua de riego en el Perú: una mirada a conceptos y estudios empíricos. En: Perú, el problema agrario en debate. *Seminario Permanente de Investigación Agraria*, 9.

ANEXOS

ANEXO 1: ESPECIES DE AVES EN LOS AMBIENTES DE UN HUMEDAL COSTERO

A.1. Especies de aves según tipo de ambiente dentro de humedal costero

TIPO DE AMBIENTE DENTRO DEL HUMEDAL	ESPECIES DE AVES	
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Lagunas	Polla de agua	<i>Gallinula chloropus</i>
	Polla sultana	<i>Porphyryula martinica</i>
	Gallareta	<i>Fulica ammcana</i>
	Gallineta común	<i>Rollus sanguinolentus</i>
	Zambullidor de pico grueso	<i>Podilymbus podiceps</i>
	Cushuri	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>
Totorales y juncuales	Totorero	<i>Phleocryptes melanops</i>
	Sietecolores	<i>Tachuris rubrigastra</i>
	Garza tamanquita	<i>Butorides striatus</i>
Praderas pantanosas	Garza bueyera	<i>Bubulcus ibis</i>
	Garza blanca pequeña	<i>Leucophoyx chula</i>
	Garza cuca	<i>Ardea cocoi</i>
	Garza blanca grande	<i>Casmerodius albus</i>
	Huaco	<i>Nycticorax nycticorax</i>
	Lique-lique	<i>Ptiloscelys resplendens</i>
	Huerequeque	<i>Burhinus superciliaris</i>
	Dormilonas	<i>Muscisaxicola spp.</i>
Chichirre	<i>Anthus chií</i>	

Elaboración propia. Fuente: Brack y Mendiola, 2000, p. 163

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES SATELITALES UTILIZADAS

A.2. Sensor y fecha de las imágenes satelitales Landsat del área de estudio

ÍTEM	SATÉLITE Y SENSOR	FECHA
1	Landsat 5 TM L1T	07/04/1985
2	Landsat 5 TM L1T	10/04/1986
3	Landsat 5 TM L1T	29/04/1993
4	Landsat 5 TM L1T	19/04/1995
5	Landsat 5 TM L1T	21/04/1996
6	Landsat 5 TM L1T	11/04/1998
7	Landsat 5 TM L1T	14/04/1999
8	Landsat 7 ETM+L1T	11/04/2001
9	Landsat 7 ETM+L1T	29/03/2002
10	Landsat 7 ETM+L1T	01/04/2003
11	Landsat 5 TM L1T	26/03/2004
12	Landsat 5 TM L1T	30/04/2005
13	Landsat 5 TM L1T	03/04/2006
14	Landsat 5 TM L1T	20/04/2007
15	Landsat 5 TM L1T	14/04/2010
16	Landsat 8 OLI	23/04/2014
17	Landsat 8 OLI	26/04/2015
18	Landsat 8 OLI	27/03/2016

Elaboración propia. Fuente: Glovis USGS