

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS**



**“DISPONIBILIDADES HÍDRICAS REGULADAS DEL
RESERVORIO LAGUNILLAS Y RÍO VERDE PARA USOS
MÚLTIPLES EN LA CUENCA DEL RÍO CABANILLAS”**

Presentada por:

ISIDRO ALBERTO PILARES HUALPA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN RECURSOS HÍDRICOS**

Lima - Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS**

**“DISPONIBILIDADES HÍDRICAS REGULADAS DEL
RESERVORIO LAGUNILLAS Y RÍO VERDE PARA USOS
MÚLTIPLES EN LA CUENCA DEL RÍO CABANILLAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
Doctoris Philosophiae (Ph.D.)**

Presentada por:

ISIDRO ALBERTO PILARES HUALPA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva
PRESIDENTE

Dr. Néstor Montalvo Arquiñigo
PATROCINADOR

Dr. Abel Mejía Marcacuzco
MIEMBRO

Ph.D. Eduardo Chávarri Velarde
MIEMBRO

Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué
MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre Santusa Huallpa S., que nos dejó en esta vida antes de terminada esta tesis; para ella va dedicada esta tesis por ser artífice de mi formación como persona honesta y su invaluable apoyo en mi formación profesional. Gracias por confiar en mí y que Dios te tenga a su lado.

A mi esposa Yoni Carreño Laurel, por su dedicación en la formación de nuestras hijas y por su apoyo decidido en la culminación de esta tesis. A mis hijos Carlos, Garlet, Denisse, Daysi y Ashley por su apoyo invaluable en la redacción de la tesis.

A mis hermanos Alfredo y Robert, por su apoyo, ánimos y aliento para culminar mis estudios y la presente tesis.

A la memoria de mi padre Isidro Pilares Mitane y mi hermano Oswaldo Pilares Hualpa por su apoyo para ser una gran persona y por sus consejos que han sido de gran ayuda en mi crecimiento como profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater de siempre la Universidad Nacional Agraria La Molina mis agradecimientos especiales y eternos, en mi formación profesional como Ingeniero Agrícola, como líder estudiantil y como persona humana con valores éticos.

Mis sinceros agradecimientos al Ing. Gonzalo Fano Miranda, de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo invaluable en el manejo del Programa; al Ing. Gustavo de la Cruz de SENAHMI – PERU, por su apoyo fundamental con la información de datos de Cambio Climático para el desarrollo y culminación de la tesis.

Mi gratitud a mis jurados Dr. Absalon Vasquez Villanueva, al Dr. Abel Mejia Marcacuzco, al jurado externo Napoleon Puño Lecarnaque y en especial al Dr. Eduardo Chavarri Velarde, por sus valiosos consejos e indicaciones en la mejora de la tesis.

Hago extensivo también mis agradecimientos a mis docentes, a mis compañeros de clases del Doctorado de Recursos Hídricos, a mis colegas de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNA-PUNO, que de una y otra manera han motivado en la culminación de la tesis.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION	1
II.	JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	3
	2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
	2.1.1. PROBLEMA GENERAL	4
	2.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	4
III.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	5
	3.1. OBJETIVO GENERAL	5
	3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
IV.	FORMULACION DE HIPOTESIS	6
	4.1. HIPÓTESIS GENERAL	6
	4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	6
V.	ANTECEDENTES	7
VI.	REVISIÓN DE LITERATURA	11
	6.1. MODELO HIDROLÓGICO	11
	6.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS	12
	6.2. SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROLOGICO WEAP.....	14
	6.2.1. FUNDAMENTOS	15
	6.3. CALIBRACION Y VALIDACION DE UN MODELO HIDROLÓGICO.....	17
	6.3.1. FUNCIONES OBJETIVO	19
	6.3.2. CALIBRACIÓN	20
	6.3.3. PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN	20
	6.3.4. INDICADORES DE EFICIENCIA EN LA MODELACIÓN.....	22
	6.3.5. VALIDACIÓN	24
	6.4. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	25
	6.4.1. CONCEPTO GENERAL.....	25
	6.4.2. REGIONALIZACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS.....	27
	6.4.3. MODELO DE CIRCULACIÓN GENERAL (MCG).....	27
	6.4.4. DOWNSCALING CLIMÁTICO.....	28
	6.4.5. ESCENARIO CLIMÁTICO	29
	6.4.6. ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PERÚ	31
	6.4.7. INCERTIDUMBRE DE ESCENARIOS	32
	6.5. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO.....	34
	6.5.1. MÉTODO DE RIPPL.....	34
	6.5.2. ANÁLISIS DE PISCOS SECUENCIALES.....	35

VII.	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	37
7.1.	CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	37
7.1.1.	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	37
7.1.2.	UBICACIÓN	37
7.1.3.	SISTEMA HIDRAULICO LAGUNILLAS	41
7.1.4.	SUBCUENCA DEL RIO PARATIA	46
7.1.5.	SUBCUENCA DEL RIO JARPAÑA.....	47
7.1.6.	SUBCUENCA DEL RIO CERRILLOS	48
7.1.7.	INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	50
7.2.	DEMANDA HÍDRICA DEL SISTEMA INTEGRAL DE LAGUNILLAS	51
7.2.1.	DEMANDA POBLACIONAL	51
7.2.2.	DEMANDA ECOLÓGICA.....	51
7.2.3.	DEMANDA INDUSTRIAL Y MINERO PROYECTADA.....	52
7.2.4.	DEMANDA AGRÍCOLA.....	52
7.2.5.	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA	53
7.2.6.	DEMANDA HÍDRICA TOTAL PROYECTADA.....	54
VIII.	MÉTODOLOGIA	55
8.1.1.	DETERMINACIÓN DE LOS CATCHMENTS	59
8.2.	CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO.....	62
8.2.1.	CALIBRACIÓN	63
8.3.	EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA OFERTA HÍDRICA.....	66
8.3.1.	PROYECCIÓN CLIMÁTICA.....	66
8.4.	OPTIMIZACION: REGLAS DE OPERACIÓN.....	68
8.4.1.	MODELOS DE SIMULACIÓN EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	70
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	76
9.1.	APLICACION DEL MODELO WEAP.....	76
9.1.1.	MAPA DE SUBCUENCAS	77
9.1.2.	MAPA DE BANDAS DE ELEVACIÓN	78
9.1.3.	MAPA DE VEGETACIÓN Y USO DE LA TIERRA	80
9.1.4.	ELABORACIÓN DE CATCHMENTS.....	81
9.1.5.	ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CONSIDERADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	83
9.2.	EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA OFERTA HÍDRICA.....	83
9.2.1.	INFORMACIÓN DE LOS ESCENARIOS PARA PUNO	84
9.2.2.	EFFECTO EN EL CAUDAL ANUAL Y MENSUAL.....	86
9.2.3.	VARIACIONES PROMEDIO ANUAL, ESTACIONAL Y MENSUAL.....	89

9.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDROLÓGICA DE LA CUENCA EN ESTUDIO.....	100
9.3.1. Variación de la capacidad hidrológica con información Histórica	100
9.4. MODELAMIENTO DEL SISTEMA CON PROGRAMA WEAP CON INFORMACION HISTORICA Y BAJO EFECTO DE CAMBIO CLIMATICO	108
9.4.1. MODELADO DEL SISTEMA BAJO 3 ESCENARIOS DE FUNCIONAMIENTO DE ALMACENAMIENTO Y DEMANDAS PLANTEADAS AL 100% Y 2 ESCENARIOS CON DEMANDAS AL 50% CON INFORMACIÓN HISTÓRICA.	108
9.4.2. MODELAMIENTO DEL SISTEMA PARA 3 ESCENARIOS DE FUNCIONAMIENTO DE ALMACENAMIENTO Y DE DEMANDAS PLANTEADAS AL 100% Y 1 ESCENARIO DE REFERENCIA AL 50% PARA CUATRO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO: CANES45, CANES85. CNRM_CMI45, CNRM_CMI85.....	123
9.4.3. PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	162
X. OPTIMIZACION MEDIANTE REGLAS DE OPERACIÓN APLICANDO WEAP ...	164
10.1.ELABORACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS DE PROYECTOS DEL SISTEMA INTEGRAL DE LAGUNILLAS	164
10.2.MODELADO DEL SISTEMA PARA 3 ESCENARIOS DE FUNCIONAMIENTO DE ALMACENAMIENTO Y DE DEMANDAS PLANTEADAS AL 100% CON INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO: CANESM2-RCP4.5, CNRM_CMI4.5 E HISTORICO.	167
10.2.1. ESCENARIO FUNCIONANDO SOLO RESERVORIO DE LAGUNILLAS Y RIO VERDE SIN RESERVORIO.....	167
10.2.2. ESCENARIO FUNCIONANDO RESERVORIO DE LAGUNILLAS Y RIO VERDE TRASVASE A LAGUNILLAS	175
10.2.3. ESCENARIO FUNCIONANDO RESERVORIO DE LAGUNILLAS Y RIO VERDE CON RESERVORIO.....	182
XI. CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO.....	193
11.1.CALIBRACIÓN GRAFICA VISUAL	193
11.2.MÉTODO ERROR MEDIO CUADRÁTICO – RMSE	194
11.3.MÉTODO DE LA EFICIENCIA DE NASH – SUTCLIFFE.....	194
11.4.BIAS NORMALIZADO (NBI)	194
11.5.COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON (R)	195
11.6.ERROR EN VOLUMEN (EV).....	195
XII. CONCLUSIONES.....	196
XIII. RECOMENDACIONES.....	198
XIV. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	199
ANEXO.....	204

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ecuación y representación esquemática de la operación de un sistema Fuente: Chow (1994).....	11
Figura 2: Clasificación del modelo hidrológico de acuerdo con la forma, la aleatoriedad, y la variabilidad espacial y temporal de los fenómenos hidrológicos. Fuente: Chow (1994)	13
Figura 3: Esquema del almacenamiento del suelo en dos capas, se muestran las entradas y salidas del modelo hidrológico para cada tipo de cobertura. Fuente: Yates D. et al (2005).....	15
Figura 4: Superficie de respuesta para dos parámetros (SZM y Ln(To)) del modelo TOPMODEL en una aplicación para modelar la corriente de descarga de un río. Fuente: Mason J. y Kipp K. (1997.	18
Figura 5: Registros de variaciones de temperatura y emisiones de CO2. Izquierda: anomalías en el promedio mundial de temperaturas desde 1850 al 2012. Derecha: emisiones anuales de CO2 antropógeno y su distribución en la atmosfera, la tierra y los océanos.....	26
Figura 6: Esquema de una regionalización dinámica y estadística. Regionalización dinámica de 275 km a 20 km de tamaño de píxel (Figura superior), y regionalización estadística cuya metodología enlaza la información a gran escala con observaciones locales (Figura inferior). Fuente: Gutiérrez, et al. (2012).	29
Figura 7: Diagrama de variación de temperatura media global registrado y proyectado para cuatro tipo de escenarios RCP. Variación de temperatura media global en superficie de 1986 al 2005 y proyectada para el periodo de 2081 al 2100 en los escenarios RCP extremo <i>de cambio climático: RCP 2.6 y RCP 8.5</i> . Fuente: IPCC (2013).....	31
Figura 8: Incertidumbre en los escenarios generados por los modelos climáticos. Representación de la evidencia, nivel de acuerdo y relación con la confianza; la confianza aumenta tal como sugiere el aumento de la intensidad del sombreado. Fuente: IPCC (2013).	33
Figura 9: Estimación de la capacidad de almacenamiento por el procedimiento de curva masa. Fuente: Handbook of Hydrology D.Maidment, 1993).....	34
Figura 10: Diagrama de pisos secuenciales	36
Figura 11: Ubicación hidrográfica de la Cuenca de Cabanillas	38
Figura 12: Ubicación geográfica de la Cuenca de Cabanillas.....	39
Figura 13: Ubicación política de la Cuenca de Cabanillas	40
Figura 14: Esquema hidráulico del proyecto integral lagunillas. Fuente PELT	42
Figura 15: Presa de Lagunillas.....	43
Figura 16: Sistema Integral Lagunillas	44
Figura 17: Mapa hidrográfico de la Cuenca del Cabanillas	45
Figura 18: Subcuencas del Río Cabanillas.....	46

Figura 19: Esquema Fluvial - Subcuenca Paratia Fuente PELT	47
Figura 20: Esquema Fluvial - Subcuenca Jarpaña Fuente PELT	48
Figura 21: Esquema Fluvial - Subcuenca Cerrillos. Fuente PELT	49
Figura 22: Confluencia del Río Cerrillo y el Río Verde formando el Río Cabanillas	50
Figura 23: Elementos básicos de modelamiento hidrológico en WEAP. Fuente: Purkey et al. (2008).....	59
Figura 24: Diagrama Conceptual y Ecuaciones Incorporadas al Modelo de Estanques Fuente: Manual WEAP	61
Figura 25: Esquema del embalse	69
Figura 26: Relación entre los diferentes parámetros del sistema en la regla de operación normal..	70
Figura 27: Regla de operación normal.....	75
Figura 28: Subcuencas obtenidas a partir del MED de la cuenca	77
Figura 29: Bandas de elevación obtenidas a partir del MED de la cuenca	79
Figura 30: Mapa de coberturas reclasificado	80
Figura 31: Catchements para WEAP obtenidos a partir del mapa de subcuencas	82
Figura 32: Coordenadas para cada punto de grillas.	86
Figura 33: Caudales medios mensuales observados y generados WEAP.....	86
Figura 34: Hidrograma de caudales anuales escenarios PC. Verde	87
Figura 35: Hidrograma de caudales anuales escenarios PC. Lagunillas	87
Figura 36: Caudales promedios mensuales para 6 escenarios de cambio climático PC. Verde.....	88
Figura 37: Caudales medios mensuales para 6 escenarios de cambio climático PC. Cerrillos.....	88
Figura 38: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios CNRM_VERDE	94
Figura 39: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios CANES_VERDE.....	94
Figura 40: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios MPI_VERDE.....	95
Figura 41: Comparativo porcentual promedio mensual CNRM E HISTORICO_VERDE	95
Figura 42: Comparativo porcentual promedio mensual escenarios CANES E HISTORICO_VERDE.....	96
Figura 43: Comparativo porcentual promedio mensual escenarios MPI E HISTORICO_VERDE	96
Figura 44: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios CNRM_CERRILLOS.....	97
Figura 45: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios CANES_CERRILLOS	97
Figura 46: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios MPI_CERRILLOS	98
Figura 47: Comparativo porcentual promedio mensual CANES E HISTORICO_CERRILLOS ...	98
Figura 48: Comparativo porcentual promedio mensual CNRM E HISTORICO_CERRILLOS.....	99
Figura 49: Comparativo porcentual promedio mensual MPI E HISTORICO_CERRILLOS	99
Figura 50: Volúmenes de almacenamiento y Variación capacidad hidrológica histórico PC VERDE	100

Figura 51: Volumen de almacenamiento y Variación capacidad hidrológica histórico PC RIO CERRILLOS.....	101
Figura 52: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CANESM2 rcp45 PC RIO VERDE	101
Figura 53: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CANESM2 rcp45 PC RIO CERRILLOS.....	102
Figura 54: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CANESM2 rcp85 PC RIO VERDE	102
Figura 55: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CANESM2 rcp85 PC RIO CERRILLOS.....	103
Figura 56: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CNRM-CM5 rcp45 PC RIO VERDE	103
Figura 57: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CNRM-CM5 rcp45 PC RIO CERRILLOS.....	104
Figura 58: Volumen de almacenamiento y Variación capacidad hidrológica CNRM-CM5 rcp85 PC VERDE.....	104
Figura 59: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CNRM-CM5 rcp45 PC RIO CERRILLOS.....	105
Figura 60: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica MPI-ESM-MR rcp45 PC RIO VERDE	105
Figura 61: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica MPI-ESM-MR rcp45 PC Rio Cerrillos.....	106
Figura 62: Volumen de almacenamiento y Variación capacidad hidrológica MPI-ESM-MR rcp85 PC RIO VERDE	106
Figura 63: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica MPI-ESM-MR rcp85 PC Rio Cerrillos.....	107
Figura 64: Croquis de modelamiento de la oferta y demanda del sistema planteado	109
Figura 65: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%).....	109
Figura 66: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%).....	110
Figura 67: Caudales ingreso y salidas, Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)	110
Figura 68: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%).....	111

Figura 69: Demandas entregadas Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)	111
Figura 70: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)	112
Figura 71: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)	113
Figura 72: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)	113
Figura 73: Demandas entregadas satisfechas Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)	114
Figura 74: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)	115
Figura 75: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)	115
Figura 76: caudales ingresados y egresados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%).....	116
Figura 77: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)	116
Figura 78: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%).....	117
Figura 79: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y con las demandas planteadas (50%).....	118
Figura 80: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y con las demandas planteadas (100%).....	118
Figura 81: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y con las demandas planteadas (100%).....	119
Figura 82: Caudales ingresados y egresados en lagunillas, con regulación en lagunillas y rio verde no regulado con las demandas al 50	119
Figura 83: Demandas entregadas operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (50%)	120
Figura 84: Volúmenes Almacenados en lagunillas, operando lagunillas, y aguas del rio verde regulado y con las demandas planteadas (100%).....	121
Figura 85: Volúmenes Almacenados en lagunillas, operando lagunillas, y aguas del rio verde regulado y con las demandas planteadas (100%).....	121
Figura 86: Volúmenes Almacenados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio del rio verde regulado y con las demandas planteadas (100%).....	122

Figura 87: Demandas entregadas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (50%).....	122
Figura 88: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICO.....	123
Figura 89: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información CANES4.5.....	123
Figura 90: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información CANES8.5.....	124
Figura 91: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información CNRM_CMI4.5.....	124
Figura 92: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información CNRM_CMI8.5.....	125
Figura 93: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%. HISTORICO.....	125
Figura 94: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%. CANES 4.5.....	126
Figura 95: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%. CANES 8.5.....	126
Figura 96: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%. CNRM_CMI4.5.....	127
Figura 97: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%. CNRM_CMI8.5.....	127
Figura 98: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICO.....	128
Figura 99: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 4.5.....	129
Figura 100: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 8.5.....	129
Figura 101: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI4.5.....	130
Figura 102: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI8.5.....	130
Figura 103: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICO.....	131
Figura 104: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 4.5.....	131

Figura 105: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 8.5	132
Figura 106: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas al (100%) CNRM_CMI4.5	132
Figura 107: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI8.5	133
Figura 108: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con información HISTORICO.....	134
Figura 109: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con cambio climático CANES4.5	134
Figura 110: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con cambio climático CANES8.5	135
Figura 111: Volúmenes Almacenados en lagunillas, operando lagunillas y trasvase de aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con cambio climático CNRM_CMI4.5	135
Figura 112: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con cambio climático CNRM_CMI8.5.....	136
Figura 113: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICO	136
Figura 114: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 4.5	137
Figura 115: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 8.5	137
Figura 116: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI4.5	138
Figura 117: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI8.5	138
Figura 118: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICA	139
Figura 119: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con efecto de Cambio Climático CANES4.5	139
Figura 120: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con efecto de Cambio Climático CANES8.5	140

Figura 121: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con efecto de Cambio Climático CNRM_CMI4.5	140
Figura 122: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con efecto de Cambio Climático CNRM_CMI8.5	141
Figura 123: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%. Con información HISTORICO ...	141
Figura 124: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%.CANES4.5.....	142
Figura 125: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%. CANES8.5.....	142
Figura 126: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%. CNRM_CMI4.5.....	143
Figura 127: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%. CNRM_CMI8.5.....	143
Figura 128: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con información HISTORICO LAGUNILLAS...	144
Figura 129: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100% con CANES4.5 LAGUNILLAS	145
Figura 130: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CANES4.5 RIO VERDE.....	145
Figura 131: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CANES8.5 LAGUNILLAS	146
Figura 132: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CANES8.5 RIO VERDE.....	146
Figura 133: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CNRM_CMI4.5 LAGUNILLAS	147
Figura 134: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CNRM_CMI8.5 RIO VERDE	147
Figura 135: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con información HISTORICO	148
Figura 136: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES4.5 LAGUNILLAS	148
Figura 137: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES4.5 RESERVORIO VERDE	149

Figura 138: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES8.5 LAGUNILLAS	149
Figura 139: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES8.5 RESERVORIO VERDE	150
Figura 140: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI4.5 LAGUNILLAS	150
Figura 141: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI4.5 RESERVORIO VERDE	151
Figura 142: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI8.5 LAGUNILLAS	151
Figura 143: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI8.5 RESERVORIO VERDE	152
Figura 144: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con información HISTORICO	152
Figura 145: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES4.5 LAGUNILLAS	153
Figura 146: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES4.5 RESERVORIO VERDE	153
Figura 147: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES8.5 LAGUNILLAS	154
Figura 148: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES8.5 RESERVORIO VERDE	154
Figura 149: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI4.5 LAGUNILLAS ..	155
Figura 150: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI4.5 RESERVORIO VERDE	155
Figura 151: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI8.5 LAGUNILLAS ..	156
Figura 152: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI8.5 RESERVORIO VERDE	156
Figura 153: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con información HISTORICO	157

Figura 154: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con Cambio Climático CANES4.5.....	157
Figura 155: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con Cambio Climático CANES8.5.....	158
Figura 156: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con Cambio Climático CNRM_CMI4.5	158
Figura 157: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con Cambio Climático CNRM_CMI8.5	159
Figura 158: Volúmenes Almacenados con regulación de lagunillas y rio verde y con las demandas planteadas al 50% aguas abajo, del reservorio LAGUNILLAS	160
Figura 159: Volúmenes Almacenados con regulación de las aguas del rio verde regulado con las demandas planteadas al 50% aguas abajo, del reservorio verde	160
Figura 160: Volúmenes Almacenados operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas 50%).....	161
Figura 161: Demandas entregadas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (50%).....	161
Figura 162: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45.....	167
Figura 163: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático canesm2-rcp45	168
Figura 164: Beneficios netos de los sectores de riego con información HISTORICO	168
Figura 165: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CNRM_CM5-RCP45.....	169
Figura 166: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CANESM2-RCP45	169
Figura 167: beneficios, costo de capital, costos operativos con información HISTORICO.....	170
Figura 168: Costo promedio del agua por metro cubico escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45.....	170
Figura 169: Costo promedio del agua por metro cubico escenario climático CANESM2-RCP4.5	171
Figura 170: Costo promedio del agua por metro cubico con información HISTORICO	171
Figura 171: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5.....	171
Figura 172: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector, escenario climático CANESM2-RCP4.5.....	172
Figura 173: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector con información HISTORICO	172

Figura 174: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5	172
Figura 175: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5	173
Figura 176: Volumen del reservorio lagunillas con información HISTORICO	173
Figura 177: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas, escenario de cambio climáticoCNRM_CM5-RCP4.5.....	173
Figura 178: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.....	174
Figura 179: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con información HISTORICO	174
Figura 180: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45.....	175
Figura 181 : beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5.....	175
Figura 182: beneficios netos de los sectores de riego con información HISTORICO	176
Figura 183: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45.....	176
Figura 184: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climático CANESM2-RCP45	177
Figura 185: beneficios, costo de capital, costos operativos con información HISTORICO.....	177
Figura 186: Costo promedio del agua por metro cubico escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45.....	178
Figura 187: Costo promedio del agua por metro cubico escenario climático CANESM2-RCP4.5	178
Figura 188: Costo promedio del agua por metro cubico con información HISTORICO	178
Figura 189: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5.....	179
Figura 190: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector, escenario climático CANESM2-RCP4.5.....	179
Figura 191: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector con información HISTORICO.....	179
Figura 192: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5.....	180
Figura 193: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5	180
Figura 194: Volumen del reservorio lagunillas con información HISTORICO	180

Figura 195: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas, escenario de cambio climaticoCNRM_CM5-RCP4.5.....	181
Figura 196: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5.....	181
Figura 197: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con información HISTORICO.....	181
Figura 198: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45.....	182
Figura 199: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático canesm2-rcp45.....	182
Figura 200: Beneficios netos de los sectores de riego con información HISTORICO.....	182
Figura 201: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CNRM_CM5-RCP45.....	183
Figura 202: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CANESM2-RCP45.....	183
Figura 203: beneficios, costo de capital, costos operativos con información HISTORICO.....	183
Figura 204: Costo promedio del agua por metro cubico escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45.....	184
Figura 205: Costo promedio del agua por metro cubico escenario climático CANESM2-RCP4.5.....	184
Figura 206: Costo promedio del agua por metro cubico con información HISTORICO.....	184
Figura 207: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5.....	185
Figura 208: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector, escenario climático CANESM2-RCP4.5.....	185
Figura 209: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector con información HISTORICO.....	185
Figura 210: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5.....	186
Figura 211: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5.....	186
Figura 212: Volumen del reservorio lagunillas con información HISTORICO.....	186
Figura 213: Volumen del reservorio rio Verde, escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5.....	187
Figura 214: Volumen del reservorio rio verde, escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5.....	187
Figura 215: Volumen del reservorio rio verde con información HISTORICO.....	187

Figura 216: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas, escenario de cambio climaticoCNRM_CM5-RCP4.5.....	188
Figura 217: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5.....	188
Figura 218: Entradas y salidas del reservorio lagunillas con información HISTORICO	188
Figura 219: Entradas y salidas del reservorio rio verde, escenario de cambio climaticoCNRM_CM5-RCP4.5.....	189
Figura 220: Entradas y salidas del reservorio rio verde con escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5.....	189
Figura 221: Entradas y salidas del reservorio rio verde con información HISTORICO	189

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Niveles de rendimiento del modelo hidrológico según los índices: Nash-Sutcliffe (E), Raíz de error cuadrático (RSR) y Error de volumen (Ev). Fuente: Ramos (2013).	24
Cuadro 2: Datos geográficos de la Cuenca del río Cabanillas	41
Cuadro 3: Estaciones pluviométricas utilizadas en la construcción del modelo hidrológico	50
Cuadro 4: Demanda hídrica futura de uso poblacional	51
Cuadro 5: Demanda hídrica para uso industrial y minero del Sistema Integral Lagunillas	52
Cuadro 6: Área potencial de riego en el Sistema Integral Lagunillas	52
Cuadro 7: Cédula de cultivos proyectada del Sistema Integral Lagunillas	53
Cuadro 8: Resumen de la demanda hídrica total del Sistema Integral Lagunillas	54
Cuadro 9: Demanda Hídrica total proyectada en el Sistema Integral Lagunillas. Unidades: Q = Caudal m ³ /s, V = Volumen Hm ³	54
Cuadro 10: Parámetros de Uso de Suelo Fuente: Manual WEAP.	60
Cuadro 11: Parámetro de Clima Fuente: Manual WEAP.	61
Cuadro N° 12: Modelos de circulación general atmosférica (MCG). Fuente SENAMHI, 2015	67
Cuadro N° 13: Modelos de circulación general incluidos dentro del proyecto CMIP5. Fuente: SENAMHI (2014)	67
Cuadro 14: Áreas de subcuencas	78
Cuadro 15: Áreas de bandas de elevación	79
Cuadro 16: Reclasificación de coberturas de la cuenca	81
Cuadro 17: Áreas de catchments del modelo	82
Cuadro 18: Grupo de estaciones pluviométricas consideradas en la construcción del modelo hidrológico	83
Cuadro 19: Escenarios climáticos para los periodos presente, histórico y futuro	84
Cuadro 20: Longitud y Latitud de las estaciones para información de los escenarios para Puno	85
Cuadro 21: Variación de caudal promedio anual a futuro	89
Cuadro 22: Caudal promedio anual histórico a futuro	90
Cuadro 23: Variación porcentual de caudal promedio estacional a futuro	91
Cuadro 24: Caudal promedio estacional histórico a futuro	91
Cuadro 25: Variación porcentual de caudal promedio mensual a futuro	92
Cuadro 26: Caudal promedio mensual histórico, presente, a futuro cercano y a futuro lejano	93
Cuadro 27: Costos y beneficios de los sectores del sistema integral de Lagunillas en Dólares	166
Cuadro 28: Valores de índices estadísticos de calibración	193

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I Información de los escenarios para Puno regionalizados de 3 modelos globales (CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y 2 escenarios de emisión (un escenario intermedio: RCP 4.5; y un escenario pesimista: RCP 8.5).....	204
---	-----

GLOSARIO

WEAP: Sistema de Modelamiento Hidrológico (Water Evaluation and Planning)

MCG – Modelo de circulación General

CMIP5: Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados Fase 5

CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR: Los tres Modelos globales que se encuentran disponibles en el CMIP5; utilizados, estudiados y puesto en evaluación por SENAMHI en la Región Puno.

RCP: Trayectoria de concentración representativa (Representative Concentration's Path), representan nuevos escenarios de emisión de cambio climático.

PC: Punto de Control

DOWNSCALING: Metodología de regionalización

CATCHMENTS: Son unidades hidrológicas espacialmente uniformes respecto a sus características topográficas y climatológicas

MED: Modelo Digital de Elevación de la cuenca

RESUMEN

La escasez del recurso hídrico en el Altiplano Peruano es cada vez más notoria al mismo tiempo en él se observa que las fuentes hídricas en el transcurrir de los años han ido disminuyendo sus caudales, produciendo la demanda hídrica insatisfecha en cultivos. Actualmente el Sistema Integral de Lagunillas ubicada en la cuenca del rio Cabanillas, se caracteriza por ser una zona de producción agrícola pecuaria y de crecimiento poblacional, que al igual que otras cuencas, son afectados por el fenómeno del cambio climático, que estaría jugando un rol que genera deficiencias en el desarrollo de la cuenca, por lo que es necesario crear un plan sostenible y así cuidar y contar con un manejo del recurso hídrico.

El proyecto de investigación tiene como objetivo general determinar los escenarios futuros de la disponibilidad del recurso hídrico para el sistema integral de lagunillas con incidencia del cambio climático para lo cual se determinó un escenario actual y futura de disponibilidad hídrica, se determinó en función al “Cambio Climático, denominado Escenarios Climáticos.

Ante este problema, se plantea realizar una planeación y/o modelación hidrológica en base a la disponibilidad del recurso hídrico regulado de la cuenca del rio Cabanillas. Existen modelos hidrológicos con herramientas que pueden ayudar a la planificación, sin embargo el modelo **WEAP** presenta ventajas de otros modelos porque integra las ofertas con las demandas de agua en relación con la gestión del recurso y además de su capacidad de trabajar sobre escenarios futuros, como el escenario de cambio climático, lo que permitiría saber el comportamiento de las cuencas en estudio.

La variación promedio anual obtuvo resultados positivos en todos los escenarios. Para el periodo futuro cercano; el escenario que presenta menor variación con un 17 por ciento es CNR 4.5, representando este valor un cambio no significativo, y el de mayor variación con 99 por ciento es CAN 4.5 siendo un cambio extremo. La variación promedio estacional también obtuvo resultados positivos en todos los escenarios cabe resaltar que, en el verano, el cambio es no significativo y, invierno y primavera, el cambio es de significativo a extremo.

La variación promedio mensual presenta resultados de variación más detallados. El modelo CNRM-CM5 presenta ocho meses con variación negativa, cinco de futuro cercano y tres de lejano; el modelo CANESM2 presenta siete meses con variación negativa, cuatro de futuro

cercano y tres de lejano; y el modelo MPI-ES-MR presenta un solo caso de variación negativa con el promedio mensual de marzo en periodo futuro.

En cuanto a la determinación de la capacidad hidrológica de la cuenca en estudio, se obtuvieron con la información de caudales generados para la información histórica de precipitaciones en las subcuencas del Rio Verde y Rio Cerrillos (Lagunillas) y la demanda potencial que viene a constituir en la máxima demanda que podría cubrirse regulándose las aguas en cada una de estas subcuencas, de lo cual se observa que para un mismo caudal de demanda se obtiene mayores volúmenes de los caudales generados bajo el efecto de Cambio Climático que los caudales con información histórica de las subcuencas del rio Cerrillos y rio Verde.

Modelamiento del sistema bajo 3 escenarios de almacenamiento y demandas planteadas al 100% y 2 escenarios de referencia al 50% con información histórica con: almacenamiento de Lagunillas y aporte del rio Verde, con almacenamiento de Lagunillas y trasvasamiento del rio verde y con almacenamiento de Lagunillas y almacenamiento del rio Verde, obteniéndose lo siguiente:

- Con el sistema de regulación de Lagunillas y rio verde no regulado, con las demandas planteadas al 100%, satisfaces solo en un 35%.
- Con el sistema de trasvase del rio verde a la Presa de Lagunillas, con las demandas planteadas al 100%, son satisfechas en un 52%.
- En el sistema de regulación de Lagunillas y rio verde regulado con demandas planteadas solo al 100%, estas son satisfechas en un 75%.
- Con regulación de Lagunillas y rio verde no regulado con demandas al 50%, las demandas planteadas son satisfechas en un 48%.
- Con sistema regulado de Lagunillas y rio verde regulado con demandas planteadas al 50%, estas son satisfechas completamente el 100%.

Modelamiento del sistema bajo 3 escenarios de almacenamiento y de demandas planteadas al 100% y 1 escenario de referencia al 50% para los cuatro escenarios de cambio climático: canes45, canes85. cnrm_cmi45, cnrm_cmi85

- Con sistema de regulación de Lagunillas y el rio verde no regulado, para demandas planteadas al 100%. Se observa que bajo escenarios de cambio climático, estas solo cubren en ás del 65% de las demandas planteadas de los cuales resalta en mayor medida el escenario canes 4.5 con un 75%.

- Con sistema de regulación de Lagunillas y trasvasamiento de las aguas del río verde a la presa de Lagunillas con demandas planteadas al 100%, son satisfechas en promedio de todos los escenarios en un 75%, resaltando siempre el escenario con cambio climático CANES4.5 con un 85%.
- Con sistema de regulación de Lagunillas y aguas del río verde almacenado en reservorio con demandas planteadas al 100%, son satisfechas en todos los escenarios con cambio climático en un 80%, resaltando los escenarios con cambio climático CANES4.5 y CANES8.5, con un 95%.
- Para las demandas entregadas operando el reservorio lagunillas y el reservorio del río verde y con las demandas planteadas al 50%, estas son satisfechas completamente al 100% tal como se muestran en la Figura N° 163.

Finalmente se realizó la optimización mediante la simulación del funcionamiento de los vasos de almacenamiento aplicando las reglas de operación propuesta por el modelo WEAP, que además de incrementarse la eficiencia del uso del agua en los vasos, se mantienen de manera más uniforme los niveles de volumen almacenado en las presas. Así mismo con la optimización se logra satisfacer las demandas planteadas al 100% de funcionamiento con el escenario de trasvasamiento y funcionando las dos presas de Lagunillas y río verde. En cuanto a las curvas de duración de beneficios netos de cada uno de los puntos de demanda Cabanillas presenta los más altos beneficios netos y los de Cantería los beneficios netos más bajos.

La calibración y validación del modelo hidrológico exigió realizar comparaciones entre los caudales simulados por este y la serie de caudales mensuales observados, apreciando que el ajuste entre datos simulados y observados es muy bueno, existiendo una representación adecuada de la estacionalidad de los caudales naturales del río Cabanillas, puede apreciarse que el ajuste entre datos simulados y observados es muy bueno, existiendo una representación adecuada de la estacionalidad de los caudales naturales del río Cabanillas. Las pruebas de significancia estadísticas F y T, con intervalos de confianza del 95 por ciento, ($F_c(1.10) < F_t(1.30) < T_t(1.96)$ y $F_c(1.22) < F_t(1.34)$, $T_c(0.19) < T_t(1.96)$ en los periodos mensuales de calibración y validación, respectivamente), demostraron que no existe evidencia estadística para rechazar las hipótesis nulas (H_0) de igualdad de medias y varianzas entre los datos observados y simulados.

ABSTRACT

The shortage of water resources in the Peruvian Altiplano is increasingly noticeable at the same time it is observed that the water sources over the years have been decreasing their flows, producing unsatisfied water demand in crops. Currently, the Integral System of Lagunillas located in the Cabanillas river basin, is characterized as an area of agricultural production and population growth, which like other basins, are affected by the phenomenon of climate change, which would be playing a role that generates deficiencies in the development of the basin, so it is necessary to create a sustainable plan and thus take care of and have a management of the water resource.

The general objective of the research project is to determine the future scenarios of the availability of water resources for the integral lagoon system with the impact of climate change, for which a current and future water availability scenario was determined, it was determined according to the "Change Climate, called Climate Scenarios.

Faced with this problem, it is proposed to carry out a hydrological planning and / or modeling based on the availability of regulated water resources from the Cabanillas river basin. There are hydrological models with tools that can help planning, however the WEAP model has advantages of other models because it integrates the offers with water demands in relation to the management of the resource and in addition to its ability to work on future scenarios, such as the climate change scenario, which would allow knowing the behavior of the basins under study.

The average annual variation obtained positive results in all scenarios. For the near future period; the scenario with the smallest variation with 17 percent is CNR 4.5, this value represents a non-significant change, and the one with the greatest variation with 99 percent is CAN 4.5, which is an extreme change. The seasonal average variation also obtained positive results in all the scenarios, it should be noted that, in the summer, the change is not significant and, winter and spring, the change is from significant to extreme.

The monthly average variation presents more detailed variation results. The CNRM-CM5 model presents eight months with negative variation, five near future and three far away; the CANESM2 model presents seven months with negative variation, four with a near future

and three with a distant one; and the MPI-ES-MR model presents a single case of negative variation with the monthly average of March in the future period.

Regarding the determination of the hydrological capacity of the basin under study, they were obtained with the information of flows generated for the historical information of rainfall in the sub-basins of Rio Verde and Rio Cerrillos (Lagunillas) and the potential demand that comes to constitute in the maximum demand that could be covered by regulating the water in each of these sub-basins, from which it is observed that for the same flow of demand greater volumes of the flows generated under the effect of Climate Change are obtained than the flows with historical information of the sub-basins of the river Cerrillos and Rio Verde.

Modeling of the system under 3 storage scenarios and demands raised to 100% and 2 scenarios of reference to 50% with historical information with: storage of Lagunillas and contribution of the Rio Verde, with storage of Lagunillas and transfer of the green river and storage of Lagunillas and storage of the Rio Verde, obtaining the following:

- With the system of regulation of Lagunillas and unregulated green river, with the demands raised to 100%, you satisfy only by 35%.
- With the system of transfer of the green river to the Lagunillas Dam, with the demands raised to 100%, they are satisfied by 52%.
- In the regulation system of Lagunillas and regulated green river with demands raised only 100%, these are satisfied by 75%.
- With regulation of Lagunillas and unregulated green river with 50% demands, the demands raised are satisfied by 48%.
- With a regulated system of Lagunillas and a regulated green river with demands raised to 50%, these are fully met 100%.

Modeling of the system under 3 scenarios of storage and demands raised to 100% and 1 scenario of reference to 50% for the four climate change scenarios: dogs45, dogs85, cnrm_cmi45, cnrm_cmi85

- With regulation system of Lagunillas and the unregulated green river, for demands raised to 100%. It is observed that under climate change scenarios, these only cover in more than 65% of the demands raised, of which Cannes 4.5 stands out with 75%.

- With Lagunillas regulation system and transfer of the waters of the green river to the Lagunillas dam with demands raised to 100%, are satisfied on average of all the scenarios in 75%, always highlighting the scenario with climate change. CANES4.5 with 85%.
- With system of regulation of Lagunillas and waters of the green river stored in reservoir with demands raised to 100%, are satisfied in all scenarios with climate change in 80%, highlighting the scenarios with climate change CANES4.5 and CANES8.5, with 95%.
- For the demands delivered by operating the reservoir lagoons and the reservoir of the green river and with the demands raised to 50%, these are completely met 100% as shown in Figure N ° 163.

Finally, the optimization was performed by simulating the operation of the storage vessels applying the rules of operation proposed by the WEAP model, which in addition to increasing the efficiency of the use of water in the vessels, maintain volume levels more evenly stored in the dams. Likewise with the optimization it is possible to satisfy the demands raised to 100% of operation with the transfer scenario and the two Lagunillas and Rio Verde dams working. Regarding the curves of the duration of net benefits of each of the demand points Cabanilla presents the highest net benefits and those of Cantería the lowest net benefits

The calibration and validation of the hydrological model required comparisons between the flows simulated by this and the series of observed monthly flows, appreciating that the fit between simulated and observed data is very good, there being an adequate representation of the seasonality of the natural flows of the river Cabanillas, it can be seen that the adjustment between simulated and observed data is very good, there being an adequate representation of the seasonality of the natural flows of the Cabanillas river. The statistical significance tests F and T, with confidence intervals of 95 percent, ($F_c (1.10) < F_t (1.30) < T_t (1.96)$ and $F_c (1.22) < F_t (1.34)$, $T_c (0.19) < T_t (1.96)$ in the monthly periods of calibration and validation, respectively), showed that there is no statistical evidence to reject the null hypotheses (H_0) of equality of means and variances between the observed and simulated data.

I. INTRODUCCION

La disponibilidad del recurso hídrico en la actualidad en el Perú y el Mundo se torna cada vez más escasa, debido entre otras causas: por el crecimiento poblacional, el mal aprovechamiento y distribución del recurso agua y al calentamiento global producto de la contaminación de la atmosfera que causa un incremento en la temperatura del ambiente y generando con ello variaciones climáticas que afectan la disponibilidad del recurso hídrico por lo que no cabe duda de que la creciente escasez del agua dulce constituyen una grave amenaza para el desarrollo sostenible. Este problema nos pone en cuestión de cómo será la disponibilidad del recurso hídrico en un futuro y la necesidad de establecer mecanismos de regulación de la demanda para reasignar los suministros disponibles, fomentar el aprovechamiento más eficiente y promover el acceso más equitativo.

El Perú ha sido reconocido como un país vulnerable a los efectos nocivos del cambio climático, pues presenta siete de las nueve características de vulnerabilidad que la convención ha definido (MINAM, 2010), lo cual refleja un alto grado de exposición a las amenazas dado que en el desarrollo urbano y de la agricultura que a la fecha no se contempla los riesgos climáticos a los cuales se podrían ver afectados. El Proyecto Integral Lagunillas es uno de los proyectos hidráulicos más importantes del Sur del Perú, que posibilitará la incorporación al riego de 30,844.00 has distribuidos en diez (10) sectores de riego, con las aguas reguladas del río Ichocollo en el embalse Lagunillas y afluentes del río Cabanillas. El esquema hidráulico del Sistema Integral Lagunillas comprende un embalse de almacenamiento en la laguna Lagunillas, ya construido y en operación, y diferentes sistemas de captación, conducción y distribución de agua en proceso de implementación, que permitan el riego de los distintos sectores.

Una de las formas de demostrar este comportamiento es realizando modelaciones hidrológicas con software diseñados para evaluación y planeación del agua, por lo que en esta tesis se aplicó el modelo WEAP, que es un modelo capaz de realizar escenarios futuros a partir de un escenario actual de disponibilidad, con el ingreso de datos climáticos, caracterización de la cuenca, cobertura vegetal y validación y calibración del modelo entre otros de interés.

Así mismo se ha considerado una evaluación hídrica bajo condiciones de cambio climático mediante la comparación entre simulaciones hidrológicas con el clima para un periodo futuro respecto a uno histórico a escala local. Considerando la nueva generación de Modelos de Circulación General (MCG) que se encuentran disponible en el Proyecto de Comparación de modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5), estos modelos de sistema de la tierra (MST) incorporan componentes adicionales que describen la interacción de la atmosfera con el uso del suelo y la vegetación. Considerando esta nueva generación de modelos direccionada por la recientemente definida Forzante de la Composición Atmosférica y el Forzamiento histórico para las condiciones climáticas actuales y las Vías de Concentración Representativa (RCPs) para los escenarios futuros. Por lo tanto, el estudio enfocado hacia la oferta hídrica mediante el modelamiento WEAP y el impacto del Cambio Climático del Sistema integral de Lagunillas resulta de gran utilidad. El modelo se construyó en base a escenarios futuro proyectado para el año 2050, donde se detalla los comportamientos mensuales de la disponibilidad hídrica de los que dependerán las medidas de prevención a tomar según estos resultados, conclusiones y recomendaciones.

II. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Fox (2003), menciona que “El agua es el gran tema del siglo XXI, es nuestro futuro común. Juntos, sociedades y gobiernos del mundo debemos impulsar acciones decididas que nos permita preservar y garantizar este capital natural. El agua es un asunto de seguridad y de sobrevivencia para todas las naciones y solamente podrá ser abordado y resuelto en una lógica global. Trabajemos en incrementar el patrimonio de las próximas generaciones. Nunca es demasiado tarde, podemos sembrar hoy para cosechar grandes frutos el día de mañana”.

La escasez del recurso hídrico en el Altiplano Peruano es cada vez más notoria al mismo tiempo en él se observa que las fuentes hídricas en el transcurrir de los años han ido disminuyendo sus caudales, produciendo la demanda hídrica insatisfecha en cultivos. En el altiplano peruano, el manejo de sistemas de riego necesita adecuadas estimaciones de los requerimientos de agua de los cultivos, lo cual significa conocer con mayor precisión la disponibilidad de agua proveniente de las precipitaciones pluviales. Actualmente en la cuenca del río Cabanillas, se caracteriza por ser una zona de producción agrícola pecuaria y de crecimiento poblacional, que al igual que otras cuencas, son afectados por el fenómeno del cambio climático, que estaría jugando un rol que genera deficiencias en el desarrollo de la cuenca, por lo que es necesario crear un plan sostenible y así cuidar y contar con un manejo del recurso hídrico. Ministerio de Agricultura (2007).

Ante este problema, se plantea realizar una planeación y/o modelación hidrológica en base a la disponibilidad del recurso hídrico regulado de la cuenca del río Cabanillas, determinando el escenario actual y el escenario futuro, para así disponer información futura, preventiva, la misma que servirá para el desarrollo de proyectos posteriores, que estén de acorde con el desarrollo y bienestar poblacional. Yates, et al, 2005 (23), manifiesta que los modelos hidrológicos son herramientas que pueden ayudar a la planificación

explicando el comportamiento de las cuencas en la actualidad y en el futuro. En este sentido **WEAP** presenta ventajas sobre otros modelos hidrológicos, pudiendo integrar ofertas con modelos hidrológicos y demandas de agua en relación con la gestión del recurso, además de su capacidad de trabajar sobre escenarios futuros, como el escenario de cambio climático, lo que permitiría saber el comportamiento de las cuencas en estudio.

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida Incide las disponibilidades reguladas en Reservorio Lagunillas y Verde para uso múltiple (producción agrícola y uso poblacional) en la cuenca del rio Cabanillas?

2.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿En qué medida incide el Almacenamiento Artificial para el abastecimiento de agua potable para la cuenca del rio Cabanillas y aledaños?

¿En qué medida incide en la disponibilidad del recurso hídrico regulado en la Presa de Lagunillas debido al Cambio Climático?

¿En qué medida la comparación entre los datos de precipitaciones simulados y/o generados por la WEAP de la cuenca del Cabanillas válidos y/o calibrados?

III. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

3.1. OBJETIVO GENERAL

Aplicar una metodología para determinar la incidencia de las disponibilidades hídricas para uso múltiple en la cuenca del río Cabanillas, aplicando el modelo hidrológico WEAP considerando el impacto del Cambio Climático.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar el efecto del Cambio Climático sobre la disponibilidad hídrica para la producción agrícola y el abastecimiento de agua potable para la cuenca del río Cabanillas

Determinar la capacidad hidrológica de la cuenca del Cabanillas que permita abastecer la producción agrícola, agua potable y/o otros del Sistema Integral de Lagunillas y aledaños

Validar y calibrar los parámetros del modelo hidrológico WEAP, para determinar la incidencia de las disponibilidades naturales para la producción agrícola en la cuenca del río Cabanillas.

.

IV. FORMULACION DE HIPOTESIS

4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de la metodología con el modelo hidrológico WEAP y el impacto del Cambio Climático desarrollada posibilitaran que las disponibilidades reguladas inciden positivamente para uso múltiple en el Sistema Integral de Lagunillas.

4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Los efectos del Cambio Climático inciden positivamente sobre la disponibilidad hídrica para la producción agrícola y el abastecimiento de agua potable para la cuenca del rio Cabanillas

La capacidad hidrológica de la cuenca del Cabanillas permite abastecer la producción agrícola, agua potable y/o otros del Sistema Integral de Lagunillas y aledaños.

La validación y calibración de la información observada i simulada aplicados del modelo hidrológico WEAP, son positivas para determinar la incidencia de las disponibilidades naturales para la producción agrícola en la cuenca del rio Cabanillas

V. ANTECEDENTES

En la región Rheraya, Marruecos, Rochdane, et al. [11] muestran un incremento en la temperatura de aproximadamente 2–3°C y una reducción en la precipitación del 40-60% con respecto a la línea de base, concluye que existirá una mayor competencia por las aguas superficiales, y que las demandas domésticas, turísticas, ganaderas y agrícolas no se cumplirán para el año 2100, analizando estrategias de adaptabilidad. Asimismo, en el norte de China, se ha encontrado que la construcción de más embalses puede aliviar la escasez actual de agua y los problemas de agotamiento del agua subterránea [12]; sin embargo, esta opción no es necesariamente la medida más efectiva para resolver problemas de suministro de agua; en cambio, mejorar la eficiencia del riego y cambiar la estructura de cultivo puede ser más efectivo. Maliehe and Mulungu [13] evaluaron dos escenarios, primero para el escenario de referencia, las demandas industriales de Metolong de 1.46 Mm³ y las demandas ambientales de 2.29Mm³ no se cumplieron; en segundo lugar, para el escenario de la expansión del riego, al aumentar la superficie de riego en 12.3%, no se cumplieron las demandas de 4.44 Mm³ (irrigación representa el 65.65% de la insatisfecha). Por lo tanto, el estudio recomienda un plan de riego para la cuenca. López-García, et al. [14] realizaron una modelación con el programa WEAP para determinar el impacto de los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 en los recursos hídricos en el periodo 2015–2030 en el Valle de Galeana, Nuevo León, México, cuyos resultados muestran que la situación del acuífero con escenarios de cambio climático y con el uso actual del agua es crítica, pues en ambos escenarios analizados se tendrían afectaciones importantes en el acuífero a partir de 2015, ocurriendo un mínima recarga hacia el acuífero de 0.96 y 1.5% con respecto a su capacidad total durante los meses de lluvia típicos (agosto y septiembre, respectivamente). Considerando el escenario de adaptación de cambio en sistemas de riego, se espera una ligera recuperación a partir del año 2023, alcanzando un máximo de recarga de 3.11Mm³ en temporada de lluvia. Ahmadaali, et al. [7] mencionan que el lago Urmia como un lago hiper salino y muy poco profundo, ubicado en el noroeste de Irán, experimenta reducciones de nivel de agua de aproximadamente 40 cm cada año en las últimas dos décadas; los resultados muestran que los valores más altos de los índices de sostenibilidad ambiental y

sostenibilidad agrícola están relacionados con el escenario de combinar el cambio del patrón de cultivo con la mejora de la eficiencia total de riego en el escenario de emisiones B1(B1S4).

Los antecedentes más resaltantes relacionados al uso del recurso hídrico dentro del Sistema Integral Lagunillas podemos citar:

- En los años 1961 - 1964, ELECTROCONSULT desarrolló un estudio que contemplaba la regulación de las lagunas Lagunillas y Saracocha, y la construcción de un túnel para unir ambas lagunas, con el objeto de derivar las aguas de las cuencas del río Verde, Lagunillas y Saracocha hacia la cuenca del río Tambo vertiente del Pacífico y de esta manera permitir el riego de las pampas de la Joya.
- En 1983 ELECTROPERU, realizó los estudios de factibilidad de la Central Hidroeléctrica Lagunillas, habiendo determinado un potencial de 12 MW, correspondiente a una caída neta de 93.7 m y un caudal máximo de 15 m³/s, se determinó un volumen de presa de 550 hm³, se consideraba en este esquema el trasvase del río Verde a la cuenca Lagunillas y su regulación complementaria.
- En 1984 la firma C y A, realizó para la EX-CORPUNO el estudio esta vez con criterio de uso múltiple del Sistema Hidráulico Lagunillas, determinando que un volumen de 300 hm³ en el embalse Lagunillas permitirá el riego de 48,136 ha, esto con una eficiencia del 60%, se concluye en este estudio que la derivación del río Verde no es conveniente ya que el costo por hectárea se triplica respecto a las áreas sin derivación y la energía que se gana es poco significativa, además de que se dio mayor impulso a los estudios de la Central Hidroeléctrica San Gabán, descartándose en este estudio el componente energético.
- En 1985 la EX-CORPUNO aprueba la construcción de la presa lagunillas, para lo cual contrata los servicios del Ing. Elmer Evangelista, para informarse de las condiciones geológicas y geotécnicas de la sección de cierre, el cual concluye que la sección de cierre propuesta es la que reúne mejores condiciones para la ubicación del eje de represamiento. El problema es que dicha sección no contaba con sondajes diamantinos y por tanto los parámetros geológicos y geotécnicos iban a ser asumidos por correlación.

- En el año 1986, la EX-CORPUNO encarga la ejecución de un programa de sondajes diamantinos al EX-PEREHATI.
- En el año 1987 la EX-CORPUNO en convenio con el EX-REHATI realizan la revisión de los estudios básicos (hidrología, planeamiento hidráulico y estudio de demandas) así como el diseño a nivel definitivo de la presa Lagunillas, llegando a la conclusión que los valores de eficiencias globales en los diferentes módulos estaban sobrestimados, asumiéndose con fines de diseño de la presa un volumen de 500 hm³.
- En el año 1993 en la perspectiva de un aprovechamiento integral de los recursos de la cuenca del Lago Titicaca, denominada Sistema TDPS (Sistema Titicaca, Desaguadero, Poopo y Salar de Coipasa), los gobiernos de Perú y Bolivia conforman la SUBCOMILAGO el que encarga a un consorcio europeo la elaboración de un Plan Director Binacional, dentro del cual está incluido el Proyecto del Sistema Integral Lagunillas como parte de la gestión de recursos en la cuenca del río Coata.
- En el año de 1995 el PELT, concluye la construcción de la presa Lagunillas.
- En diciembre del 2007 la Intendencia de Recursos Hídricos a través de la Administración Técnica del Distrito de Riego Juliaca (hoy Administración Local del Agua Juliaca), realiza el Estudio de Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa, determinándose que en la situación actual solamente se lograría satisfacer el 48% del total de la demanda hídrica existente, y en un escenario proyectado (con regulación del río Verde en el embalse Lagunillas) la satisfacción de la demanda solo alcanzaría al 74%.
- En el año 2010 el Programa Regional de Riego y Drenaje – PRORRIDRE, elaboró el Estudio Hidrológico: “Evaluación de Recursos Hídricos del Sistema Integral Hídrico Lagunillas”, estudio en el cual se incorpora un nuevo módulo de riego al SIL, denominado Santa Lucia – Cabanilla – Lampa, con un área total de 6,340.00 ha, concluyéndose que en la situación actual (demanda total del SIL) se presentaría un déficit de 91.32 hm³ y en la situación proyectada con afianzamiento (derivación de 30 m³/s del río Verde al embalse Lagunillas), se presentaría un déficit de 19.49 hm³.

- El Dr. Eduardo A. Chavarri V. elaboro el “Estudio hidrológico del sistema integral Lagunillas” desarrollando una simulación de los balances hidrológicos del Proyecto Integral Lagunillas para los escenarios: Actual y mediano plazo considerando alternativas de afianzamiento del embalse y nuevas condiciones de demanda hídrica del sistema Lagunillas. A partir del análisis de 13 simulaciones realizadas se determinó que la más adecuada son las simulaciones 12 y 13, representadas por la alternativa N°05, considerando riego tecnificado y sin y con la posibilidad de irrigar la localidad de Lampa. Sin embargo se debe considerar el disminuir la demanda hídrica en un 46% entre los meses de agosto a diciembre. Ello es posible diseñando planes de cultivos adecuados en dichos meses.
- Tesis Universidad Nacional del Altiplano “Planeamiento Hidrológico de la Subcuenca del Rio Pitumarca – Cusco Aplicando el Modelo WEAP”, dando como resultado un escenario con un superávit hídrico de 426.06 MMC.

VI. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1. MODELO HIDROLÓGICO

De acuerdo con Fattorelli y Fernández (2011), los modelos hidrológicos permiten simular el comportamiento de un sistema hidrológico real y obtener mediante la operación del mismo, las respuestas o salidas a un determinado impulso o entradas a dicho sistema. Sus entradas y salidas, según Chow (1994), son variables hidrológicas mensurables y su estructura está conformada por un conjunto de ecuaciones que conectan estas entradas y salidas. Para esto, el sistema incluido en esta estructura cuenta con el componente central del modelo que está basado en el concepto de transformación del sistema, a través de un operador que actúa de acuerdo al variable tiempo tal como se muestra en la Figura 1. El objetivo del análisis del sistema hidrológico es estudiar su operación y predecir las salidas o descargas.

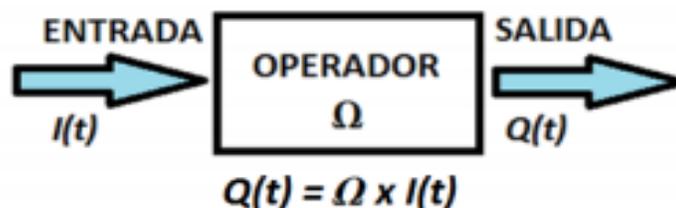


Figura 1: Ecuación y representación esquemática de la operación de un sistema Fuente: Chow (1994)

En hidrología, sin embargo, existe un mayor error de aproximación al aplicar las leyes físicas porque los sistemas son más grandes y complejos ya que pueden implicar varios medios de trabajo. Además, la mayor parte de los sistemas hidrológicos son intrínsecamente aleatorios e impredecibles; por consiguiente, el análisis estadístico cumple un papel importante en el análisis hidrológico. El objetivo básico de la aplicación de la estadística en la hidrología es el análisis

de la información hidrológica de ciertos periodos, a fin de inferir las características futuras predecibles del fenómeno estudiado, cuyos resultados sean una solución estadística exacta y particular a un problema hidrológico denominada: solución determinística (Chereque, 1989; Chow, 1994).

6.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS

MEJIA MARCACUZCO JESUS ABEL (23), Es una aproximación del sistema real, sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables, y su estructura, un conjunto de ecuaciones o funciones de transferencia que transforman las variables de entrada en variables de salida. Una de las primeras clasificaciones agrupa a los modelos hidrológicos en dos categorías: **Modelos Físicos** y **Modelos Matemáticos**. Los primeros representan el sistema sobre una escala reducida, tal como los modelos hidráulicos; Los segundos representan el sistema en forma matemática, mediante una serie de funciones que relacionan las variables de salida con variables de entrada. La mayoría de los procesos hidrológicos son aleatorios y su magnitud varía con el tiempo y con el espacio, por lo que el desarrollo de un modelo con esas características es una tarea muy difícil y requiere de una simplificación, despreciando algunas fuentes de variación.

Chow (1994) menciona que los modelos hidrológicos se categorizan en modelos físicos y abstractos. Los modelos físicos son construcciones del sistema en una escala reducida (como un modelo hidráulico del vertedero de una presa). Los modelos abstractos representan el sistema en forma matemática, donde la operación del sistema se describe por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionan las variables de entrada y de salida en función del espacio y el tiempo; son variables probabilísticas o aleatorias que no tienen un valor fijo en un punto particular de espacio y del tiempo, pero que están descritas a través de distribuciones de probabilidad. Además, Chereque (1989) menciona que los modelos abstractos pueden clasificarse, desde el punto de vista de la certeza de su ocurrencia, en determinísticos y probabilísticos (estocásticos). Si la ocurrencia de las variables en un proceso es cierta (cuando las variables siguen una ley determinada), se habla de un proceso determinístico; en cambio, si toma en cuenta la probabilidad de ocurrencia y la falta de certeza existente, entonces se habla de un proceso de naturaleza probabilística. Por su parte, los modelos determinísticos según Fattorelli y Fernández (2011), son aquellos en que las funciones que relacionan a las entradas con las salidas definen

el comportamiento del sistema sin que se tenga en cuenta la distribución de probabilidad alguna; es decir, dada una función de entrada, sus variables y parámetros obtienen una función de salida perfectamente definida. Los modelos estocásticos son modelos en los cuales las relaciones entre las variables están gobernadas por leyes de probabilidad, tanto en relación con magnitud (correlaciones), como en su secuencia de tiempo (modelo de generación de series de tiempo). Por tanto, los modelos determinísticos no consideran aleatoriedad, una entrada dada producirá siempre una misma salida; en cambio, los modelos estocásticos tienen salidas que son por lo menos parcialmente aleatorias. Podría decirse que los modelos determinísticos hacen pronósticos específicos, mientras que los modelos estocásticos hacen predicciones generales. La gran mayoría de los procesos que interesan en el campo de la Hidrología pertenecen a la categoría de fenómenos probabilísticos (Chereque Moran, 1989; Chow, 1994). La Figura 2 muestra la clasificación de los modelos hidrológicos de acuerdo a la aleatoriedad y variación espacio tiempo de sus fenómenos hidrológicos

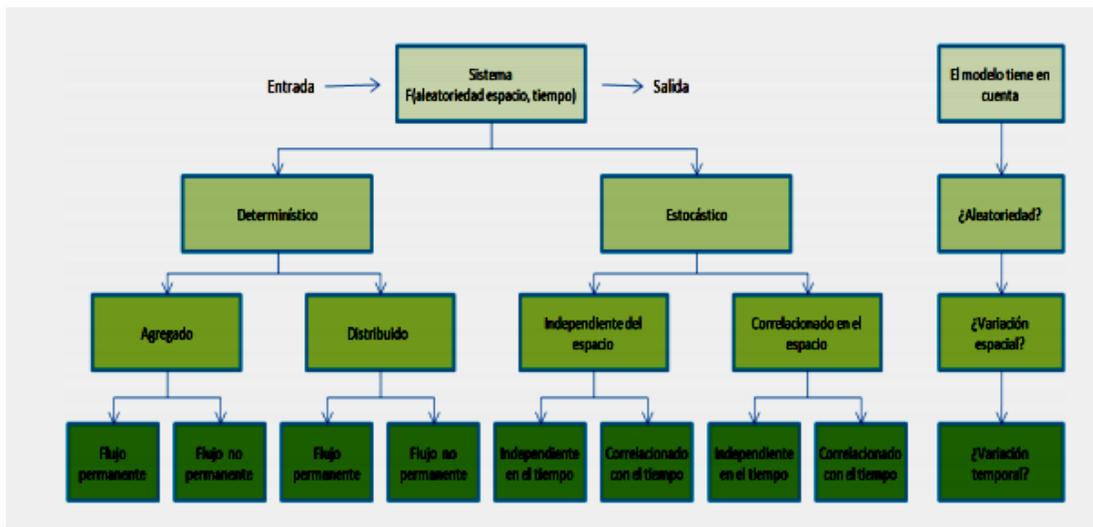


Figura 2: Clasificación del modelo hidrológico de acuerdo con la forma, la aleatoriedad, y la variabilidad espacial y temporal de los fenómenos hidrológicos. Fuente: Chow (1994)

Según la Figura 2, los fenómenos hidrológicos cambian en las tres dimensiones espaciales, pero al tener en cuenta explícitamente esta variación, el modelo resulta complicado para aplicaciones prácticas, es por ello que los modelos presentan un segundo nivel de clasificación. En un modelo determinístico agregado el sistema es promediado en el espacio o considerando como un punto único sin dimensiones flujo en el espacio. En contraste, un modelo determinístico distribuido

considera que los procesos hidrológicos ocurren en varios puntos del espacio y define las variables del modelo como funciones de las dimensiones espaciales. Los modelos estocásticos se clasifican en independientes en el espacio y correlacionados en él, de acuerdo con la influencia que las variables aleatorias tengan entre ellas en diferentes puntos del espacio.

6.2. SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROLOGICO WEAP

El sistema de modelamiento hidrológico (SMH) Water Evaluation and Planning (WEAP), permite la creación de modelos hidrológicos del tipo determinístico, conceptual semidistribuido. Dicho SMH fue desarrollado por el Stockholm Environment Institute's U.S. Center, y es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua, que ayuda en la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua, generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenta, con la demanda de agua, caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta.

Las principales características de WEAP son:

- Provee de una estructura común para organizar la información de recursos hídricos a cualquier nivel deseado, esto es desde una cuenca local a un río internacional.
- Se pueden desarrollar escenarios para explorar posibles futuros en la disponibilidad de recursos hídricos.
- Posee un sistema para almacenar información sobre demandas y abastecimientos de agua.
- Evalúa opciones de desarrollo y manejo, y toma en cuenta muchos sistemas de uso de agua.

WEAP posee una interfaz gráfica basada en SIG, a partir de la cual el usuario puede diseñar el modelo esquemático sobreponiendo los componentes del sistema (ríos, nodos de demanda, nodos de entrada, embalses, etc.).

La estructura del modelo WEAP está conformada por cinco vistas principales:

- Esquema: Las herramientas de SIG permiten la configuración del sistema a través de la creación y posicionamiento de los elementos del sistema.
- Datos: Se construye el modelo, generando las variables y relaciones, ingresando supuestos o proyecciones, para esto WEAP posee un vínculo dinámico con Excel.
- Resultados: Los resultados pueden ser vistos de manera detallada en gráficos, tablas y mapas que permiten ver una visión animada de los resultados a través del tiempo.

- Perspectiva: Se muestra una visión global de los parámetros más importantes del modelo.
- Notas: se documentan los datos y supuestos del usuario.

6.2.1. FUNDAMENTOS

Su hidrología física consiste de numerosos componentes conceptualmente simples, los cuales son combinados para ser computacionalmente eficientes, pero que, sin embargo, son capaces de capturar los procesos hidrológicos importantes y abordan las cuestiones claves del manejo de los recursos hídricos. Los componentes del balance hidrológico modelados son: (a) evapotranspiración, (b) infiltración, (c) escorrentía superficial, (d) escorrentía sub superficial o interflujo y (e) flujo base.

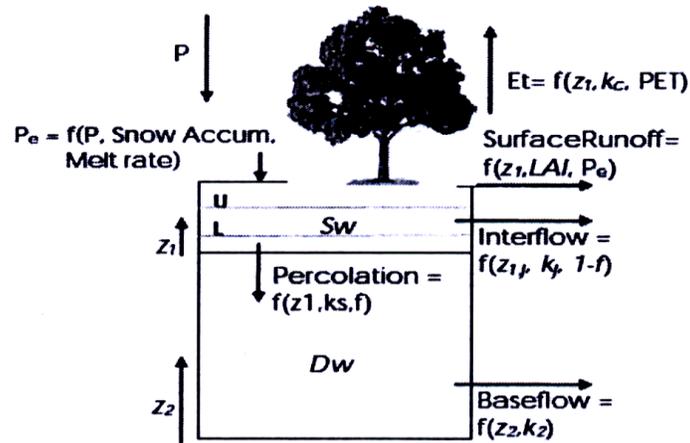


Figura 3: Esquema del almacenamiento del suelo en dos capas, se muestran las entradas y salidas del modelo hidrológico para cada tipo de cobertura. Fuente: Yates D. et al (2005)

De acuerdo a Yates D. et al. (2005), mediante este sistema de modelación hidrológica, una cuenca es primero dada vida en *catchments* y cada uno de estos a su vez dividido en N áreas fraccionales, donde el balance hídrico es computado para cada área j de N. El clima es asumido uniforme dentro de cada área fraccional en las cuales la ecuación continua de balance de masa es la siguiente:

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)K_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1,j} \frac{LAI_j}{2} - f_j k_j z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_j z_{1,j}^2$$

En el lado izquierdo de la igualdad en la ecuación anterior, $z_{1,j}$ representa el almacenamiento relativo del suelo dado como una fracción del almacenamiento total efectivo y su valor varía entre 1 y 0, donde 0 representa el punto de marchitez permanente y 1 la capacidad de campo. Por otro lado, el almacenamiento total efectivo de la capa superior del suelo es aproximada estimando la capacidad de retención del suelo (Sw_j), dada en milímetros, la cual se encuentra establecida para cada tipo cobertura de suelo en cada área fraccional j . El primer término, esta vez en el lado derecho de la igualdad, es la precipitación efectiva (P_e) computada por el modelo. Esta es función de la precipitación total observada, de la acumulación de nieve y de su tasa de derretimiento en cada sub catchment. En caso de que la cuenca no presente cuerpos de nieve, la precipitación efectiva (P_e) será igual a la precipitación total observada. Asimismo, el segundo término en la ecuación es la evapotranspiración para cada área fraccional j , donde PET es el valor de la evapotranspiración de referencia obtenida por el método de Penman-Montieth (mm/día) y $K_{c,j}$ es el coeficiente del cultivo para cada tipo de cobertura. Del mismo modo, el tercer factor representa la escorrentía superficial. Aquí LAI representa el llamado "Índice de Área de Hoja y Tallo", con los menores valores de LAI_j asignados a los tipos de coberturas de suelo que produzcan las respuestas más altas de escorrentía superficial, tales como los suelos desnudos. Finalmente, el cuarto y quinto termino representan al interflujo y a la percolación profunda, respectivamente, donde el parámetro k_j es un estimado de la conductividad del almacenamiento superior (mm/tiempo) y f_j es un parámetro de ajuste relacionado al suelo, tipo de cobertura y topografía, que divide el agua horizontal (f_j) o verticalmente ($1 - f_j$). De esta forma, la escorrentía total para cada sub catchment en el tiempo t es dada por la siguiente ecuación:

$$Ro(t) = \sum_{j=1}^N A_j P_e(t) z_{1,j} \frac{LAI_j}{2} - f_j k_j z_{1,j}^2$$

Donde A_j es el área contribuyente de cada tipo de cobertura de clase dentro del sub-catchment. En lo que respecta al balance de masa del almacenamiento inferior, este vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$Dw \frac{dz_{2,j}}{dt} = (1 - f_j)k_j z_{1,j}^2 - k_2 z_{2,j}^2$$

Donde el flujo que alimenta este almacenamiento profundo es la percolación profunda, el cual proviene del almacenamiento superior, dada en la ecuación número 1. Asimismo, k_2 es representa la conductividad de este almacenamiento (mm/tiempo) el cual se asigna como un único valor para toda la cuenca, mientras Dw es la capacidad de almacenamiento de agua (mm).

6.3. CALIBRACION Y VALIDACION DE UN MODELO HIDROLÓGICO

La calibración de un modelo se refiere al procedimiento por el cual un conjunto de sus parámetros es ajustado para obtener una óptima coincidencia entre el conjunto de los valores de las salidas del modelo y aquellos observados en el sistema que es simulado (Mason J. y Kipp K., 1997). Con el fin de optimizar este proceso, los valores de los parámetros son ajustados entre cada corrida de modelo, manualmente o mediante algún algoritmo computarizado de optimización, hasta encontrar el conjunto de parámetros que brinde el mejor ajuste.

Esencialmente, el problema de la calibración de un modelo consiste en encontrar el valor máximo en la superficie de respuesta en el espacio de parámetros, la cual es definida por una o más funciones objetivo, siendo esta última una medida de la bondad de ajuste del modelo. En la figura 11 podemos observar que la función objetivo (basada en la suma del cuadrado de las diferencias de los caudales observados y simulados o también llamada eficiencia de Nash-Sutcliffe) responde a los valores de dos parámetros diferentes que varían dentro de un rango definido, donde una de sus combinaciones maximiza la función objetivo, logrando así el mejor ajuste en la simulación. Obviamente, será más difícil visualizar la superficie de respuesta en un hiperespacio paramétrico N-dimensional, donde necesariamente deberán ser empleados algoritmos especiales de optimización.

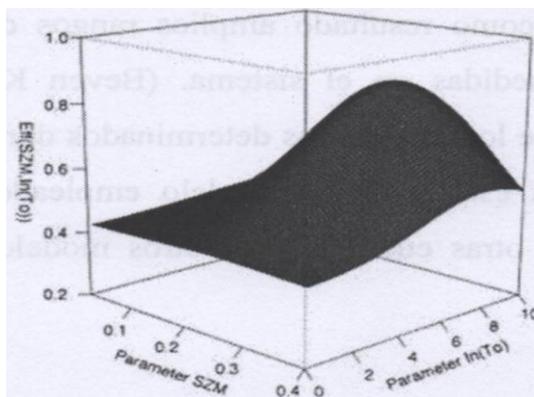


Figura 4: Superficie de respuesta para dos parámetros (Szm y ln(To)) del modelo TOPMODEL en una aplicación para modelar la corriente de descarga de un río. Fuente: Mason J. y Kipp K. (1997).

En la modelación hidrológica no existe un conjunto óptimo de parámetros, pues, usualmente, pueden encontrarse otros que sean igual de buenos. Por ello es altamente probable que cualquiera de estos conjuntos tenga ventaja sobre otro en cuanto a la maximización de la función objetivo dependiendo del período de calibración que se tome en cuenta. En este sentido, la elección de un conjunto óptimo de parámetros es de alguna manera una decisión arbitraria (Beven K., 2012). De igual modo, Abbott M. y Refsgaard J. (1996), afirman que un buen acuerdo entre datos simulados y observados no garantiza que el conjunto de parámetros encontrados sea el correcto, pues la calibración podría haberse llevado a cabo simplemente por coincidencia numérica sin considerar el hecho de que estos puedan ser físicamente razonables.

En general, no es posible estimar los parámetros de un modelo por medición directa, debido a que la escala de las técnicas de medición disponible es usualmente mucho menor que la escala a la cual los valores de los parámetros, son requeridos. Por ejemplo, las técnicas de medición de la conductividad del suelo abarcan áreas de menos de un metro cuadrado, a pesar de que muchos modelos requieran valores que representen efectivamente la respuesta de un elemento en un área de cien metros cuadrados o más. Por ello, es necesario aceptar que los valores de pequeña escala, que son susceptibles a ser medidos, y los valores efectivos, requeridos a la escala de algún elemento del modelo, son cantidades diferentes. En el mismo sentido, una estimación previa de los rangos factibles de los parámetros podría tener como resultado amplios rangos de predicción que pueden no abarcar las respuestas medidas en el sistema. (Beven K., 2012). Por otra parte, es importante hacer notar que los parámetros determinados durante el proceso de calibración

solo son válidos para la estructura del modelo empleado, por lo que podría no ser apropiado emplearlos en otras cuencas o en otros modelos, aún si tienen los mismos nombres.

6.3.1. FUNCIONES OBJETIVO

El desempeño de un modelo hidrológico puede verificarse cuantitativamente usando ciertos criterios que son funciones matemáticas del error obtenido. Estos están basados en una medida que puede ser usada para estimar, para cada variable hidrológica de interés, la norma del vector error $\varepsilon_z(\theta)$, o dicho en otras palabras, estos pueden ser usados para medir la distancia entre los valores observados y simulados de la variable considerada. Estas funciones son las llamadas funciones objetivo. Las funciones objetivo son funciones matemáticas del error obtenido y son los indicadores más importantes de cuan bien un modelo representa a un sistema, es decir, miden la correspondencia entre los valores observados y simulados. De acuerdo a Hingray B. et al, (2014), esta función, también llamada función criterio, función de error o función de probabilidad, puede ser formalmente expresada según las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon_z(\theta) = Z_{obs} - Z_{sim}(\theta) = [\varepsilon_z(t_1\theta), \varepsilon_z(t_2\theta), \dots, \varepsilon_z(t_n\theta)]$$

$$F(Z_{obs} - Z_{sim}(\theta)) = F(Z_{obs} - G(X, \theta))$$

Dónde Z_{obs} y Z_{sim} son vectores que contienen los n valores observados y simulados de la variable Z(t) para el período considerado de simulación T, θ es el vector que contiene los p parámetros del modelo G y X es el vector que contiene los n valores de las m variables de entrada del modelo. A continuación, se presentarán las funciones objetivo empleadas en esta investigación para calibrar y evaluar el modelo hidrológico WEAP. Para todas las expresiones, $Q_o(i)$ y $Q_s(i)$ son la descarga observada y simulada para el intervalo de tiempo i, mientras que n representa el número de observaciones. Asimismo, $\overline{Q_o}$ y $\overline{Q_s}$ son las descargas medias para la n observaciones y simulaciones.

6.3.2. CALIBRACIÓN

De acuerdo con el Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño de la Universidad Nacional de Ingeniería (IMEFEN – UNI), el uso de los modelos hidrológicos tiene por finalidad simular los fenómenos que ocurren en la realidad. Sin embargo, a pesar de los recientes avances en ciencia y tecnología, estos modelos hidrológicos no simulan a la perfección los complejos procesos que involucra la hidrología debido a la presencia de errores de diferente origen. Estos errores pueden ser minimizados mediante un adecuado proceso de calibración para luego validar los resultados (Cabrera, 2012).

Cabrera (2012) menciona que los modelos determinísticos no consideran términos aleatorios dentro del modelo; y por ende, cada simulación producirá un mismo resultado, por lo que el proceso de calibración se centrará en minimizar las diferencias entre los datos observados y los simulados. Este criterio de exactitud se basa en el ajuste de parámetros como medio de la calibración, los cuales han sido asumidos constantes como la conductividad hidráulica del suelo, la rugosidad, etc. La calibración es el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulados se ajustan de manera óptima a la serie de datos observados. Con un modelo hidrológico ya calibrado como herramienta para pronosticar caudales para un período de tiempo futuro, implica una pregunta importante: ¿Cómo asegurar que el modelo que funciona actualmente se ajustará también para el escenario futuro? Esta pregunta hace necesario complementar el proceso de calibración ya desarrollado con un proceso de validación.

6.3.3. PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN

De acuerdo a SEI, (2007), cuando se emplee el método de humedad del suelo deberán calibrarse los siguientes parámetros:

a. Coeficiente de cultivo (Kc):

Es un valor dependiente de las características morfológicas y fisiológicas de la planta y varía según su período de crecimiento.

b. Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (S_w):

Es la capacidad de retención efectiva de la capa superior del suelo o estanque superior, la cual es representada en mm.

c. Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (D_w):

Es la capacidad efectiva de retención de agua en la capa más baja y profunda del suelo o estanque inferior, representada en mm. El valor de este parámetro es único para toda la cuenca y no varía por el tipo de cobertura del suelo.

d. Factor de resistencia a la escorrentía o índice de área de hoja y tallo (LAI o RRF):

Es usado para controlar la respuesta de la superficie del suelo a la escorrentía, la misma que tiende a decrecer con valores grandes de este parámetro. Varía de acuerdo a los tipos de cobertura del suelo, usualmente en un rango que va de 0.1 a 10

e. Conductividad en la zona de raíces (k_s):

Es la conductividad de la capa superior del suelo cuando este se encuentra completamente saturado. El flujo resultante será particionado de acuerdo a la dirección preferida de flujo (f), entre interflujo y flujo a la capa de suelo profunda. El valor de este parámetro puede variar según los tipos de cobertura.

f. Dirección preferida de flujo (f):

Este parámetro sirve para repartir el flujo que sale de la capa superficial del suelo, dividiéndolo entre el interflujo y el flujo que alimenta al agua subterránea. Un valor de 1.0 de este parámetro significa un flujo cien por ciento horizontal, mientras que un valor de 0.0 representa un flujo cien por ciento vertical.

g. Nivel inicial de humedad en la zona de raíces (z_1):

Es el valor de la humedad en la capa superior del suelo al inicio de la simulación y se expresa como un porcentaje de su capacidad de almacenamiento total.

h. Nivel inicial de humedad en la zona profunda (z_2):

Es el valor de la humedad en la capa inferior del suelo al inicio de la simulación y se expresa como un porcentaje de su capacidad de almacenamiento total. Este valor no varía entre los diferentes tipos de cobertura del suelo.

i. Conductividad de la zona profunda (K₂):

Es el valor de la conductividad en el estanque inferior y se asigna como un valor único para toda la cuenca.

6.3.4. INDICADORES DE EFICIENCIA EN LA MODELACIÓN

Estos indicadores evalúan el desempeño del modelo hidrológico y determinan que tan cerca está el funcionamiento del modelo respecto al sistema real, además del análisis gráfico entre los datos observados y simulados. Estos parámetros estadísticos empleados para evaluar los resultados de la calibración y validación se describen a continuación:

a. Índice de eficiencia Nash-Sutcliffe (E)

Es un estadístico normalizado del error que determina la magnitud relativa del modelo simulado en relación a un modelo de referencia. Es la relación entre el error cuadrático medio de los valores simulados y la varianza en los datos observados, restado de la unidad. Sus valores adimensionales varían de menos infinito a uno (Nash, et al., 1970). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{MSE^{sim}}{MSE^{obs}} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y_t^{sim})^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y^{promedio})^2}; MSE^{sim} = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y_t^{sim})^2}{n}$$

Donde: MSE^{obs} , MSE^{sim} , son los errores cuadráticos medios de los datos observados y simulados; Y_t^{obs} , Y_t^{sim} , son los datos observados y simulados en el tiempo t; $Y^{promedio}$ es el valor promedio de los datos observados, y n es el número de intervalos temporales.

b. Razón RMSE – desviación estándar de las observaciones (RSR)

El índice RSR es otro estadístico normalizado de error que relaciona la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la desviación estándar de las observaciones; cuyos valores adimensionales varían de cero al infinito (Moriasi, et al., 2007). calcula con la ecuación:

$$E = \frac{RMSE^{sim}}{STDEV^{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y_t^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y^{promedio})^2}}$$

Dónde: $RMSE^{sim}$ es el error cuadrático medio de los datos observados (Root Mean Square Error) y simulados; $STDEV^{obs}$ es la desviación estándar de los datos observados; Y_t^{obs} , Y_t^{sim} , son los datos observados y simulados en el tiempo t; $Y^{promedio}$ es el valor promedio de los datos observados, y n es el número de intervalos temporales.

c. Error en volumen (Ev)

En la modelación hidrológica, es un indicador de la diferencia en el balance hídrico. Su valor se representa en porcentaje y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ev = \frac{V^{obs} - V^{sim}}{V^{sim}} \times 100$$

Donde: V^{obs} , V^{sim} son los volúmenes de los datos observados y simulados (Donigian, et al., 2002).

d. Coeficiente de correlación de Pearson (R)

Expresa una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias; es decir, la evaluación de registros entre dos o más estaciones. Se puede definir como el índice utilizado para medir el grado de relación de dos variables cuantitativas (Vargas Sabadías, 1995). Si la ecuación que mejor relaciona dichas variables es la de una recta, decimos que existe una correlación lineal. Un ejemplo puede ser la pluviometría registrada en dos estaciones próximas; si los datos obtenidos en ambos son similares, sería de gran utilidad cuantificar esa relación, pues podríamos evaluarla pluviometría de un lugar a partir de la registrada en otro de forma aproximada. La correlación de Pearson se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde: σ_{xy} es la covarianza de x e y; σ_x es la desviación estándar de los datos observados X; y σ_y es la desviación estándar de los datos observados Y. Para la clasificación del rendimiento, el resultado se comparó con los niveles reportados por Moriasi et al (2007) y Donigian e Imhoff (2002) detallados en el Cuadro 1.

Rendimiento	RSR	E	Ev
Muy bueno	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < E \leq 1.00$	< 10%
Bueno	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < E \leq 0.75$	10 - 15%
Satisfactorio	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < E \leq 0.65$	-
Insatisfactorio	$0.70 < RSR$	$E \leq 0.50$	-
Desfavorables	-	-	15-25%

Cuadro 1: Niveles de rendimiento del modelo hidrológico según los índices: Nash-Sutcliffe (E), Raíz de error cuadrático (RSR) y Error de volumen (Ev). Fuente: Ramos (2013).

Cabe indicar que para la evaluación de la correlación de Pearson se considera con mayor preferencia aquellos resultados con valores entre cero a uno por presentar una relación de datos positiva, siendo cero el equivalente a una correlación nula y uno el equivalente a una correlación lineal perfecta (Vargas Sabadías, 1995).

6.3.5. VALIDACIÓN

Refsgaard & Knudsen, (1996) definen la validación de un modelo como «el proceso para demostrar que el modelo es capaz de realizar predicciones en un lugar específico y para períodos determinados fuera del período de calibración». Por tanto se concluye que un modelo ha sido validado si su precisión y capacidad predictiva en el período de validación muestran errores dentro de límites aceptables. Como se menciona, la validación de un modelo se hace para un lugar determinado, pues es imposible realizar una validación generalizada (así como es imposible realizar una calibración generalizada). Usualmente, la validez de un modelo para un período diferente al de la calibración se asume como verdadera considerando condiciones futuras similares a las actuales. Estas asunciones son válidas para casos simples como el

completado de datos ya que el período desconocido se encuentra dentro del período calibrado y las características pueden asumirse iguales (Cabrera, 2012; Refsgaard, et al., 1996).

La validación es un proceso conveniente para la transferencia de resultados o formulación de recomendaciones; de esta forma, los modelos pueden convertirse en herramientas útiles para la planificación y el diseño de proyectos de la cuenca estudiada.

6.4. CLIMÁTICO IMPACTO DEL CAMBIO

6.4.1. CONCEPTO GENERAL

La acción que los factores tengan sobre la temperatura en la atmósfera dará origen a fenómenos meteorológicos y eso definirá un tipo determinado clima; por lo tanto, al hablar de un cambio climático estamos hablando de un cambio en las condiciones atmosféricas. El cambio climático ya no es una discusión solo de científicos, ahora es un problema evidente, ya que nos afecta directa o indirectamente, ya sea en nuestra economía, biodiversidad del planeta y nuestros recursos como el agua.

En 1992, La Organización de las Naciones Unidas (ONU) definió en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) el cambio climático como «un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables». El CMCC diferencia entre cambio climático atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y variabilidad climática atribuida a causas naturales.

En 1995, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergubernamental Panel on Climate Change, IPCC), en su informe «Segunda Evaluación de Cambio Climático» manifestó que «el conjunto de evidencias sugiere un cierto grado de influencia humana sobre el clima global», mientras que el 2001, el mismo organismo puntualizó en su «Tercer Informe de Evaluación de Cambio Climático» que «los últimos estudios han encontrado sistemáticamente pruebas de señales antropogénicas en los registros climáticos de los últimos 35 a 50 años». El 2005 el IPCC proyectaba un calentamiento de 1.4 – 5.8 °C para el año 2100, la cual en la

actualidad ha ido creciendo debido a la alta concentración de CO₂; y el 2013, observa que cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la tierra que cualquier decenio anterior desde 1850, tal como se muestran en la Figura 5. Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0.85 (de 0.65 a 1.06) °C durante el período 1880-2012, para el que se han producido de forma independiente varios conjuntos de datos. El incremento total entre el promedio del período 1850-1900 y el período 2003-2012 es de 0.78 (de 0.72 a 0.85) °C.

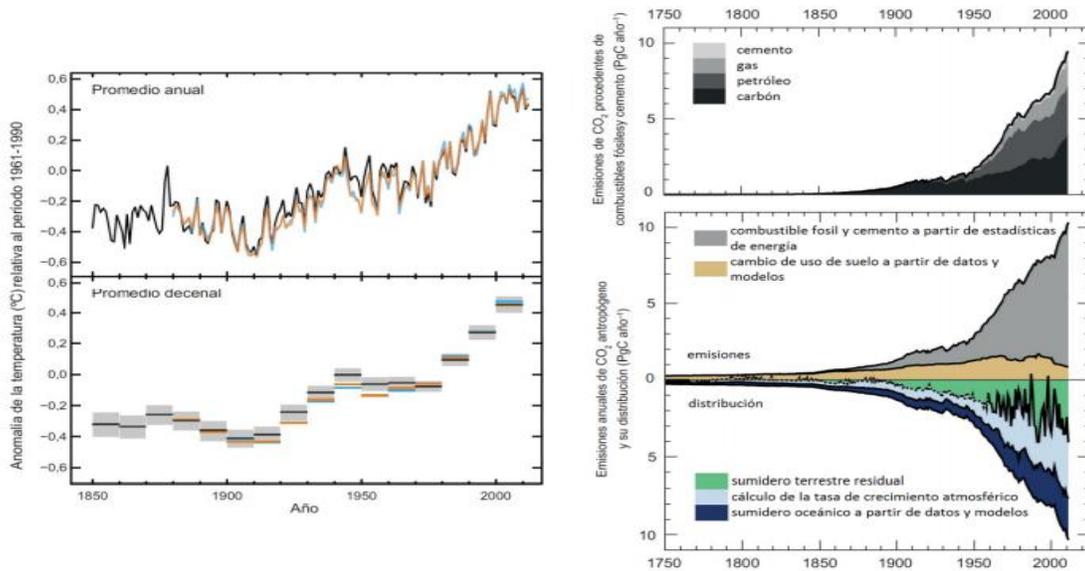


Figura 5: Registros de variaciones de temperatura y emisiones de CO₂. Izquierda: anomalías en el promedio mundial de temperaturas desde 1850 al 2012. Derecha: emisiones anuales de CO₂ antropogénico y su distribución en la atmosfera, la tierra y los océanos.

Por último, en su informe del 2013 «Cambio Climático 2013, Bases Físicas» el IPCC indica que el cambio climático representa una seria amenaza en los sistemas de producción agrícola y áreas debido al aumento de la incidencia e intensidad de las sequías, inundaciones y tormentas. Los países en vías de desarrollo son vulnerables, ya que cuentan con recursos limitados para hacer frente a los efectos negativos del cambio climático; por tanto, es necesario que se evalúen los impactos del cambio climático y para ello se realiza proyecciones del clima futuro en escenarios climáticos, los cuales permitirán estimar el comportamiento de los sistemas medioambientales. La simulación de dichos escenarios requiere de un modelo de circulación general y un periodo lo suficientemente largo como para vislumbrar algún cambio significativo del clima con algún grado de confiabilidad.

En el Perú, la Comisión Nacional de Cambio Climático (CNCC, 2002) trata el Cambio Climático partiendo del efecto invernadero. Señala que el efecto invernadero es un fenómeno natural necesario para la vida en la Tierra, sin él, la temperatura sería de -18°C y no tendríamos agua en forma líquida, ya que este proceso permite absorber parte de la radiación solar que es reflejada en la Tierra, permitiendo que la temperatura promedio del planeta sea aproximadamente 15°C .

6.4.2. REGIONALIZACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Evaluar el impacto de la variabilidad climática es considerando escenarios futuristas de cambio en modelos computacionales de simulación. Estos permiten analizar el comportamiento bajo diferentes marcos climáticos, obteniendo resultados sobre los efectos de variaciones en la temperatura, la precipitación y la radiación solar, principalmente.

La mayoría de estos estudios aplican variaciones en la temperatura máxima, mínima o en la media y en la precipitación. Los rangos de variación de los elementos meteorológicos, son generados por Modelos de Circulación General (MCG). Si bien es cierto que existen desacuerdos entre los investigadores sobre la magnitud de cambio en estos elementos (Houghton et al, 1990), la tendencia en las investigaciones que utilizan escenarios climáticos derivados de los MCG es que sean del orden de 1 a 4°C en la temperatura, con un aumento o disminución en la lluvia diaria entre un 5 y un 15% .

6.4.3. MODELO DE CIRCULACIÓN GENERAL (MCG)

Los Modelos de Circulación General (MCG) son también conocidos como modelos climáticos y representan numéricamente al sistema climático basado en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes. De acuerdo a cada componente o conjunto de estos, se pueden identificar jerarquías y representar modelos de diversos grados de complejidad que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos; o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los MCG Atmósfera – Océano (MCGAO) acoplados proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Los MCG se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el

clima, así como para fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales (IPCC, 2013).

Los MCG intentan simular el sistema climático de la tierra. Se encuentran en el extremo superior de la jerarquía de modelos del clima, relacionando la atmósfera, océano y suelo para predecir cambios de las variables en un mayor tiempo. Las expresiones matemáticas que configuran un MCG se pueden analizar por separado dentro de tres principales partes de que conforman a los modelos:

- La dinámica del sistema del clima que describe el movimiento a gran escala de las masas de aire y el transporte de la energía y momento;
- La física del sistema climático tal como transmisión de la radiación a través de la atmósfera, la termodinámica, y la evaporación;
- Otros factores tales como la interacción océano – atmósfera, topografía, y parámetros de la vegetación.

Debido a su escala global, los MCG tienen una menor resolución, por lo cual no son muy indicados para estudios e investigación de zonas específicas. En ese sentido, es necesario el uso de un modelo regional el cual pueda tomar mayores resoluciones y ser más hábil en la determinación del clima de una zona. El proceso para obtener este modelo regional es denominado Regionalización o Downscaling (PROCLIM, 2005).

6.4.4. DOWNSCALING CLIMÁTICO

Las resoluciones globales de las proyecciones climáticas realizadas con modelos globales para escenarios futuros están limitadas a extensiones de aproximadamente 200 km; por lo que carecen de la resolución espacial demandada para estudios de impacto y cambio climático. La metodología de regionalización, llamada también downscaling, adapta las características de los modelos, reduciendo la escala a una determinada localidad o región. Existen diferentes técnicas de regionalización y se pueden juntar en dos grandes grupos: (1) la regionalización dinámica que se muestra en la Figura 6 superior; y (2) la regionalización estadística que se muestra en la Figura 6 inferior (Gutierrez, et al., 2012).

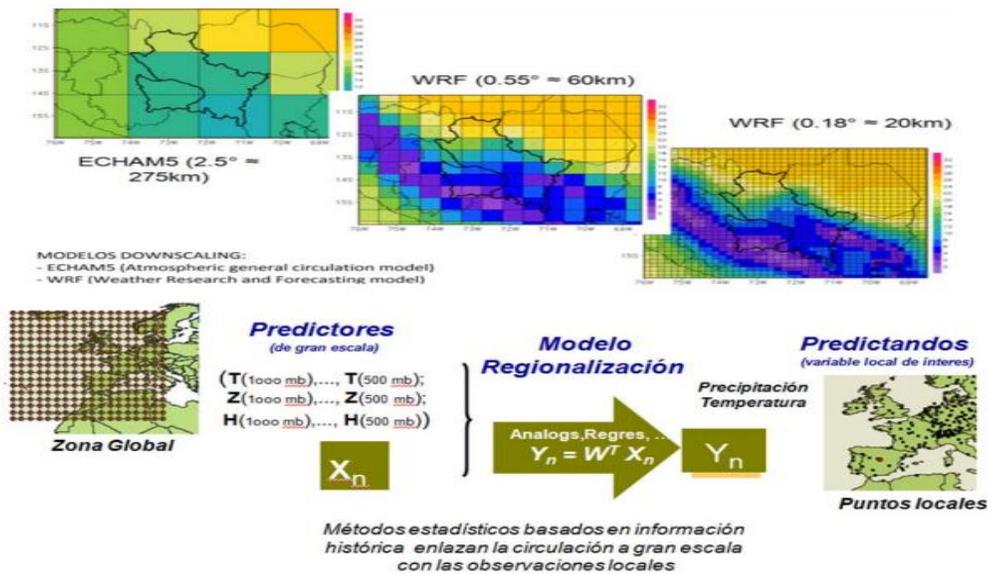


Figura 6: Esquema de una regionalización dinámica y estadística. Regionalización dinámica de 275 km a 20 km de tamaño de píxel (Figura superior), y regionalización estadística cuya metodología enlaza la información a gran escala con observaciones locales (Figura inferior). Fuente: Gutiérrez, et al. (2012).

6.4.5. ESCENARIO CLIMÁTICO

De acuerdo con el IPCC (2013), un escenario climático es la representación verosímil del clima futuro, basada en un conjunto coherente de relaciones entre fenómenos meteorológico que se define para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropógeno y puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque estos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo: data sobre el clima actual observado.

Los escenarios se establecen partiendo de la variación de flujo radiativo (forzamiento radiativo – W/m²) que es la diferencia entre la radiación que ingresa y egresa de la atmosfera terrestre. Esta variación a la cual es sometida la tierra, altera (entre otros factores) al ciclo del carbono generando una mayor concentración de CO₂ y ocasionando el cambio de las condiciones atmosféricas en un lapso prolongado de tiempo, lo cual se refleja en el aumento de la temperatura. La temperatura final alcanzada en el escenario a evaluar se define por el trayecto de concentración radiativa que se tuvo desde el presente hasta llegar al escenario futuro,

denominado trayectoria de concentración representativa (Representative Concentration's Path, RCP) ya que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama de gases de efecto invernadero, aerosoles, gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre. La denominación de cada RCP hace referencia al forzamiento radiativo obtenido de la trayectoria de concentración hasta el año 2100 y los escenarios futuros son denominados de acuerdo al RCP que los define. El IPCC ha seleccionado cuatro RCP como base para las predicciones climáticas:

- RCP 2.6: Trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W/m² antes de 2100 y posteriormente disminuye (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100);
- RCP 4.5 y RCP 6.0; Dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza aproximadamente a 4.5 W/m² y 6 W/m² después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las concentraciones después de 2150);
- RCP 8.5: Trayectoria alta, cuyo forzamiento radiativo alcanza valores superiores a 8.5 W/m² en 2100 y sigue aumentando por un tiempo (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100 y sean constantes las concentraciones después de 2250).

La Figura 6 muestra el cambio anual en la temperatura media global en superficie respecto de 1986-2005. Las series temporales de las proyecciones y la medición de la incertidumbre (sombreado) se muestran en relación con los escenarios RCP 2.6 (azul) y RCP 8.5 (rojo), mientras que el color negro (sombreado gris) representa la evolución histórica en los modelos. Las incertidumbres medias y asociadas, promediadas entre 2081 y 2100 figuran en todos los escenarios de RCP indicadas con barras verticales de colores: RCP: RCP 2.6 (azul), RCP 4.5 (celeste), RCP 6.0 (naranja) y RCP 8.5 (rojo).

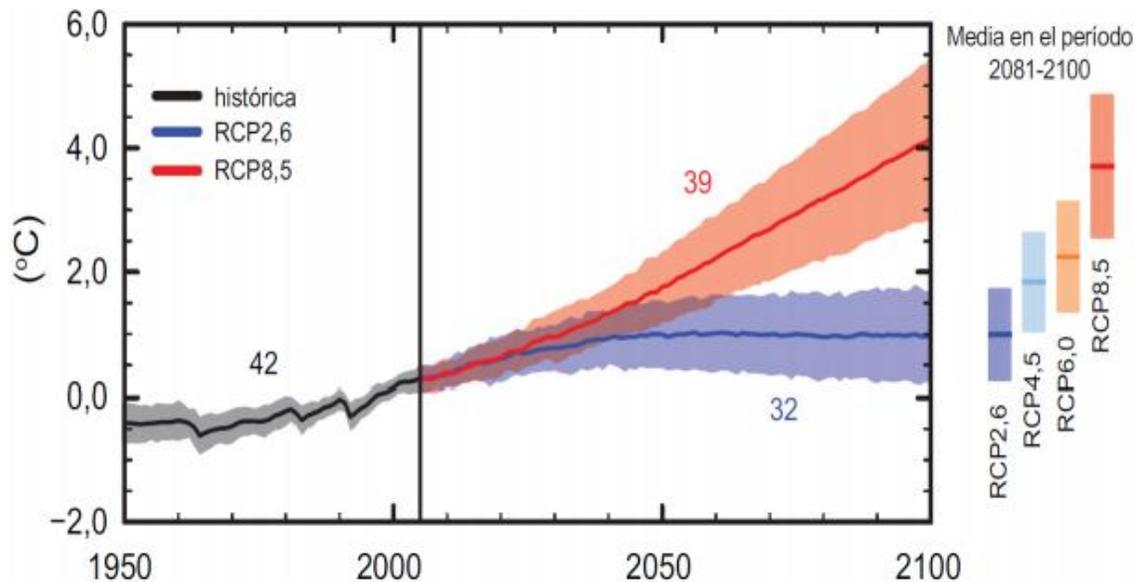


Figura 7: Diagrama de variación de temperatura media global registrado y proyectado para cuatro tipo de escenarios RCP. Variación de temperatura media global en superficie de 1986 al 2005 y proyectada para el periodo de 2081 al 2100 en los escenarios RCP extremo de cambio climático: RCP 2.6 y RCP 8.5. Fuente: IPCC (2013).

6.4.6. ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PERÚ

De acuerdo al estudio «El Perú y el cambio climático» (2010) elaborado por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010), la evaluación de escenarios climáticos del Perú tuvo como objetivos determinar las tendencias y los índices de extremos climáticos actuales a nivel nacional en base a datos observados; y a la vez, debía estimar proyecciones futuras para la década del 2030 (media del periodo 2025-2035), tomando como base MCG mediante la utilización de técnicas de downscaling o regionalización dinámico y estadístico. La regionalización empleada se realizó usando al modelo global CCSM (Climatic Community SystemModel) del National Center for Atmospheric Research (NCAR) con el modelo regional RAMS (Regional Atmospheric Modelling System) gracias a su mejor performance en simulación de lluvias asociadas a la fase de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). La información histórica utilizada fueron observaciones diarias de precipitación y temperaturas máximas y mínimas proporcionadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en todo el Perú para el periodo 1965-2006.

Los resultados de los escenarios climáticos para el Perú reflejaron que las lluvias extremas estimadas mostrarían un probable decrecimiento en los próximos 30 años en gran parte del territorio. La precipitación presentaría incrementos y disminuciones significativas distribuidas de forma localizada en todo el país. En la costa, sierra norte, parte de la sierra central y selva sur, la precipitación se incrementaría hasta en 20 por ciento; mientras que en la selva norte y parte de la sierra central y sur, la precipitación disminuiría hasta en 20 por ciento. Con respecto a las temperaturas extremas, se esperaría un mayor incremento de las temperaturas mínimas y máximas en gran parte del país; la temperatura máxima llegaría incrementarse hasta 1.6°C en promedio (0.53°C/década), mientras que para la mínima el mayor incremento alcanzaría 1.4°C (0.47°C/década). Los incrementos más elevados de las temperaturas se presentarían en la costa, sierra norte, selva norte, sierra central y en el sur del país; mientras que regiones como la costa central-sur y la selva sur no mostraría mayores cambios hacia el 2030 (MINAM, 2010).

6.4.7. INCERTIDUMBRE DE ESCENARIOS

El Programa de Cambio Climático y calidad de aire (PROCLIM, 2005) menciona que durante la proyección de escenarios, la incertidumbre se relaciona a dos razones: La primera asociada al calentamiento global, ya que no se sabe con precisión cuál será el comportamiento ni las características de los gases de efecto invernadero en el futuro; y un segundo lugar, no se sabe cuáles van a ser los efectos que tendrán las emisiones sobre el sistema climático. Debido a estas dos fuentes de incertidumbre, se presentarán incertidumbres en los escenarios generados por los MCG; además de considerar la incertidumbre generada por la regionalización y la variabilidad natural.

De acuerdo con el IPCC (2013), la incertidumbre se basa en dos indicadores necesarios para comunicar el grado de certeza de los principales resultados fundamentados en los orígenes de la data obtenida para el proceso de análisis o evaluación:

- La confianza en la validez de un resultado está basada en el tipo, cantidad, calidad y coherencia de los datos o evidencia; por lo que es un indicador subjetivo que expresa el nivel de conformidad o acuerdo por parte del evaluador, de forma cualitativa;

- Las mediciones cuantificadas de la incertidumbre de un resultado son expresadas de forma probabilística (según el análisis estadístico de las observaciones, evaluación de los resultados de modelos o bien del juicio experto).

El indicador de confianza ofrece una síntesis cualitativa de la valoración que realiza el evaluador sobre la validez de un resultado según el análisis de evidencia y el nivel de acuerdo. Si las incertidumbres se pueden cuantificar de forma probabilística, el evaluador puede describir el resultado empleando el lenguaje de la probabilidad (IPCC, 2013). La Figura 8 esquematiza los grados de evaluación de evidencia y niveles de acuerdo realizados como parte del índice de confianza.

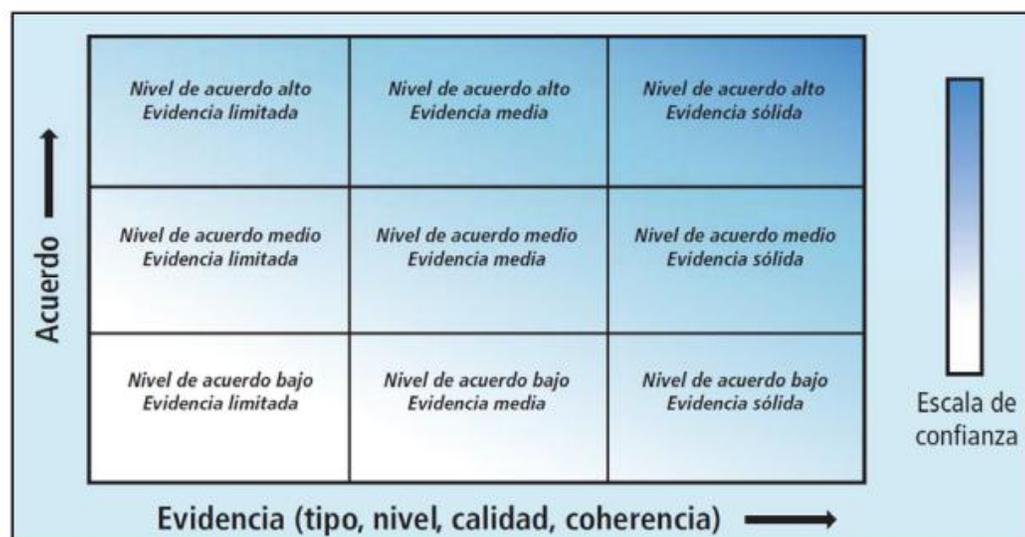


Figura 8: Incertidumbre en los escenarios generados por los modelos climáticos. Representación de la evidencia, nivel de acuerdo y relación con la confianza; la confianza aumenta tal como sugiere el aumento de la intensidad del sombreado. Fuente: IPCC (2013).

Los valores de incertidumbre de los cambios proyectados para el sistema hidrológico reflejan la variabilidad interna del sistema climático, la incertidumbre de las futuras emisiones de gases invernadero y aerosoles, la traslación de estas emisiones al cambio climático mediante modelos climáticos; y la incertidumbre de los modelos hidrológicos. Las fuentes de incertidumbre de mayor proporcionalidad se deben entre muchas otras a: (1) emisiones de gases de efecto invernadero, (2) al modelo climático global (MCG) utilizado, (3) a la variabilidad natural de los factores climáticos, y (4) a la regionalización de un MCG global (PROCLIM, 2005; SENAMHI, 2005).

6.5. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

6.5.1. MÉTODO DE RIPPL.

Uno de los primeros métodos que se utilizó para estimar el tamaño de almacenamiento de un embalse para satisfacer cierta demanda fue el método de Rippl. El método (como se usa actualmente) es ilustrado en la siguiente figura:

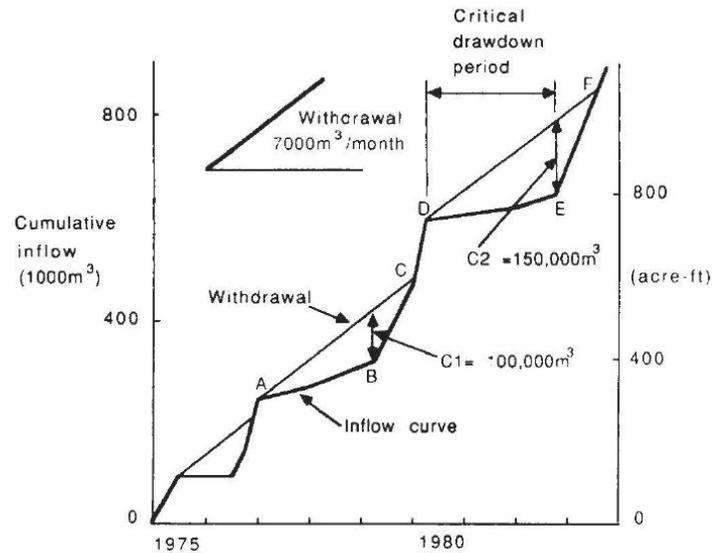


Figura 9: Estimación de la capacidad de almacenamiento por el procedimiento de curva masa. Fuente: Handbook of Hydrology D.Maidment, 1993)

Los pasos son:

- Para el sitio propuesto, construir una curva acumulativa de caudales, de preferencia con datos mensuales. Determina la pendiente de la demanda acumulada, acorde a la escala del gráfico.
- En el diagrama de acumulaciones, sobrepone la línea de demanda acumulada de tal forma que sea tangencial a la curva acumulada de caudales, como se muestra en la figura anterior.
- Mide la diferencia más larga entre la curva de caudales y la curva de demanda.

En el ejemplo de la figura anterior, $C2$ es mayor que $C1$, y por lo tanto la capacidad de diseño se tomaría como el valor de $C2$ ($150\,000\text{ m}^3$). De la figura se puede ver que el reservorio está lleno en el punto A, empieza a vaciarse desde A hasta B, se vuelve a llenar de B a C. De C

a D, el agua se vierte por el vertedero, y a partir de ahí nuevamente empieza a vaciarse hasta llegar a E (embalse completamente vacío).

En el procedimiento de curva masa, dos asunciones importantes se hacen:

- a) El reservorio está lleno al inicio del periodo de vaciado crítico (D a E en el ejemplo anterior)
- b) Como el análisis usa data histórica, está implícito que futuros escenarios de caudales no contendrán una sequía más severa que la utilizada en el procedimiento.

El procedimiento exhibe dos atributos importantes:

- a) Es simple y fácil de comprender.
- b) Debido a que usa data histórica la estacionalidad, la autocorrelación, y otras características de la serie histórica de caudales son tomados en cuenta.

El método de la curva masa de Rippl es equivalente al algoritmo de picos secuentes (Loucks et al. citado por Maidment, 1993), sin embargo, presenta complicaciones a la hora de considerar una demanda variable y sistemas de múltiples reservorios.

6.5.2. ANÁLISIS DE PISCOS SECUENCIALES.

El análisis de picos secuenciales es más adecuado cuando se utilizan series hidrológicas de largas, o cuando la demanda no es constante. El procedimiento es el siguiente:

- a) Se calcula la diferencia entre entradas (S: “supply”) y demandas (D: “demand”).
- b) Los valores acumulados de la diferencia “S-D” se grafican como se muestra en la siguiente figura.
- c) En esta figura se determinan el primer pico y el siguiente más largo (pico secuencial).
- d) El almacenamiento requerido entre estos dos puntos es la diferencia entre el primer pico y el punto más bajo en este periodo.
- e) Este proceso se repite para todos los picos del periodo. El máximo almacenamiento encontrado es la capacidad de diseño requerida

Si el registro de caudales es muy largo, la solución gráfica puede resultar muy trabajosa. En ese caso, se utiliza el procedimiento analítico.

El almacenamiento requerido V_t al final del periodo "t" se puede expresar:

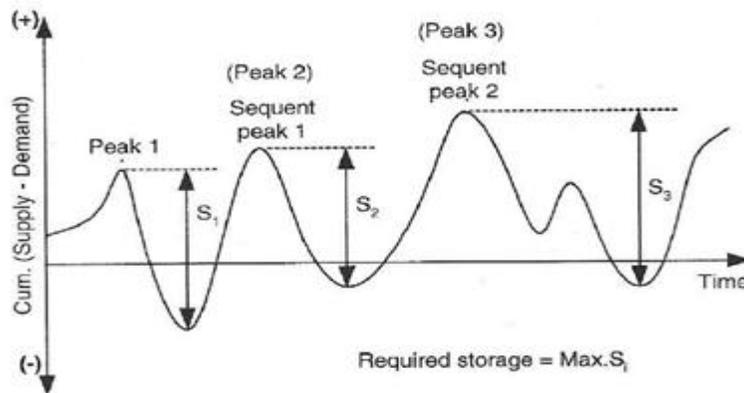


Figura 10: Diagrama de pisos secuenciales

Al inicio del análisis, el valor inicial de V_{t-1} es cero y el cálculo continúa hasta el final del periodo en análisis. El máximo valor calculado de V_t es el almacenamiento requerido

VII. MATERIALES Y METODOLOGÍA

7.1. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se ha identificado como área de estudio, al Sistema Integral Lagunillas, sin embargo, por estar este comprendido dentro de la cuenca del río Cabanillas y por la necesidad de efectuar los análisis hidrológicos a nivel de unidad hidrográfica (cuenca) en este estudio, se ha optado por considerar a la cuenca del río Cabanillas desde sus nacientes hasta la confluencia con el río Lampa, como ámbito de estudio.

7.1.1. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Para la identificación y delimitación de la cuenca, como caracterización de los parámetros geomorfológicos y otros usos cartográficos. Se ha realizado la delimitación de las cuencas y subcuencas a modelarse con la ayuda de Arcgis_archydo a través de la cual se ha obtenido las áreas y perímetros correspondientes y diferentes parámetros de la geometría como es el caso de los polígonos que representan cada una de las subcuencas que sirve como base de la modelación hidrológica con el apoyo de las Cartas Nacionales a escala 1/100,000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Hojas: Condorama (31-t), Ocuvi (31-u), Juliaca (31-v), Callalli (32-t), Lagunillas (32-u) y Puno (32-v). Mapas Temáticos del departamento de Puno, elaborados por la ONERN (1965) de: Cobertura vegetal, Grandes grupos de suelos y capacidad de uso mayor, ecología, geología y geomorfológico e información cartográfica y temática complementaria encontrada en los diferentes estudios realizados.

7.1.2. UBICACIÓN

7.1.2.1. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

El área de estudio hidrográficamente se ubica en la cuenca del río Coata, vertiente del Titicaca y perteneciente al Sistema Titicaca, Desaguadero, Poopo y Salar de Coipasa (Sistema Hídrico

TDPS). La cuenca del río Cabanillas, limita por el Norte con las nacientes de la cuenca del río Ayaviri; por el Este con el área circunlacustre al Lago Titicaca; por el Sur con la cuenca del río Illpa y las nacientes de la cuenca del río Tambo; y por el Oeste con las nacientes de la cuenca del río Camaná. Ver Figura 11.

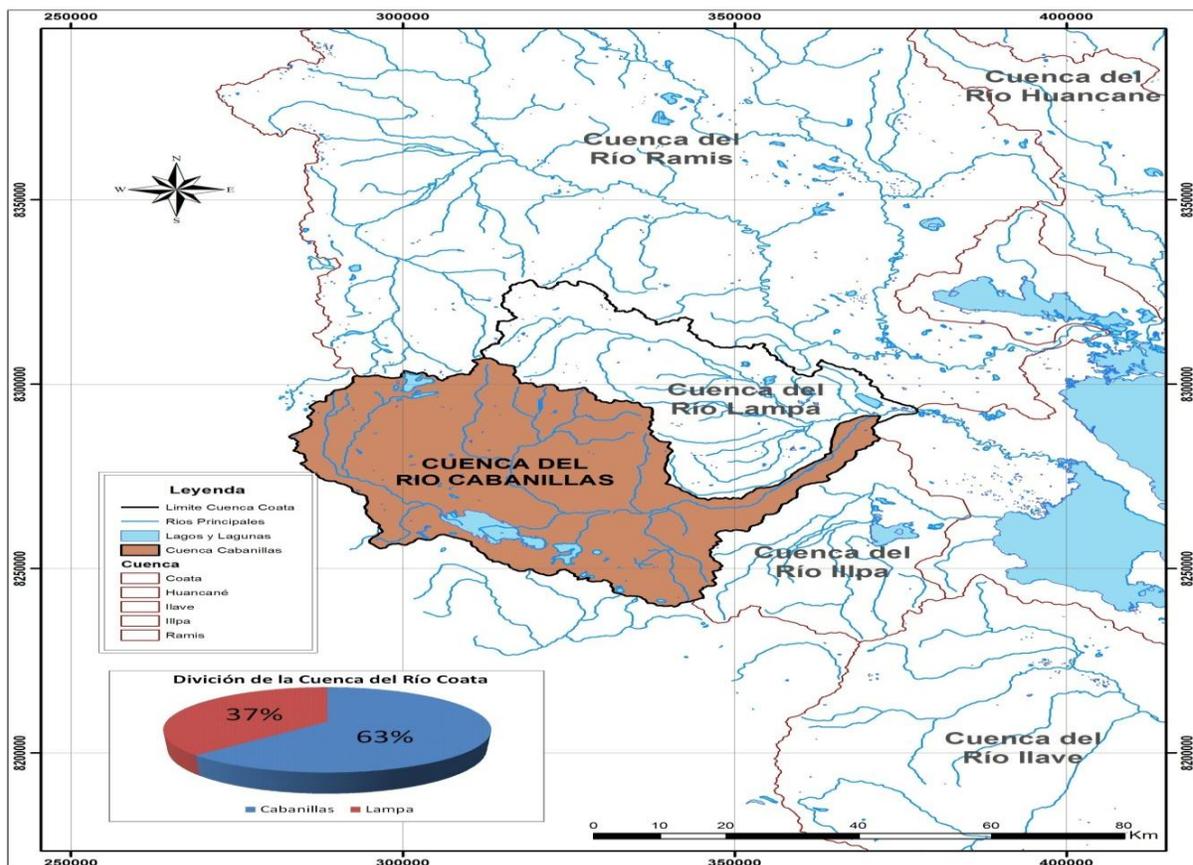


Figura 11: Ubicación hidrográfica de la Cuenca de Cabanillas

7.1.2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Geográficamente la cuenca del río Cabanillas está comprendida entre las siguientes coordenadas geográficas; Latitud Sur: 15°18'03.5" a 15°55'31.4" y Longitud Oeste: 71°01'34.6" a 70°11'25", se encuentra localizada en la parte noroccidental de la región Puno, en el extremo sureste del Perú, con una variación altitudinal de 3826 a 5475 m.s.n.m. Ver Figura 12.

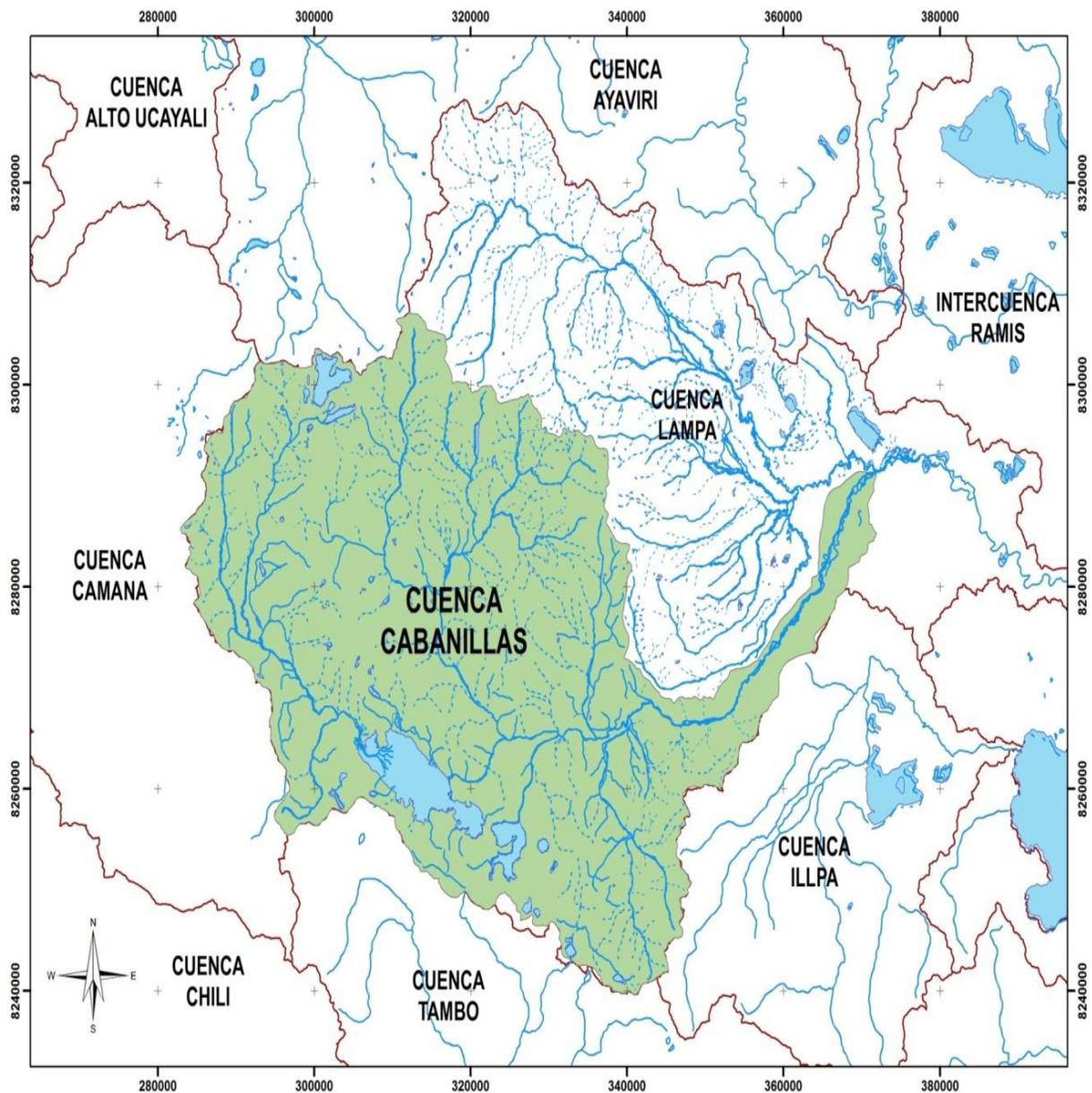


Figura 12: Ubicación geográfica de la Cuenca de Cabanillas

7.1.2.3. UBICACIÓN POLÍTICA.

Políticamente la cuenca del río Cabanillas se ubica en:(Ver Figura 13)

Región : Puno

Provincia : San Román, Lampa.

Distritos : Paratía, Santa Lucía, Cabanillas, Cabanilla, Cabana, Mañazo y Juliaca.

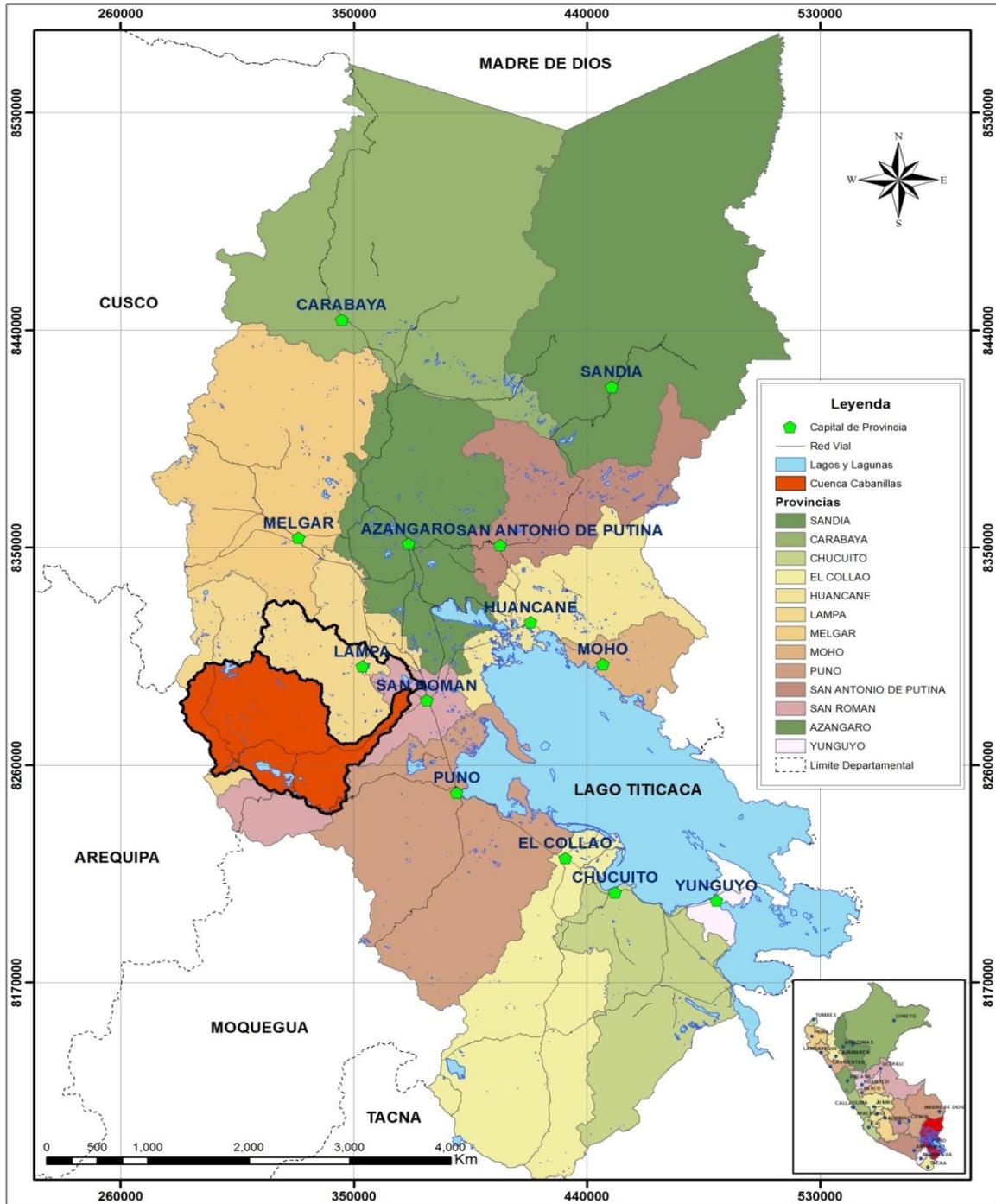


Figura 13: Ubicación política de la Cuenca de Cabanillas

Cota máxima de la cuenca Coata	: 5,300 msnm.
Cota mínima de la cuenca Coata	: 3,800 msnm.
Altitud media de la cuenca del río Lampa	: 4,225 msnm.
Altitud media de la cuenca del río Cabanillas	: 4,320 msnm.
Ríos principales	: Cabanillas y Lampa
Longitud de cauce más largo (Cuenca Cabanillas)	: 131.37 Km.
Longitud de cauce más largo (Cuenca Lampa)	: 101.44 Km.
Longitud del río Coata (desde la confluencia - Lago Titicaca)	: 57.20 Km.

Cuadro 2: Datos geográficos de la Cuenca del río Cabanillas

7.1.3. SISTEMA HIDRAULICO LAGUNILLAS

El área del Proyecto está representada por el sistema hidrográfico formado por las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa, que a su vez forman la cuenca del Río Coata, el cual desemboca en el Lago Titicaca. La región del Proyecto forma parte de la vertiente de la cuenca hidrográfica del Lago Titicaca. Se caracteriza como un sistema de cuenca endorreica, ubicada entre las provincias de San Román, Lampa, Huancané y Puno en el Departamento de Puno. La superficie total de la cuenca Coata es de 4,908.44 Km². Sus características fisiográficas principales que son materia de estudio son las siguientes:

Caracterizar la cuenca del río Coata es básicamente caracterizar las Cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa, ya que el área de drenaje cuyo cauce natural se denomina río Coata se ubica en la parte baja desde la confluencia de los ríos Cabanillas y Lampa, con una longitud de cauce igual 57.20 Km. hasta la desembocadura al Lago Titicaca, el área correspondiente a este sector es de 459.96 Km² lo que equivale a un 9.3% de la superficie total de la cuenca del río Coata.

7.1.3.1. ESQUEMA HIDRÁULICO DEL PROYECTO INTEGRAL LAGUNILLAS

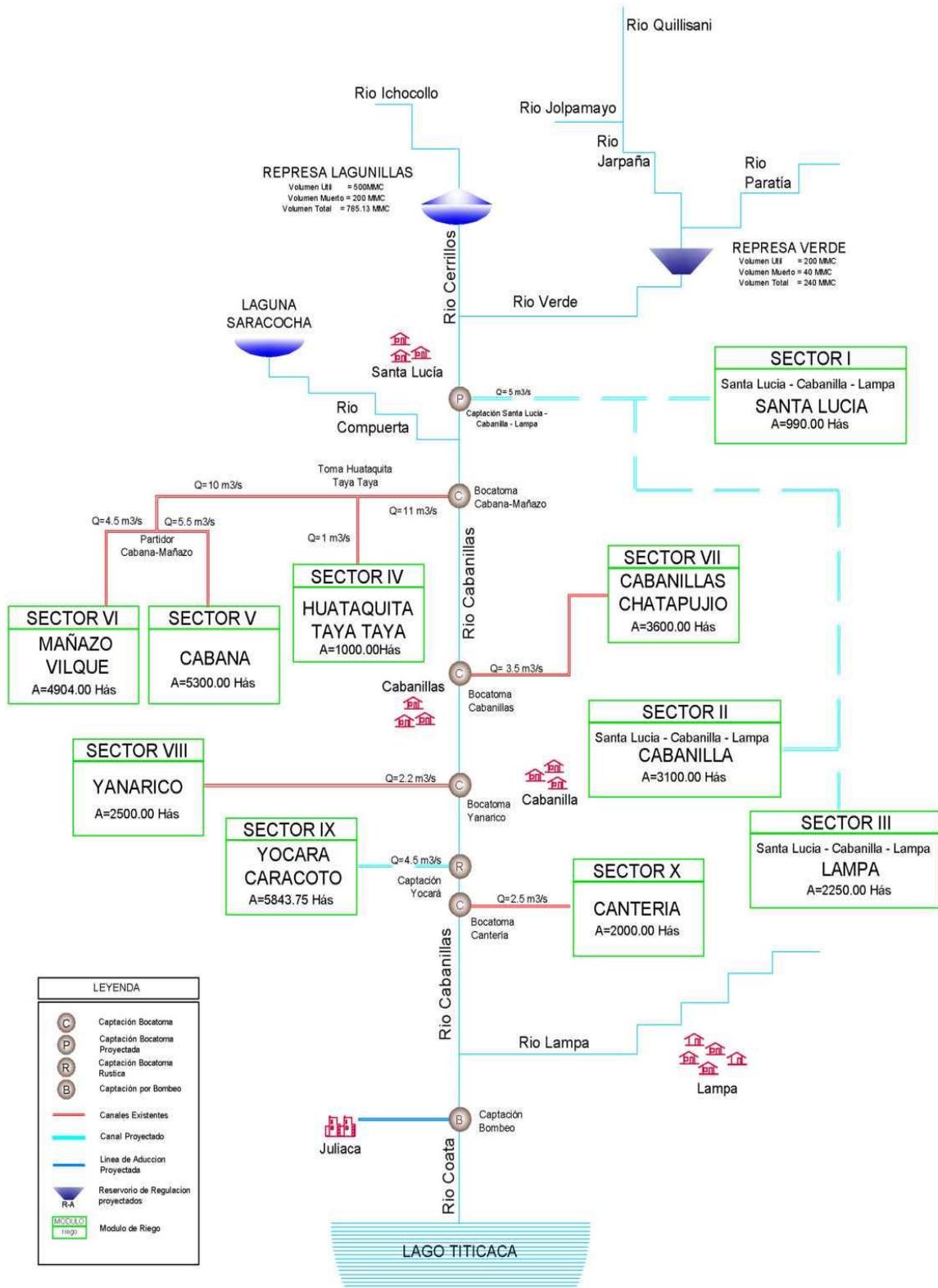


Figura 14: Esquema hidráulico del proyecto integral lagunillas. Fuente PELT

7.1.3.2. DESCRIPCIÓN DE LA PRESA DE LAGUNILLAS



Figura 15: Presa de Lagunillas

Características:

Objeto:

Almacenamiento 500 m³ de agua para irrigar 31,041 HAS.

Tipo de presa: De Gravedad

Dimensiones:

- 94.48 Mts En La Corona
- 48.48 Mts En La Base

Altura:

- 16.25 Mts Maxim
- 4.70 Mts. Minima

Conducto de toma:

- 2 De 2.44 x 2.44 Mts.
- 20 m³/ Seg.

Aliviadero:

- 143.5 m³/ seg.

Puente vehicular :

- 20 Tns De Peso – Carga H – 20

7.1.3.3. EL SISTEMA INTEGRAL LAGUNILLAS

El Sistema Integral Lagunillas, está referido a un conjunto de obras hidráulicas de infraestructura mayor para el aprovechamiento hídrico de las aguas de la cuenca del río Cabanillas, este sistema tiene a la presa Lagunillas ubicada en la laguna del mismo nombre como principal obra de regulación.

La presa Lagunillas permite almacenar los recursos hídricos de aproximadamente 650.2 km² de la subcuenca del río Ichocollo, vertiendo sus aguas bajo régimen regulado en el río Cerrillos y que en confluencia con el río Verde (no regulado) conforman el río Cabanillas, que constituye el cauce vertebral del sistema, ya que de él se captan las aguas para atender las demandas hídricas de uso agrícola para los ocho (08) módulos de riego existentes, así como las demandas de uso poblacional, ecológica, industrial y minera, a todo esto en conjunto se le denomina Sistema Integral Lagunillas. Ver Figura 17.

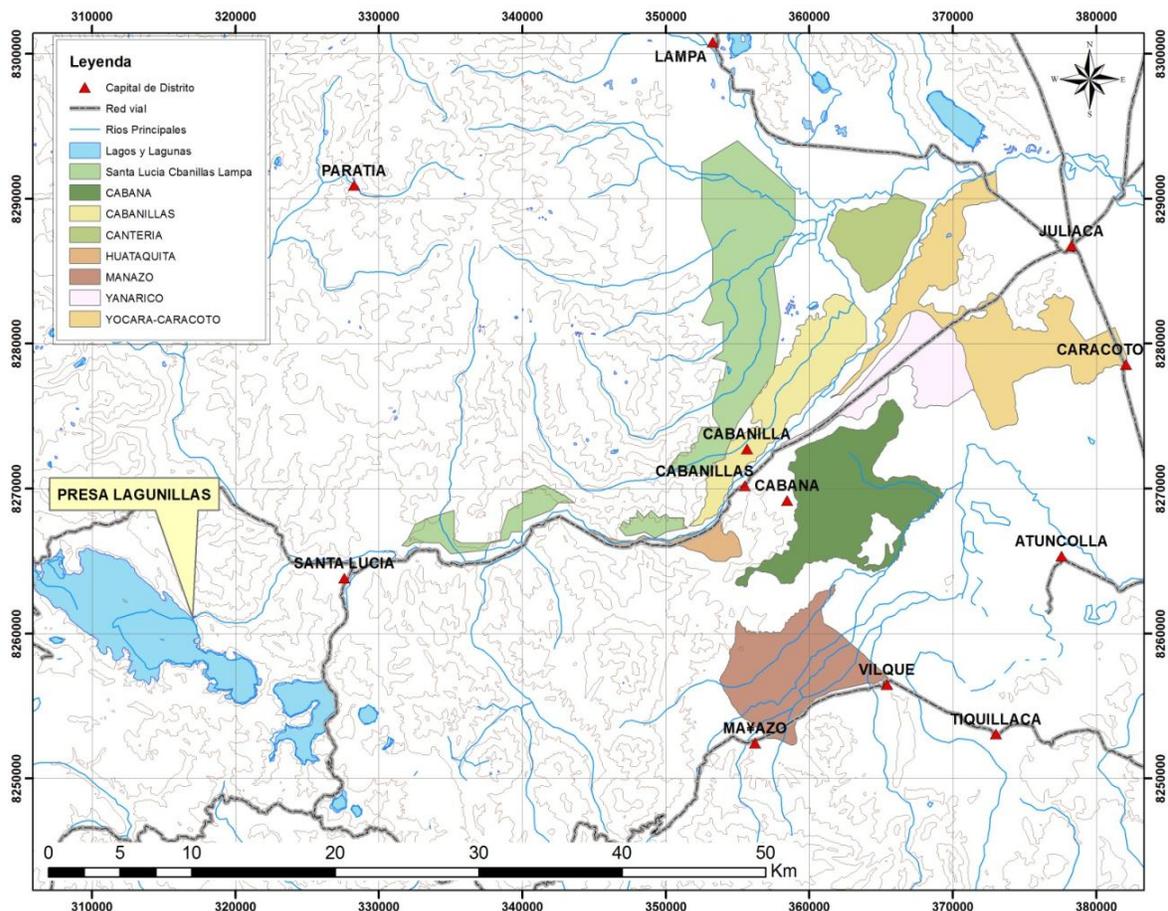


Figura 16: Sistema Integral Lagunillas

7.1.3.4. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CABANILLAS

La cuenca del río Cabanillas, tiene una extensión de aproximadamente 2,844.63 km², 337.70 km de perímetro, y altitudes máxima y mínima de 4,750 y 3,950 msnm, respectivamente. El río Cabanillas es resultado de la unión de los ríos Verde y Cerrillos, este último de régimen regulado por la presa Lagunillas. El río Cerrillo es el efluente del embalse Lagunillas y el río Ichocollo el principal afluente, inicialmente este río toma los nombres de Orduña y Borracho. El río Verde es formado por los ríos Paratía y Jarpaña, este último inicialmente toma el nombre de Quillisani, tal como se muestra en el mapa hidrográfico que se presenta a lo largo del cauce de drenaje de la cuenca del río Cabanillas se observa las siguientes Figuras 18 y 19.

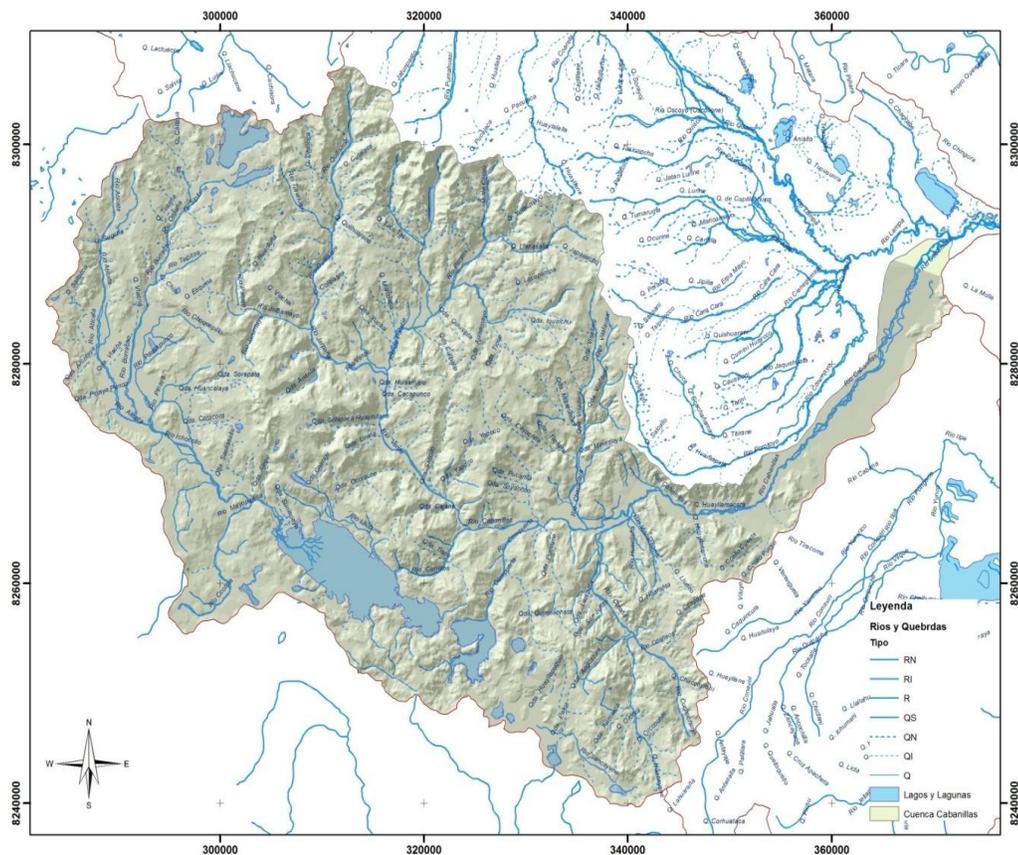


Figura 17: Mapa hidrográfico de la Cuenca del Cabanillas

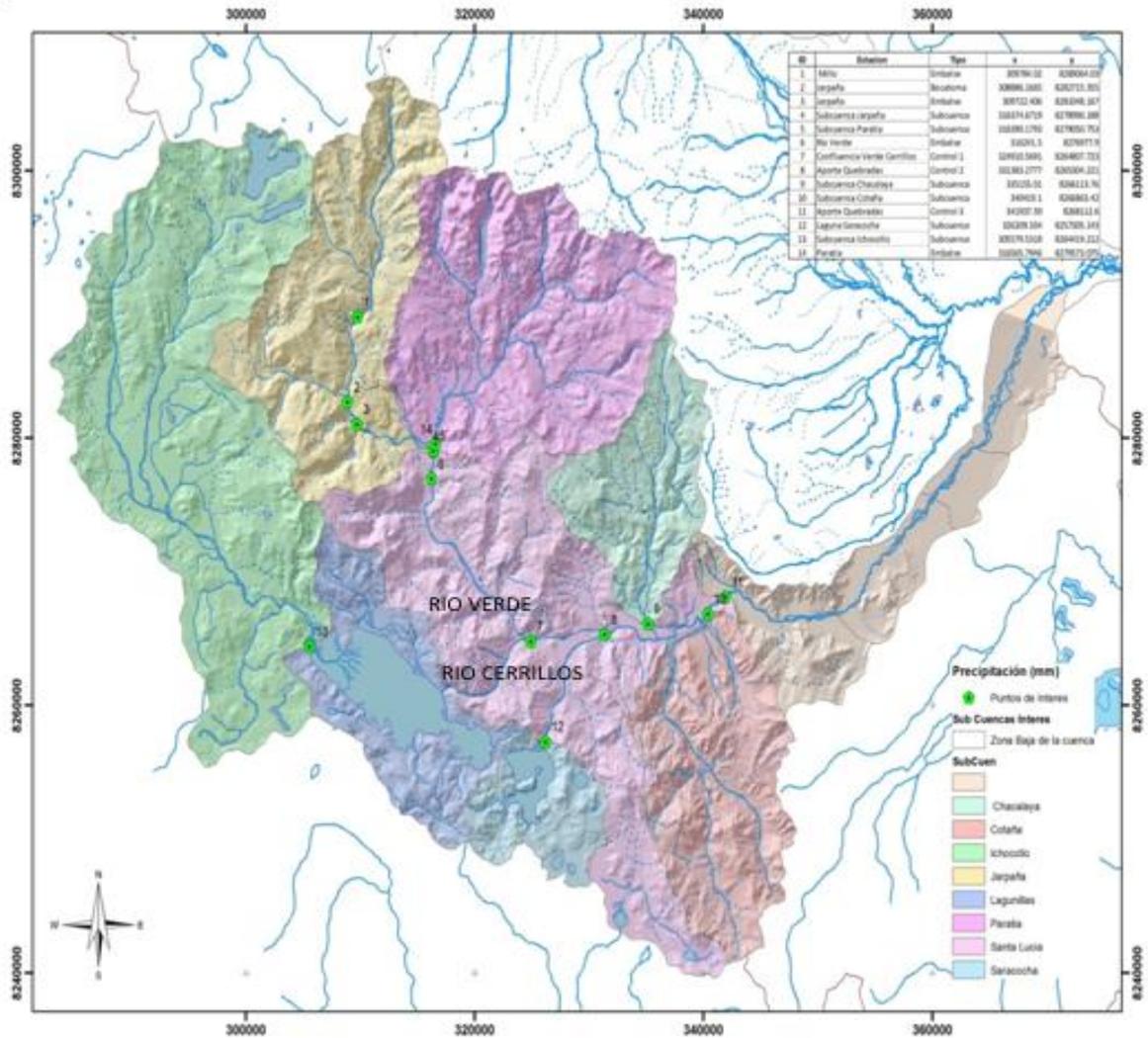


Figura 18: Subcuencas del Río Cabanillas

7.1.4. SUBCUENCA DEL RIO PARATIA

La subcuenca Paratía ocupa una superficie de 419.85 Km², lo que representa el 8.55% del área total de la cuenca Coata. El río Paratía es el curso principal de drenaje de esta subcuenca, con una longitud de 19.68 Km. y una pendiente de cauce igual a 1.63%. En esta subcuenca existe gran cantidad de lagunas, y la más relevante es la laguna de Saito con un área de espejo de agua igual a 10.35 Km².

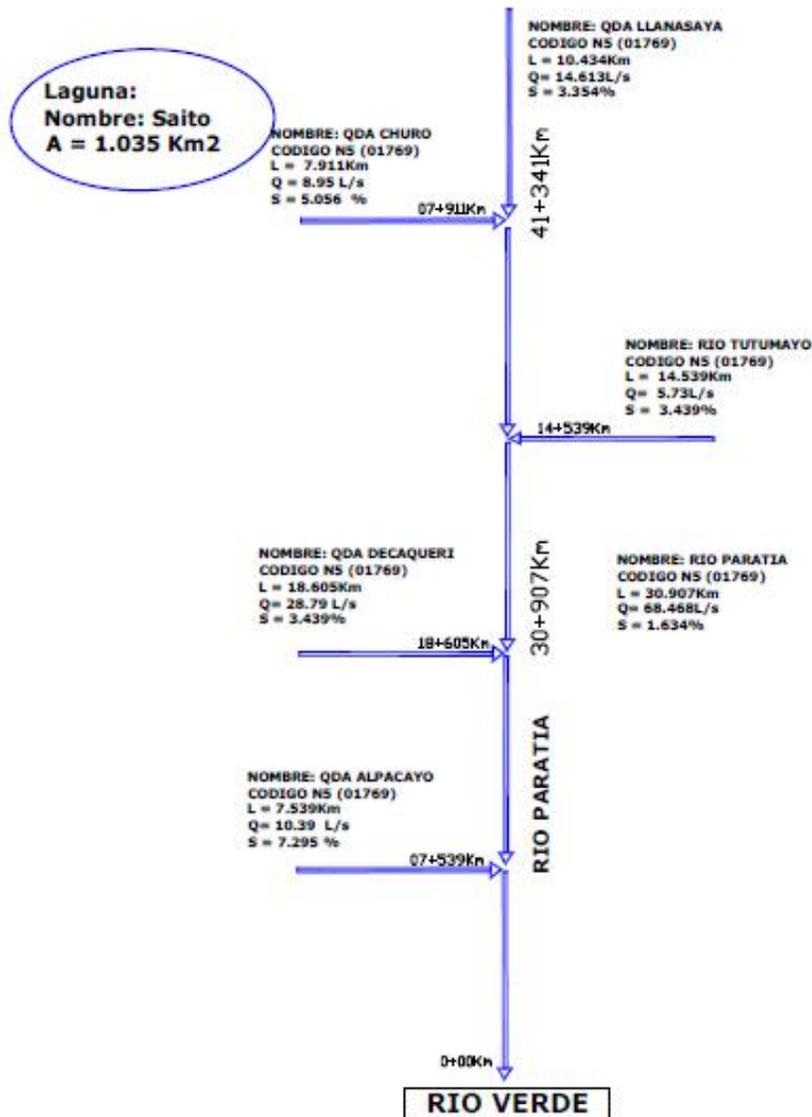


Figura 19: Esquema Fluvial - Subcuenca Paratia Fuente PELT

7.1.5. SUBCUENCA DEL RIO JARPAÑA

La subcuenca Jarpaña ocupa una superficie de 328.91 Km², lo que representa el 6.70% del área total de la cuenca Coata. Su curso principal de drenaje es el río Jarpaña, cuya longitud es 10.71Km desde el río Quillisani hasta unirse con el río Verde. Esta subcuenca es la región más lluviosa de la cuenca del río Coata, prácticamente es el que aporta el recurso hídrico durante todo el año en forma regular.

El río Jarpaña en la parte alta se denomina río Quillisani que tiene una longitud de 26.79 Km. y una pendiente de cauce de 1.95%, posteriormente toma el nombre de río Jarpaña con una longitud de 10.71 Km. hasta unirse al río Verde y una pendiente de cauce de 0.87%

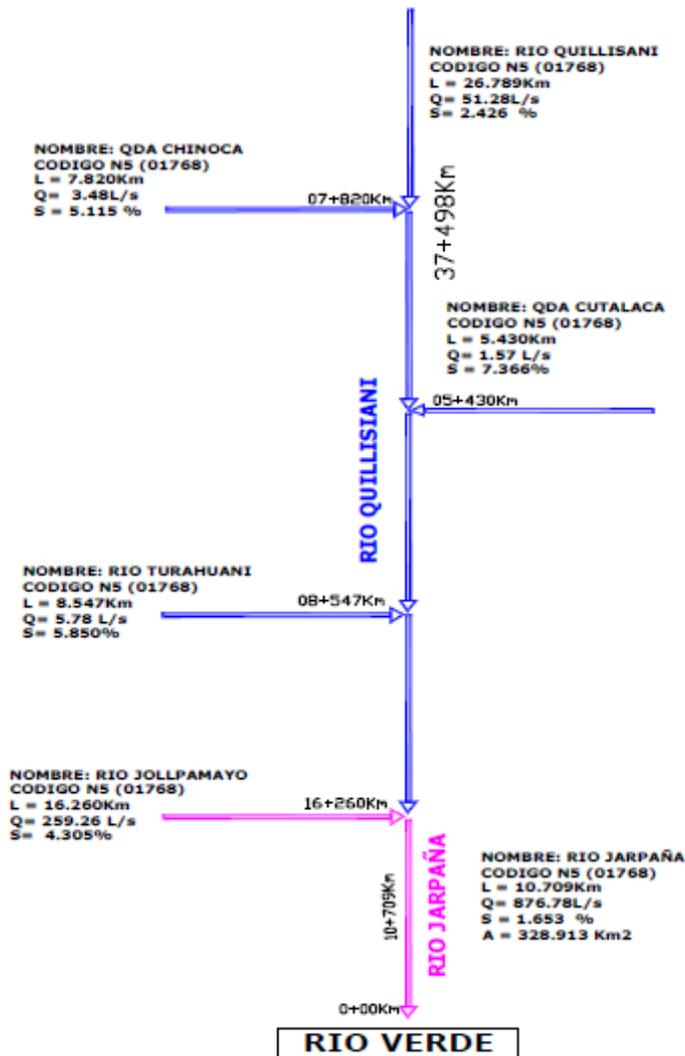


Figura 20: Esquema Fluvial - Subcuenca Jarpaña Fuente PELT

7.1.6. SUBCUENCA DEL RIO CERRILLOS

La subcuenca Cerrillos se encuentra ubicada en el centro poblado de Pinaya, distrito de Santa Lucía y ocupa una superficie de 868.15 Km.², lo que representa el 17.69% del área total de la cuenca Coata. En la subcuenca Cerrillos la denominación del río principal cambia en el transcurso de su cauce en la parte más alta toma el nombre de río Orduña que tiene una longitud de 12.52 Km. y una pendiente de 3.80%, luego toma el nombre de río Borracho que tiene una

longitud 34 Km. y una pendiente de 0.68%, posteriormente se llama río Ichoccollo que tiene una longitud de 11.21 Km. con una pendiente de cauce de 0.18%, seguidamente aguas abajo se encuentra el embalse Lagunillas, a la salida del embalse el cauce de río se llama río Cerrillos con una pendiente de cauce de 0.98%.

En esta subcuenca se encuentra ubicadas importantes cuerpos de almacenamiento de agua, como son la laguna Ananta cuya área de espejo de aguas es de 11.94 Km² (4,828 msnm.), El embalse Lagunillas cuya área de espejo de agua es de 65.12 Km², ubicado a una cota de 4,168.80 msnm., y tiene una capacidad de almacenamiento de 500 millones de metros cúbicos disponible para suministrar del recurso hídrico a los diferentes demandas aguas abajo del embalse. El agua liberada por la presa del embalse es derivado al río Cerrillos, el cual desemboca al río Cabanillas.

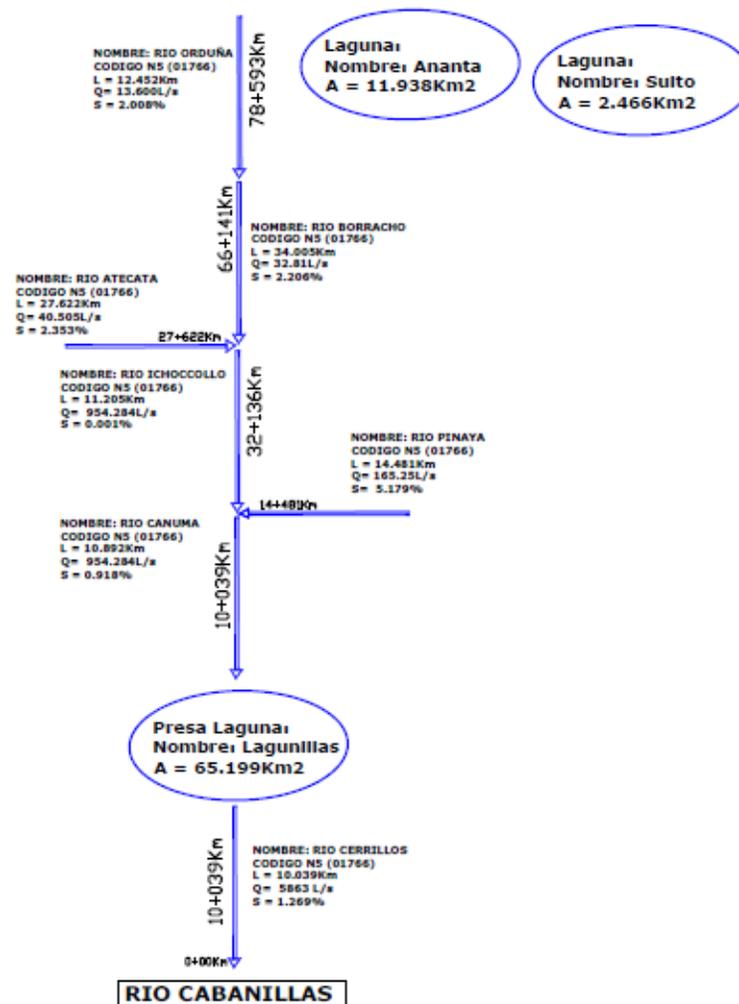


Figura 21: Esquema Fluvial - Subcuenca Cerrillos. Fuente PELT



Figura 22: Confluencia del Río Cerrillo y el Río Verde formando el Río Cabanillas

7.1.7. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Las estaciones pluviométricas en la cuenca del Coata., en zonas en la que se presentan precipitaciones considerables entre las cotas de del punto objetivo y las cotas más elevadas, (Senamhi).

ORDEN	ESTACION	CUENCA	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
1	CRUCERO ALTO	COATA	PLU	15°46'01.00"	70°55'01.00"	4,470 msnm
2	HACIENDA COLINI	TAMBO	PLU	15°39'00.00"	70°53'00.00"	4,380 msnm
3	JARPAÑA	COATA	PLU	15°34'00.00"	70°43'00.00"	4,250 msnm
4	LAGUNILLAS	COATA	CO	15°46'02,10"	70°39'32.40"	3,970 msnm
5	PAMPAHUTA	COATA	CO	15°29'00.70"	70°40'32.80"	4,400 msnm
6	PARATIA	COATA	PLU	15°27'00.00"	70°36'00.00"	4,300 msnm
7	SANTA LUCIA	COATA	PLU	15°42'00.00"	70°36'00.00"	4,050 msnm

Cuadro 3: Estaciones pluviométricas utilizadas en la construcción del modelo hidrológico

7.2. DEMANDA HÍDRICA DEL SISTEMA INTEGRAL DE LAGUNILLAS

7.2.1. DEMANDA POBLACIONAL

La demanda hídrica futura de uso poblacional en el Sistema Integral Lagunillas es para abastecer a la Provincia de San Roman (Juliaca, cabanillas, Cabanilla, Cabana y Caracoto) de una población de 276,352 hab., La Provincia de Lampa (Santa Lucia Pucara etc) con población de 51,039 hab. y la Ciudad de Puno con 137,256 hab. Población estimada según el INEI al 30 de junio del 2012.

En el cuadro N°4, se considera un caudal promedio de 1.50 m³/s se presenta el requerimiento de agua poblacional del proyecto Sistema Integral Lagunillas. Observándose que la demanda total anual es de 47.30 hm³.

POBLACIÓN	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO	TOTAL
Juliaca	(m ³ /s)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
	(hm ³)	2.01	1.81	2.01	1.94	2.01	1.94	2.01	2.01	1.94	2.01	1.94	2.01		23.65
Puno	(m ³ /s)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	
	(hm ³)	1.47	1.33	1.47	1.43	1.47	1.43	1.47	1.47	1.43	1.47	1.43	1.47		17.34
Lampa y Distritos	(m ³ /s)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
	(hm ³)	0.54	0.48	0.54	0.52	0.54	0.52	0.54	0.54	0.52	0.54	0.52	0.54		6.31
Total	(m ³ /s)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	(hm ³)	4.02	3.63	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02	4.02	3.89	4.02	3.89	4.02		47.30

Cuadro 4: Demanda hídrica futura de uso poblacional

Fuente: Evaluación de los Recursos hídricos de los ríos Cabanillas y Lampa 2007

7.2.2. DEMANDA ECOLÓGICA

El Sistema Integral de Lagunillas debe considerar el caudal ecológico de los ríos utilizados por el sistema como una demanda intangible con el objeto de mantener la capacidad biogénica en los cauces de los ríos, ello permitirá asegurar que en ningún momento de la operación falte el agua en el cauce del río Cabanillas, para lo cual se deberá de asignar una cantidad de agua igual o mayor al caudal natural correspondiente a la época de estiaje. Para lo cual se ha tomado un valor referencial correspondiente a los meses de estiaje (Junio - Agosto), que representa un caudal promedio mensual de 2.308 m³/s equivalente a un volumen total mensual de 6.060 hm³.

7.2.3. DEMANDA INDUSTRIAL Y MINERO PROYECTADA

La demanda hídrica proyectada para uso industrial y minero en el Sistema Integral Lagunillas es 10.09 y 2.37 hm³/año, respectivamente, información proporcionada por la Autoridad Local del Agua Juliaca, y que se presenta en el Cuadro N° 5.

DEMANDA	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO	TOTAL
Industrial	(l/s)	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	
	(hm ³)	0.857	0.774	0.857	0.829	0.857	0.829	0.857	0.857	0.829	0.857	0.829	0.857		10.09
Minero	(l/s)	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	
	(hm ³)	0.201	0.181	0.201	0.194	0.201	0.194	0.201	0.201	0.194	0.201	0.194	0.201		2.37
TOTAL	(l/s)	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	395.00	
	(hm ³)	1.058	0.956	1.058	1.024	1.058	1.024	1.058	1.058	1.024	1.058	1.024	1.058		12.46

Cuadro 5: Demanda hídrica para uso industrial y minero del Sistema Integral Lagunillas

Fuente: Administración Local del Agua Juliaca, 2009.

7.2.4. DEMANDA AGRÍCOLA

La demanda hídrica agrícola futura en el Sistema Integral Lagunillas se localiza en el ámbito de la cuenca del río Cabanillas. Este proyecto fue concebido con el fin de irrigar los terrenos disponibles ubicados en la cuenca media y baja para lo cual sea sectorizado y delimitado el área total de riego para el Proyecto a partir de la información técnica proporcionada por el PELT y el Gobierno Regional Puno. El área total potencial es de 30,844 Ha. Y está conformado por diez bloques de riego distribuidos a lo largo del río Cabanillas. En el Cuadro N° 6 se presenta un resumen del área potencial de riego en el Sistema Integral Lagunillas a nivel de los sectores y/o irrigaciones de riego que conforman el sistema.

SECTOR DE RIEGO		AREA (ha)
I	Yanarico	2,500.00
II	Yocará - Caracoto	5,200.00
III	Cantería	2,000.00
IV	Cabanillas - Chatapujio	3,600.00
V	Cabana	5,300.00
VI	Mañazo - Vilque	4,904.00
VII	Huataquita - Taya Taya	1,000.00
VIII	Santa Lucía	990.00
IX	Cabanilla	3,100.00
X	Lampa	2,250.00
TOTAL		30,844.00

Cuadro 6: Área potencial de riego en el Sistema Integral Lagunillas

7.2.4.1. CÉDULA DE CULTIVOS

Para la determinación de la cédula de cultivos del área potencial de riego del Sistema Integral Lagunillas, se ha tenido en cuenta el patrón de cultivos existentes actualmente, tipos de suelos, vocación ganadera de producción de forrajes y pastos cultivados para la alimentación del ganado, posibilidades de producción agrícola para la comercialización (quinua) y alimentación de la población y de sus posibilidades de rentabilidad considerando la demanda del mercado y precios competitivos se ha elaborado la cédula de cultivo correspondiente, cuyo resumen se presenta en el Cuadro N° 7.

SECTOR DE RIEGO	AREA (ha)	CULTIVOS (ha)										
		Pastos Cultivados	Pastos Naturales	Cañihua	Cebada Forrajera	Avena Forrajera	Cebada grano	Habas	Avena grano	Papa Amarga	Papa Dulce	Quinua
I Yanarico	2,500.00	742.15	104.84	73.14	531.99	531.99	146.28	52.66	146.28	48.76	24.38	97.52
II Yocará - Caracoto	5,200.00	1,543.67	218.06	152.14	1,106.53	1,106.53	304.27	109.54	304.27	101.42	50.71	202.85
III Cantería	2,000.00	593.72	83.87	58.51	425.59	425.59	117.03	42.13	117.03	39.01	19.50	78.02
IV Cabanillas - Chatapujio	3,600.00	1,068.70	150.97	105.32	766.06	766.06	210.65	75.83	210.65	70.22	35.11	140.43
V Cabana	5,300.00	1,573.36	222.25	155.06	1,127.81	1,127.81	310.12	111.64	310.12	103.37	51.69	206.75
VI Vilque - Mañazo	4,904.00	1,455.80	205.65	143.48	1,043.55	1,043.55	286.95	103.30	286.95	95.65	47.83	191.30
VII Huataquita - Taya Taya	1,000.00	296.86	41.93	29.26	212.80	212.80	58.51	21.06	58.51	19.50	9.75	39.01
VIII Santa Lucía	990.00	293.89	41.52	28.96	210.67	210.67	57.93	20.85	57.93	19.31	9.65	38.62
IX Cabanilla	3,100.00	920.27	130.00	90.70	659.66	659.66	181.39	65.30	181.39	60.46	30.23	120.93
X Lampa	2,250.00	667.93	94.35	65.83	478.79	478.79	131.66	47.40	131.66	43.89	21.94	87.77
TOTAL	30,844.00	9,156.34	1,293.44	902.40	6,563.45	6,563.45	1,804.80	649.73	1,804.80	601.60	300.80	1,203.20

Cuadro 7: Cédula de cultivos proyectada del Sistema Integral Lagunillas. Fuente PELT

7.2.5. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA

Para la determinación de la demanda hídrica Agrícola, se determinó en primer lugar la evapotranspiración potencial de todos los sectores de riego utilizando el método de Penman Monteith habiéndose obtenido un valor total de ETP = 1,259.21 mm/año. Luego se determinó el valor de Kc, de la cédula de cultivos formulado en base al Manual 56 de FAO y a la experiencias del PELT. Las eficiencias de riego han sido asumidas estimando la demanda hídrica de uso agrícola en los distintos sectores de riego del Sistema Integral Lagunillas. De otro lado es necesario calcular la fracción de la lluvia total que es aprovechada por los cultivos, lo que se conoce como la Precipitación Efectiva, PE. A partir de la serie de precipitación total mensual de la estación Cabanillas y considerando un 75% de probabilidad de ocurrencia mediante el criterio empírico del Water Power Resources Service (WPRS – USA). En El Cuadro N° 8 se resume la demanda total mensual y anual por cada sector en el Sistema Integral Lagunillas, resultando una demanda total anual de 511.09 hm³/año.

Sector de Riego	Área Campaña (ha)	Meses												Demanda Total	
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Unitaria
		(hm ³ /mes)												(hm ³ /año)	(m ³ /año)
I Yanarico	2,500.00	3.96	2.01	2.25	3.45	3.32	3.09	3.03	2.52	3.04	4.83	5.71	5.81	43.04	17,214.67
II Yocará - Caracoto	5,200.00	8.53	4.34	4.84	7.44	7.16	6.66	6.52	5.43	6.55	10.41	12.30	12.52	92.71	17,829.18
III Cantería	2,000.00	3.55	1.81	2.02	3.10	2.98	2.77	2.71	2.26	2.73	4.33	5.12	5.21	38.58	19,288.85
IV Cabanillas - Chatapujo	3,600.00	4.79	2.44	2.72	4.18	4.02	3.74	3.66	3.05	3.68	5.85	6.91	7.03	52.08	14,466.63
V Cabana	5,300.00	6.65	3.39	3.78	5.80	5.59	5.20	5.09	4.23	5.11	8.12	9.60	9.76	72.32	13,645.40
VI Vilque - Mañazo	4,904.00	6.77	3.45	3.85	5.91	5.68	5.29	5.18	4.31	5.20	8.27	9.77	9.94	73.59	15,006.57
VII Huataquita - Taya Taya	1,000.00	1.53	0.78	0.87	1.33	1.28	1.19	1.17	0.97	1.17	1.86	2.20	2.24	16.58	16,583.40
VIII Santa Lucía	990.00	1.76	0.89	1.00	1.53	1.47	1.37	1.34	1.12	1.35	2.15	2.53	2.58	19.10	19,288.85
IX Cabanilla	3,100.00	5.50	2.80	3.12	4.80	4.62	4.30	4.21	3.50	4.23	6.72	7.94	8.07	59.80	19,288.85
X Lampa	2,250.00	3.99	2.03	2.27	3.48	3.35	3.12	3.05	2.54	3.07	4.88	5.76	5.86	43.40	19,288.85
TOTAL SISTEMA INTEGRAL LAGUNILLAS	30,844.00	47.02	23.93	26.71	41.03	39.48	36.73	35.97	29.93	36.12	57.42	67.84	69.02	511.19	17,190.12

Cuadro 8: Resumen de la demandan hídrica total del Sistema Integral Lagunillas. Fuente PELT

7.2.6. DEMANDA HÍDRICA TOTAL PROYECTADA

En el Cuadro N° 9 se resume la demanda hídrica total proyectada multisectorial en el Sistema Integral Lagunillas.

Demanda	Poblacional: Puno, Juliaca y Lampa		Agrícola		Ecológica		Industrial, Minero		Total	
	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
Enc	1.500	4.018	14.012	47.022	2.263	6.060	0.395	1.058	18.170	58.158
Feb	1.500	3.629	7.896	23.934	2.505	6.060	0.395	0.956	12.296	34.578
Mar	1.500	4.018	7.959	26.709	2.263	6.060	0.395	1.058	12.117	37.845
Abr	1.500	3.888	12.634	41.030	2.338	6.060	0.395	1.024	16.867	52.001
May	1.500	4.018	11.764	39.478	2.263	6.060	0.395	1.058	15.922	50.613
Jun	1.500	3.888	11.310	36.729	2.338	6.060	0.395	1.024	15.543	47.701
Jul	1.500	4.018	10.717	35.965	2.263	6.060	0.395	1.058	14.875	47.101
Ago	1.500	4.018	8.918	29.927	2.263	6.060	0.395	1.058	13.076	41.063
Sep	1.500	3.888	11.123	36.122	2.338	6.060	0.395	1.024	15.356	47.094
Oct	1.500	4.018	17.110	57.422	2.263	6.060	0.395	1.058	21.268	68.557
Nov	1.500	3.888	20.889	67.838	2.338	6.060	0.395	1.024	25.122	78.810
Dic	1.500	4.018	20.567	69.018	2.263	6.060	0.395	1.058	24.725	80.154
Media Q	1.500		12.908		2.308		0.395		17.111	
Total V		47.304		511.193		72.720		12.457		643.674
%D		7.3		79.4		11.3		1.9		100.0

Cuadro 9: Demanda Hídrica total proyectada en el Sistema Integral Lagunillas. Unidades: Q = Caudal m³/s, V = Volumen Hm³

Del Cuadro N° 9 puede decirse que la demanda hídrica total proyectada multisectorial (poblacional, ecológica, agrario, industrial y minero) en el Sistema Integral Lagunillas es 643.674 hm³/año, de los cuales el uso agrario representa el 79.40% de la demanda hídrica total del sistema.

VIII. MÉTODOLÓGIA

Las técnicas y procedimientos de análisis en el estudio se pueden diferenciar tres grandes procesos realizados (Figura4)

- Proceso de modelamiento hidrológico usando el modelo WEAP.
- Proceso de proyecciones climáticas.
- Proceso de generación de escenarios de cambio climático.

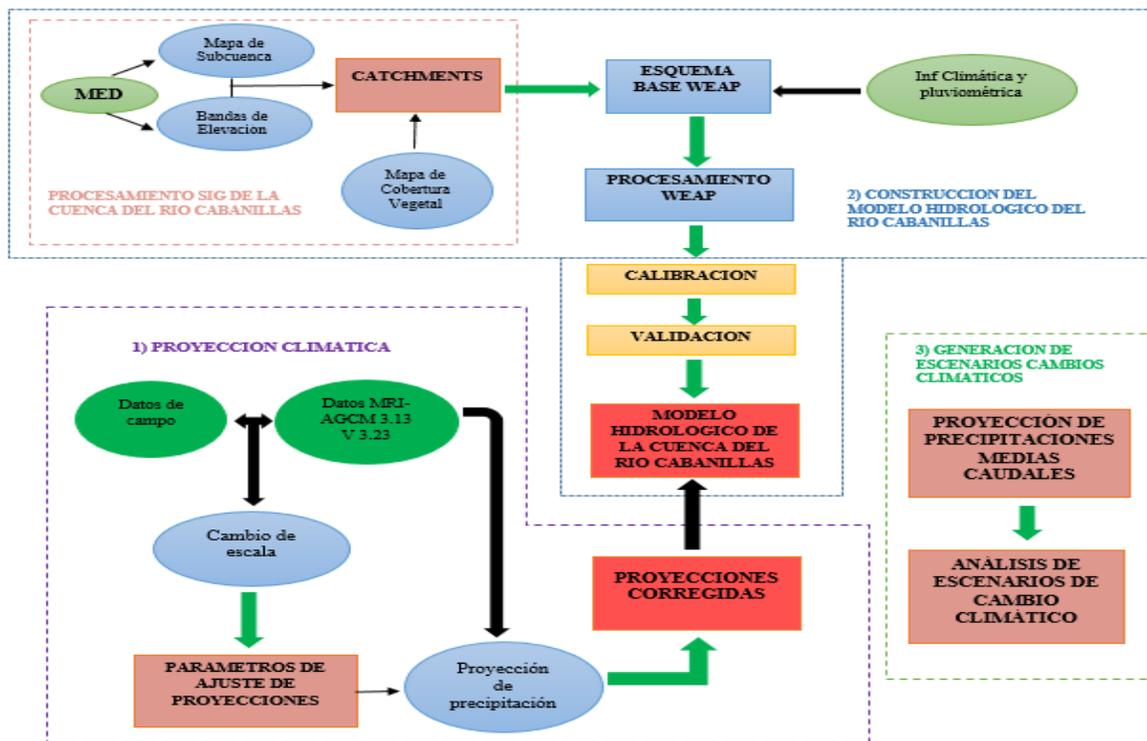


Figura 4: Esquema Metodológico usado en la Investigación

4.1. Modelamiento hidrológico WEAP

Se utilizó el sistema de modelamiento hidrológico Water Evaluation and Planning (WEAP), que posee una interfaz gráfica basada en SIG de la cuenca con el procesamiento:

Mapa de subcuencas.

Los mapas de las subcuencas se obtuvieron a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) ASTER GDEM 2 con resolución espacial de 30 m. Se agruparon en unidades más amplias, en torno a los principales ríos de la cuenca, a fin de simplificar su modelamiento hidrológico [16]. Se definieron 22 subcuencas, siendo la subcuenca del río Verde y la subcuenca del río Cerrillos las que constituyen el sistema Lagunillas.

Mapa de bandas de elevación.

El mapa de bandas de elevación se obtuvo a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) ASTER GDEM 2 con resolución espacial de 30 m. La cuenca fue dividida en bandas de elevación, reclasificando el MED de la cuenca.

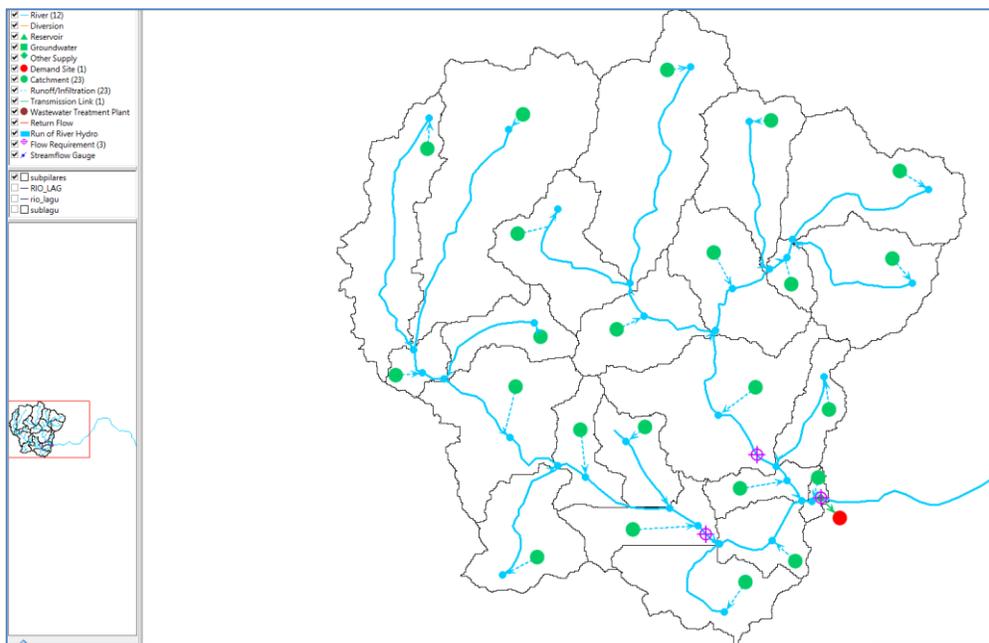


Figura5: Las 22 subcuencas y red hídrica obtenida por WEAP

Mapa de vegetación y uso de la tierra.

La información de la cobertura vegetal de la cuenca elaborada para el Proyecto Especial Lago Titicaca [17], fue agrupada de acuerdo con criterios de clasificación de tipos de cobertura más representativa, lo cual permitió simplificar el desarrollo del modelo [16]. Intersectando los mapas de subcuencas y de bandas de elevación, la cuenca quedó dividida en 22 áreas

(porciones), como se aprecia en la Figura 5. Las áreas y perímetros de cada una de estas porciones están dadas en la Tabla 3. Luego se calcularon las áreas de cada porción y se creó el esquema base dentro de modelo WEAP.

4.2. Proyecciones climáticas

Se utilizó las proyecciones climáticas como punto de partida para definir escenarios climáticos. De la información sobre los modelos de escenarios obtenida para Puno [18], se utilizó el modelo de mejor comportamiento; es decir el HadGEM-ES de precipitación para la región Puno; obteniéndose de ese modo información con las coordenadas para cada una de las grillas para el periodo 2005–2009, como se muestra en la Figura 6 [15].

SUBCUENCA	GridID	ESTE	NORTE	AREA	PERIMETRO
SC0	1696	954672.157	8291815.579	185.823	89.134
SC1	1710	941037.896	8289040.933	233.195	112.854
SC2	1729	932181.948	8283841.404	116.748	90.988
SC3	1731	973255.549	8288186.871	123.418	69.306
SC4	1735	963096.639	8290146.752	87.765	60.967
SC5	1754	966762.250	8280445.136	17.299	23.349
SC6	1757	946749.127	8282421.605	85.266	59.855
SC7	1763	961558.488	8279930.007	86.803	58.558
SC8	1765	973211.974	8280026.591	94.160	54.481
SC9	1776	953700.569	8276035.830	70.929	51.516
SC10	1785	960418.510	8269465.710	149.997	83.760
SC11	1793	942365.718	8275454.560	45.750	50.219
SC12	1804	934531.761	8272738.400	20.930	28.353
SC13	1821	941576.129	8267991.822	115.975	71.345
SC14	1822	968705.316	8268805.048	38.736	43.733
SC15	1824	948801.989	8264992.424	43.097	54.481
SC16	1828	943733.373	8257929.692	75.127	53.184
SC17	1829	963873.744	8262020.248	26.416	36.877
SC18	1833	968774.481	8261104.000	6.473	16.122
SC19	1837	964465.398	8257789.139	41.569	38.359
SC20	1838	953254.842	8264724.936	44.762	41.510
SC21	1841	954048.696	8258811.756	52.163	50.590
SC22	1854	958999.475	8253509.501	79.901	58.373
TOTAL				1842.300	

Tabla 3: Áreas y perímetros de subcuencas del modelo dadas en la Figura 5

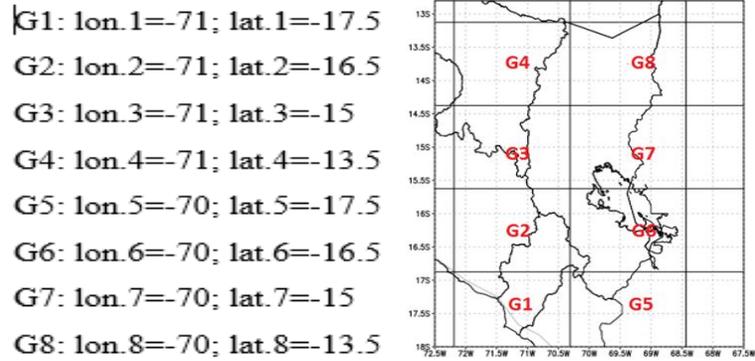


Figura 6: Coordenadas para cada punto de grillas

Como se ha mencionado, los modelos utilizados para los escenarios son de Circulación General (MCG) regionalizados provenientes de tres (3) modelos globales (CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y 2 escenarios de emisión (un escenario intermedio: RCP 4.5; y un escenario pesimista: RCP 8.5), con un total de seis (6) escenarios posibles, basados en lo indicado en la referencia [19]. En laTabla4 se dan los escenarios climáticos para los periodos presente, histórico y futuro.

Escenarios Climáticos	Periodo	Código
Data presente (observada)	Histórico 1956 - 2016	DP
MPI-ESM-MR - RCP4.5	Futuro Cercano y Lejano 2011 - 2099	MPI 4.5
MPI-ESM-MR - RCP8.5		MPI 8.5
CANESM2 - RCP4.5		CAN 4.5
CANESM2 - RCP8.5		CAN 8.5
CNRM-CM5 - RCP4.5		CNR 4.5
CNRM-CM5 - RCP8.5		CNR 8.5

Tabla 4: Escenarios climáticos para los periodos presente, histórico y futuro

La evaluación del cambio climático en la hidrología de la cuenca del río Cerrillos y río Verde se realiza comparando los resultados calculados de los escenarios futuros con el escenario histórico por medio del modelo WEAP.

4.3. Proceso de generación de escenarios

Para el modelamiento del sistema se consideraron las siguientes variaciones

- Bajo condiciones reales con información histórica y
- Bajo influencia del cambio climático.

Se asumieron, además, tres (3) escenarios de operación del almacenamiento y demandas

- Funcionando solo con almacenamiento de la Presa Lagunillas;
- Funcionando con trasvasamiento de las aguas del río Verde a la Presa de Lagunillas; y
- Funcionando con almacenamiento de la Presa de Lagunillas; y almacenamiento en la Presa del río Verde.

En la Figura 4 se presenta un resumen del esquema metodológico usado en la investigación, diferenciándose los tres grandes procesos realizados.

8.1.1. DETERMINACIÓN DE LOS CATCHMENTS

Son unidades hidrológicas espacialmente uniformes respecto a sus características topográficas y climatológicas, sobre las cuales WEAP aplica las rutinas para estimar evapotranspiración, infiltración, escorrentía superficial, flujo horizontal entre capas, y flujo base (SEI, 2007). En WEAP, los procesos de precipitación-escorrentía son simulados, dividiendo primero una cuenca en subcuencas, las cuales son las áreas contribuyentes sobre los puntos de mediciones de caudales o puntos de calibración general. A su vez, el área de cada subcuenca, sobre su punto de calibración, es dividida en 'i' bandas de elevación. Así, cada subcuenca/banda de elevación es representada como un único objeto *catchment* en WEAP. Adicionalmente, los *catchments* pueden ser subdivididos de acuerdo a su cobertura vegetal, a fin de lograr una representación más detallada de los procesos hidrológicos de la cuenca (Purkey et al, 2008; Vergara et al., 2011; SEI, 2007; SEI, 2009).

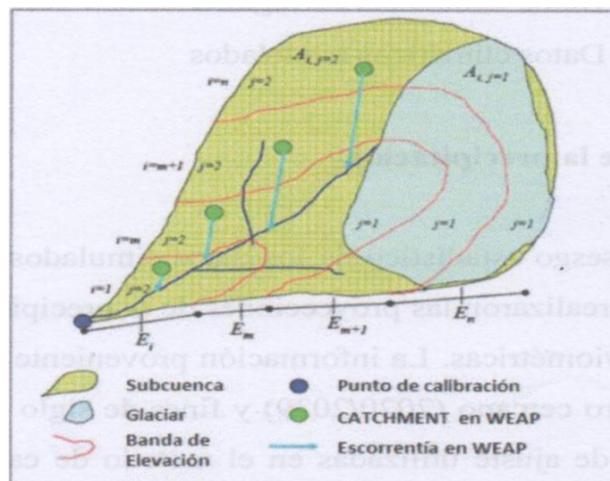


Figura 23: Elementos básicos de modelamiento hidrológico en WEAP. Fuente: Purkey et al. (2008)

Crear los *catchments* exigió la obtención los mapas de subcuencas y bandas de elevación a partir del Modelo Digital de Elevación (MED) de la cuenca (Vergara et al., 2011).

- **Parámetros del metodo humedad del suelo.**

Área	Área de tierra para el tipo de cobertura vegetal dentro del catchment.
Kc	Coefficiente de cultivo, relativo al cultivo referencial, para un tipo de tierra.
Capacidad de agua en el suelo (SWC).	Capacidad de retención de agua en la capa superior del suelo rango de 0 - 1000 (mm).
Capacidad de agua profunda (DWC)	El agua efectiva manteniendo la capacidad de la capa superficial de suelo. Es un valor singular para el catchment y no varía según el tipo de uso de suelo. Es ignorado si el sitio de la demanda tiene un vínculo de caudal de retorno hacia un nudo de agua subterránea. (mm).
Conductividad profunda (DC).	La tasa de conductividad (longitud/tiempo) de la capa profunda saturada (cuando hay un almacenaje relativo, Z2=1) que controla la transmisión del caudal base. Es un valor singular para el catchment y no varía según el tipo de uso. El caudal base se incrementará si este parámetro incrementa.
Factor de resistencia a la escorrentía. (RRF)	Usado para controlar la respuesta del escurrimiento superficial. El escurrimiento y tendera a disminuir cuando el valor de LAI (Rango de 0.1 - 10) se incrementa. Este parámetro puede variar con el tipo de suelo.
Conductividad en la zona de la raíz. (RZC)	Taza de conductividad en la zona de la raíz a la saturación (cuando hay un almacenaje relativo Z1=1), que sería repartida acordando con la dirección de flujo preferente, entre caudal poco profundo y caudal hacia la capa profunda de suelo. Esta tasa puede variar entre los tipos de uso.
Dirección de flujo preferente (PFD).	1=100% horizontal, y 0=100% vertical; usado para repartir el caudal fuera de la capa de la zona de la raíz entre caudal poco profundo y caudal hacia la capa profunda de suelo o agua subterránea. Este valor puede variar entre los tipos de uso.
Z1 inicial	El valor de Z1 inicial al comienzo de la simulación. Es el almacenaje relativo dado como porcentaje del almacenaje total efectivo de la capacidad de agua en la zona de la raíz.
Z2 inicial	El valor de Z2 inicial al comienzo de la simulación. Es el almacenaje relativo dado como porcentaje del almacenaje total efectivo de la capacidad de agua profunda. Este parámetro es ignorado si el sitio de la demanda tiene un vínculo de escurrimiento infiltración al nudo de agua subterránea. Esta tasa no puede variar entre los tipos de suelos.

Cuadro 10: Parámetros de Uso de Suelo Fuente: Manual WEAP.

Para la modelación de la cuenca del río Cabanillas se escogió el cuarto método, modelo de humedad de suelo, que a continuación detallaremos algunos de los parámetros requeridos. Para un mejor entendimiento se muestra el modelo de los baldes usado por el WEAP.

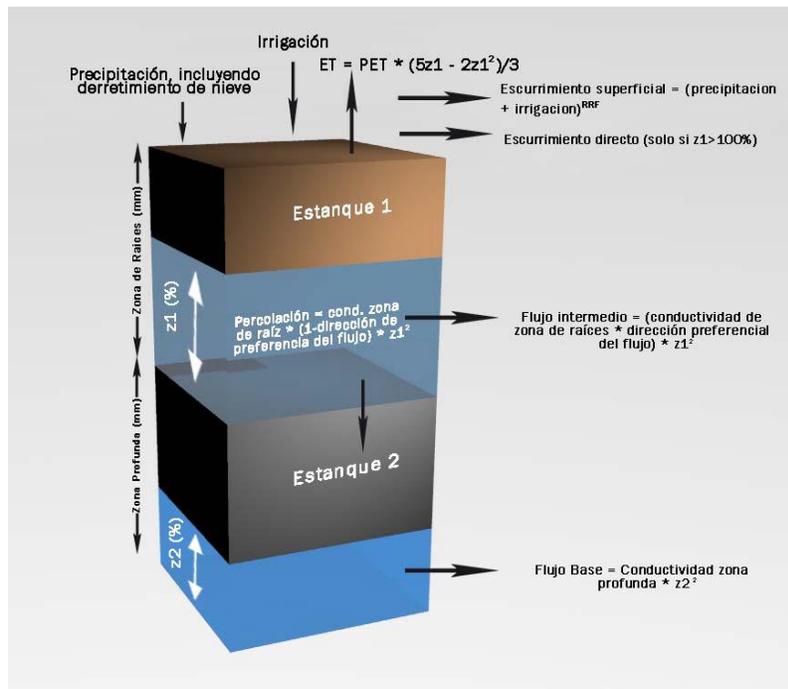


Figura 24: Diagrama Conceptual y Ecuaciones Incorporadas al Modelo de Estanques Fuente: Manual WEAP

Precipitación	Series de precipitación mensual, que pueden ser Leídas de un archivo o ingresadas manualmente.
Temperatura	La media temperatura de los valores máximos y mínimos a nivel mensual.
Humedad	Promedio mensual de la humedad relativa.
Viento	Promedio mensual de la velocidad del viento.
Punto de fusión	Agua líquida al comienzo del punto de fusión de la nieve.
Punto de congelación	Agua solida al comienzo de la acumulación de la nieve.
Latitud	Latitud en grados.
Nieve inicial	Valor inicial para acumulación de nieve en el comienzo del primer mes de simulación.

Cuadro 11: Parámetro de Clima Fuente: Manual WEAP.

8.2. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO

Para la determinación de la oferta hídrica de la cuenca se ha determinado el método de la humedad del suelo, método en el que se realizó la calibración y validación de nuestro modelo.

- **Calibración.** - la calibración del modelo es un proceso de estimación de los parámetros del modelo por comparación de las salidas del modelo (para una determinada condición) con la información observada para la misma condición.
- **Validación.** - la validación del modelo consiste en ejecutar el modelo usando los parámetros calibrados (o medidos) y comparar con los registros del mismo periodo de tiempo.

La calibración y validación por el método de la humedad del suelo está determinada por la siguiente ecuación dividida en dos reservorios, baldes, o estanques como se muestra en el gráfico N° 25. De acuerdo a Yates D. et al. (2005), el sistema de modelación hidrológica WEAP computa el balance hídrico en cada una de las j de N áreas fraccionales en la que es dividido cada catchment por su tipo de cobertura, las cuales son denominadas sub catchments, donde el clima es asumido uniforme. A su vez, cada sub catchment de la cuenca se divide en dos los almacenamientos o “baldes” en los que se aplican las siguientes ecuaciones de balance de masa.

La ecuación de balance hídrico aplicada por WEAP en el “balde” o almacenamiento superior es la siguiente:

$$SW_j \frac{dZ_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t) K_{c,j}(t) \left(\frac{5Z_{1,j} - 2Z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t) Z_{1,j} \frac{LAI_j}{2} - f_j k_j Z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_j Z_{1,j}^2$$

Donde, $Z_{1,j}^2$ representa el almacenamiento relativo del suelo 8dimensional, entre 0 y 1); SW_j es la capacidad de retención del suelo (mm); P_e es la precipitación efectiva computada por el modelo (mm); PET es el valor de la evapotranspiración de referencia obtenida por el método de Penman-Montieth (mm/día); $K_{c,j}$ es el coeficiente del cultivo para cada tipo de cobertura (adimensional), el cual es también llamado factor de resistencia a la escorrentía RRF; k_j es la conductividad del almacenamiento superior (mm/tiempo) y f_j es un parámetro de ajuste adimensional relacionado al suelo, tipo de cobertura y topografía, que divide el agua horizontal (f_j) o verticalmente ($1 - f_j$), denominado dirección preferencial de flujo. En lo que respecta al

balance de masa del almacenamiento o “balde” inferior, este vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$Dw \frac{dZ_{2,j}}{DT} = (1 - f_j)k_j Z_{1,j}^2 - k_2 Z_{2,j}^2$$

Donde k_2 representa la conductividad de la zona profunda (mm/tiempo), mientras Dw es la capacidad de almacenamiento de agua la zona profunda (mm) y $Z_{2,j}$ representa el almacenamiento relativo en la zona profunda (adimensional, entre 0 y 1).

Así para que WEAP compute estas ecuaciones, fue necesario asignar y ajustar manualmente los 9 parámetros de las ecuaciones mencionadas: coeficiente de cultivo ($k_{c,j}$); capacidad de retención del suelo (Sw_j); capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (Dw); índice de área de hoja y tallo (LAI o RRF); conductividad del almacenamiento superior (k_j); dirección preferencial del flujo (f_j); nivel inicial de humedad en la zona de raíces y la zona profunda ($Z_{1,j}$; $Z_{2,j}$) y la conductividad de la zona profunda (k_2).

8.2.1. CALIBRACIÓN

El periodo de calibración abarcó un periodo de años, entre Enero de 1956 y Diciembre de 2006. Luego del ajuste de los parámetros del método se realizaron comparaciones entre las series de datos de precipitaciones observados y simulados en un punto específico del modelo. Las funciones objetivo empleadas, pruebas estadísticas y los criterios asociados a estas, se mencionan a continuación:

a) **Bias normalizado (NBI)**

Un menor porcentaje de bias revelará una mejor correspondencia entre datos observados y simulados. Un bias positivo indicará sobreestimación y uno negativo subestimación de caudales. En general, un valor de NBI menor al 15 por ciento denotará un ajuste satisfactorio (Moriassi et al., 2007)

$$NBI = \frac{100}{Q_o} (\overline{Q_s} - \overline{Q_o})$$

Bias: Mide el promedio de la tendencia de los resultados simulados, puede ser pequeño o grandes respecto a los datos observados, cero indica el valor optimo, valores cercanos a cero indican un modelo exacto, valores negativos del modelo sub estima, valores positivos mayores que 0.5 el modelo sobre estima.

b) Error Cuadrático Medio Normalizado (RMSE)

Se deberá procurar obtener el menor valor posible de este indicador. Debido a su forma cuadrática, este criterio será más sensitivo a grandes errores).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_s(i) - Q_o(i))^2}{n}}$$

RMSE: permite conocer el error en las unidades de las variables de interés, esto ayuda el análisis de los resultados, el valor de cero indica un buen ajuste, mayores a 0.5 indica un sobrevalorado.

c) Coeficiente de Eficiencia O de Nash-Sutcliffe (NSE)

Entre más cerca de 1, mejor será la correspondencia entre datos observados y simulados. De acuerdo al criterio de Molnar P. (2011), valores de $0.6 < NSE < 0.8$ son catalogados como muy buenos, mientras que $NSE > 0.8$, son considerados excelentes.

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_s(i) - Q_o(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_s(i) - \bar{Q}_o)^2}$$

NASH: es una estadística normalizada para determinar la magnitud de la varianza del residuo, comparado con la varianza de los datos observados, uno (1) es el valor óptimo.

d) Coeficiente de Determinación (R^2)

Un valor más cercano a 1 revelará un menor ajuste entre los datos observados y simulados. En general, valores de $R^2 > 0.5$ son considerados como aceptables (Moriassi et al., 2007).

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_o(i) - \bar{Q}_o) (Q_s(i) - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o(i) - \bar{Q}_o)^2 \sum_{i=1}^n (Q_s(i) - \bar{Q}_s)^2}$$

Dónde, para todas las expresiones anteriores, $Q_O(i)$ y $Q_S(i)$ son la descarga observada y simulada para el intervalo de tiempo i ; mientras que n representa el número de observaciones y $\overline{Q_O}$ y $\overline{Q_S}$ son las descargas medias para las n observaciones y simulaciones. Este valor nos indicará que porcentaje de la variación de los caudales observados son explicados por el modelo (Cáceres C. et al., 1999).

e) Pruebas estadísticas F de Fisher y T de Student

El coeficiente de Pearson tiene el inconveniente que es un estadístico pobre para decidir si la correlación observada es estadísticamente significativa (Barrera A., 2004). Las pruebas de significancia estadística F de Fisher y T de Student, permitirán comprara las medias y varianzas de los caudales simulados y observados, a través de la aceptación o rechazo de una hipótesis nula (H_0), con un nivel de significación igual a α (Mejía, 2006).

Prueba de medias (T de Student)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2; H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)$$

$$S_p = \left(\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2} \right)^{1/2}$$

$$T_c = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{S_d}$$

Donde μ_1 y μ_2 son medias poblacionales; S_1 y S_2 son las desviaciones estándares muestrales; n_1 y n_2 son las cantidades de elementos en cada muestra; S_d es la desviación estándar de los promedios; S_p es la desviación estándar ponderada; T_c es un estadístico calculado y T_t es el valor tabulado de la distribución "T" con nivel de significación $\alpha = 0.05$ y grados de libertad G.L. = n_1+n_2-2 .

Entonces que: Si $|T_c| < T_t$ (95%), se aprueba H_0

$|T_c| > T_t$ (95%), se rechaza H_0

Prueba de varianzas (F de Fisher)

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2; H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \text{ Si } S_1^2 > S_2^2$$

Donde, σ_1^2 y σ_2^2 son las varianzas poblacionales; S1 y S2 son las desviaciones estándares muestrales; n1 y n2 son las cantidades de elementos en cada muestra; Fc es un estadístico calculado y Ft es el valor tabulado de la distribución “F”, con nivel de significación $\alpha=0.5$ y grados de libertad G.L. n1 – 1 y n2 -1

Entonces tenemos que:

Si $|Fc| < Ft$ (95%), se aprueba H_0

$|Fc| > Ft$ (95%), se rechaza H_0

8.3. EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA OFERTA HÍDRICA

La proyección de caudales medios mensuales, para el futuro para a fines de siglo (2005/2099), demandó incorporar al modelo hidrológico, ya calibrado y validado, las proyecciones de precipitaciones por el cambio de escala paramétrico. Asimismo, en dichas proyecciones se consideraron los cambios de temperatura correspondientes al escenario climático (ver cuadro N° 4). A fin de comprender el efecto del cambio climático en la disponibilidad hídrica natural del río Cabanillas se realizó un análisis de las evoluciones de los caudales a nivel mensual y estacional (periodos húmedos y secos) en la cuenca natural del río Cabanillas, para lo cual se emplearon gráficos y estadísticas que permitiesen examinar las variaciones entre los datos observados y proyectados, como curvas de duración de caudales mensuales, diagramas de cajas y análisis de caudales generados en distintos percentiles.

8.3.1. PROYECCIÓN CLIMÁTICA

El presente estudio considera la proyección de dos escenarios (RCP 4.5 y RCP 8.5) usando tres MCG (MPI-ESM-MR, CANESM2 y CNRM-CM5), por lo cual, se consiguieron en total seis proyecciones posibles indicados en el Cuadro 8 para presentar resultados de un total de seis escenarios proyectados.

Modelo	Instituto	Resolución	Escenario	Escenarios proyectados
MPI-ESM-MR	MPI	1.8° × 1.8°	RCP 4.5	MPI-ESM-MR - RCP 4.5
			RCP 8.5	MPI-ESM-MR - RCP 8.5
CanESM2	CCCMA	2.8° × 2.8°	RCP 4.5	CANESM2 - RCP 4.5
			RCP 8.5	CANESM2 - RCP 8.5
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS	1.4° × 1.4°	RCP 4.5	CNRM-CM5 - RCP 4.5
			RCP 8.5	CNRM-CM5 - RCP 8.5

Cuadro N° 12: Modelos de circulación general atmosférica (MCG). Fuente SENAMHI, 2015

Los tres modelos utilizados han sido estudiados y puestos en evaluación por SENAMHI en el Perú, considerando la nueva generación de proyecciones climáticas que se encuentra disponible en el Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5); estos incorporan componentes adicionales que describen la interacción de la atmósfera con el uso del suelo, la vegetación, los aerosoles y el ciclo del carbono; además, su aplicación en el Perú dio buenos resultados en la zona sur del Perú (SENAMHI, 2014). Los MCG que se encuentran disponibles en el CMIP5 se presentan en el Cuadro 13.

MCG	Instituto	Resolución	Referencia
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis	2.8° × 2.8°	Chylek <i>et al.</i> (2011)
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	1.4° × 1.4°	Voltaire <i>et al.</i> (2011)
GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Lab, USA	2.5° × 2°	Dunne <i>et al.</i> (2012)
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace, France	1.5° × 1.27°	Dufresne <i>et al.</i> (submitted)
MIROC-ESM	Japan Agency for Marine-Earth Science & Technol.	2.8° × 2.8°	Watanabe <i>et al.</i> (2011)
MPI-ESM-MR	Max-Planck Institute, Germany	1.8° × 1.8°	Raddatz <i>et al.</i> (2007); Jungclaus <i>et al.</i> (2010)

Cuadro N° 13: Modelos de circulación general incluidos dentro del proyecto CMIP5. Fuente: SENAMHI (2014)

Por su parte, la evaluación del RCP 4.5 se nos representará un escenario de estabilización donde el forzamiento radiactivo total de estabilizará antes del 2100 por el empleo de una serie de tecnologías y estrategias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero,

mientras que la evaluación del RCP 8.5 se caracterizará por el aumento sin control de las emisiones de gases de efecto invernadero a través del tiempo (SENAMHI, 2014).

Un escenario climático futuro es una representación plausible que indica cómo posiblemente se comportará el clima en una región en una cierta cantidad de años, tomando en cuenta datos históricos y usando modelos climáticos de proyección (IPCC, 2013). Para un mejor análisis de los efectos del cambio climático en la oferta de agua, los escenarios proyectados se evaluaron comparando con información real o histórico desde enero del 1956 hasta diciembre del 2016 y el futuro con periodo proyectado desde enero del 2011 hasta diciembre del 2099.

Es preciso mencionar que las proyecciones resultantes no son una declaración férrea de lo que va a ocurrir en el intervalo de años futuros evaluados, sino que pretende dar una idea de las condiciones que podrían presentarse dentro de la cuenca del Río Cabanillas para efecto de toma de decisiones rápidas en referencia al contexto del cambio climático por parte de los actores principales de la cuenca.

Para la proyección de caudales futuros, se simuló el modelo distribuido WEAP con los parámetros calibrados; para ello se generó los mapas precipitación mensual y temperatura las cuales se proyectaron desde el año enero de 2011 hasta el diciembre de 2099.

Para poder analizar los efectos del cambio climático en la oferta hídrica de la cuenca del río Cabanillas, se procedió a analizar los caudales a nivel mensual utilizando diferentes herramientas gráficas y estadística, que nos ayudaran a examinar las variaciones entre los caudales observados y los proyectados.

8.4. OPTIMIZACION: REGLAS DE OPERACIÓN

Para la operación de embalses es necesario normar el criterio en la toma de decisiones para mejorar la eficiencia del uso del agua, por lo tanto en la operación de embalses resulta imprescindible establecer una política de operación que permita satisfacer lo mejor posible las demandas planeadas para los usuarios.

La regla de operación consiste de una política de operación óptima de determinar las entregas óptimas a realizar por los embalses en cada periodo de tiempo, en entregar el recurso hídrico de acuerdo a la cantidad disponible, estableciendo tres estados de decisión, conforme se muestra en la Figura , que relaciona los diferentes parámetros del sistema.

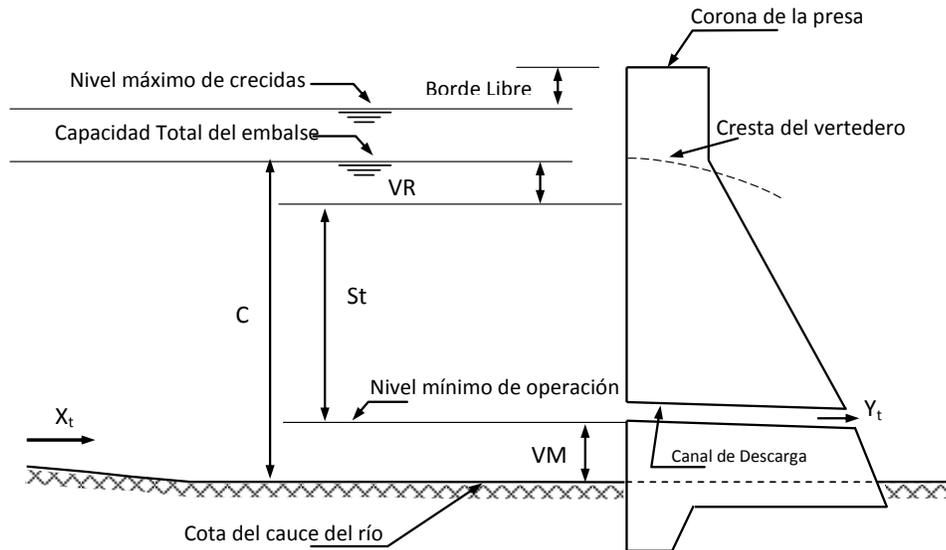


Figura 25: Esquema del embalse

Donde:

- C = Volumen total (capacidad de embalse).
- St = Volumen útil.
- VR = Volumen de reserva para pérdidas por evaporación e infiltración.
- VM = Volumen muerto.
- X_t = Entradas al embalse.
- Y_t = Salidas del embalse (demanda total del proyecto D).

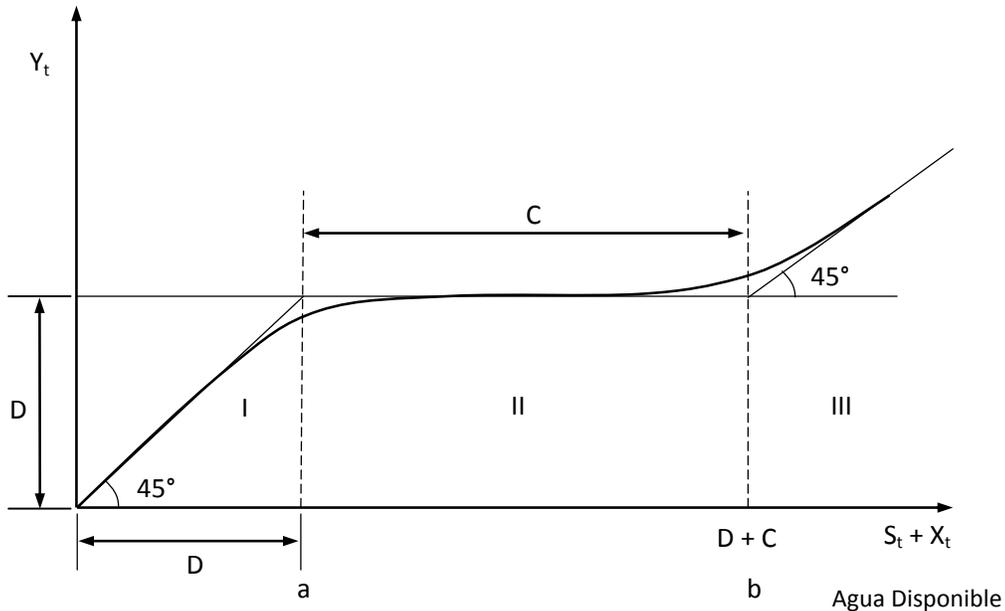


Figura 26: Relación entre los diferentes parámetros del sistema en la regla de operación normal

Donde:

C = capacidad de embalse.

$Y_t = D$ = demanda total del proyecto.

$S_t + X_t$ = agua disponible en el tiempo t .

Agua disponible $\leq D$

8.4.1. MODELOS DE SIMULACIÓN EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

La simulación del funcionamiento de los vasos de almacenamiento aplicando las reglas de operación propuestas, muestra que además de incrementarse la eficiencia del uso del agua en los vasos, se mantienen de manera más uniforme los niveles de volumen almacenado en las presas.

La modelación matemática ha sido la herramienta más poderosa para obtener políticas de operación óptima de embalses creando modelos matemáticos de simulación y optimización (Teixeira and Marino 2002). El modelo puede incluir el cómputo de diversos índices de “efectividad” como salidas o resultados. La principal diferencia en Modelos de Optimización, es que éstos incluyen algún algoritmo de mejoramiento de algún índice de efectividad para encontrar un “óptimo” Modelos de Optimización que se usan en Ingeniería de Recursos

Hídricos, Programación Lineal, Programación No Lineal, Programación Dinámica y Teoría de Decisiones.

8.4.1.1. MODELO HEC-RESPRM

El Hydrologic Engineering Center Prescriptive Reservoir Model (HEC-ResPRM) (Carl 2003) tiene implementado un modelo de optimización para la operación de embalses que minimiza el costo de una red de flujo formada por nodos y arcos, sujeto a restricciones de flujo y almacenamiento (O'Connell and Harou 2011). Este modelo utiliza Programación Lineal (PL) para resolver el problema de optimización de redes de flujos. El algoritmo implementado en HEC-ResPRM concibe el conjunto embalses-usuarios como un sistema de arcos y nodos. Los arcos son elementos de transporte y representan obras de conducción que transportan flujos (entregas) desde un nodo a otro. Los nodos conectan a los arcos en su inicio y final y representan embalses, puntos de conexión, confluencias y bifurcaciones. En los nodos el flujo puede entrar o salir o ambos inclusive. Los arcos y nodos admiten restricciones de contornos superiores e inferiores, entiéndase flujos y almacenamientos, máximos y mínimos.

A continuación, se presenta de forma muy resumida el modelo matemático del algoritmo de la red de flujo implementado en el modelo HEC-ResPRM. Para más detalles se recomienda consultar Carl (2003) y (Hsu and Cheng 2002). El problema de optimización representado por una red de flujo con costos asociados al flujo y al almacenamiento puede ser descrito como:
Minimizar:

$$Fobj = \sum_{k=1}^m c_k \cdot f_k \quad (1)$$

Sujeto a las restricciones:

$$\sum_{k \in M_n} f_k - \sum_{k \in M_T} a_k \cdot f_k = 0 \quad (2)$$

$$l_k \leq f_k \leq u_k \quad (3)$$

donde:

m : número total de arcos en la red.

c_k : costo unitario del flujo a través del arco k .

f_k : flujo a través del arco k .

M_T : Conjunto de todos los arcos que se originan en el nodo

M_o : Conjunto de todos los arcos que terminan en el nodo

a_k : multiplicador del arco k .

l_k : límite inferior de flujo a través del arco k .

u_k : límite superior de flujo a través del arco k .

La ecuación (1) representa la función objetivo del modelo de optimización de la red de flujo, la que minimiza el costo de la red de flujo. Las ecuaciones (2) y (3) son restricciones del modelo, la ecuación (2) representa la ecuación de continuidad en cada nodo de la red de flujo y la ecuación (3) representa las restricciones de flujos máximos y mínimos en cada arco.

8.4.1.2. MODELO WEAP DE REGLAS DE OPERACIÓN EN EMBALSES

Embalses de almacenamiento con niveles por debajo de la parte superior de la piscina de conservación son tratados como sitios de demanda de manera que no se vacíen WEAP ellos a menos de satisfacer las demandas de aguas abajo, y para tratar de llenarlos cuando hay agua superficial excedente. Cuando existen varios depósitos con la misma prioridad de la demanda, WEAP va a tratar de llenarlos hasta mismo nivel (como% de la parte superior de la piscina de conservación), al igual que tratará de satisfacer la demanda de los sitios al mismo porcentaje de su demanda.

8.4.1.2.1. FORMULACIÓN PARA LP

Un programa lineal (LP) se utiliza para maximizar la satisfacción de los requisitos para sitios de demanda, flujos propio caudal especificados por el usuario y la energía hidráulica, sujeto a exigir prioridades, las preferencias de suministro, balance de masa y otras limitaciones. El LP resuelve

todas las ecuaciones simultáneas mencionadas anteriormente. WEAP utiliza un programa lineal de código abierto llamado solucionador lp solve. El programa y su documentación se pueden encontrar en línea.

8.4.1.2.2. FUNCIÓN OBJETIVO E ITERACIONES

WEAP se esfuerza por maximizar la oferta de sitios demanda, sujeto a todas las limitaciones y las prioridades de sitios de demanda de agua se asignan en función de las prioridades y preferencias de la demanda de suministro. itera WEAP para cada prioridad y preferencia, de modo que las demandas con prioridad 1 se asignan agua antes de aquellos con prioridad 2. Así, la LP se resuelve al menos una vez para cada prioridad para cada paso de tiempo.

Cuando la solución para la prioridad 1, WEAP será desactivar temporalmente (en los LP) asignaciones a las demandas con prioridad 2 e inferior. Entonces, después de prioridad se han realizado 1 asignaciones, prioridad 2 demandas están encendidos (pero 3 e inferior todavía están apagados). Debido a que el objetivo es maximizar la tasa de cobertura de todos los sitios de demanda, la función objetivo maximiza

- **Cobertura Final.**

En los casos donde no hay agua suficiente para satisfacer todas las demandas con la misma prioridad, WEAP trata de satisfacer todas las demandas con el mismo porcentaje de su demanda. (Las limitaciones de cobertura, como se describió anteriormente, que así sea.).

- **Los cálculos de costes**

Para cada elemento individual (tal como nodos de demanda, enlaces de transmisión, plantas de tratamiento y embalses), los costos se pueden introducir como capital, operativo fijo, y los costos de operación variables. Operativos y de capital fijo costos se introducen como una corriente coste anual (costos de capital suelen utilizar el Pago de préstamo función), mientras que se introducen los costes operativos fijos como un costo por unidad de agua (por ejemplo, entregado, bombeado, liberada o tratada).

Costo item = Costo capital í. + Fixed Operating Cost í. + Variable Operating Cost í.

Variable Operating Cost item = Variable Cost Rate í. * Fluir í. donde Capital Cost y Fixed Operating Cost son datos. anual de capital y costos operativos fijos se reparten de manera uniforme sobre los pasos de tiempo del año para obtener un costo por el paso del tiempo.

- **Beneficios**

Los beneficios también se pueden introducir para cada elemento individual, tanto como fija (anual) y variables (por caudal unitario).

Beneficio item = Fixed Benefit í. + Variable Benefit í.

Variable Benefit item = Variable Benefit Rate í. * Fluir í. donde es Fixed Benefit datos.

Beneficios anuales se distribuyen de manera uniforme sobre los pasos de tiempo del año para obtener un beneficio por cada paso de tiempo.

- **Los costes del sistema y Beneficios**

Además de los costos y beneficios detallados, capital del sistema sin categoría general y los costos de operación y los beneficios se pueden introducir en su conjunto.

- **Costo Neto**

El costo neto es el costo total, neto de cualquier beneficio.

Costo neto = System Cost + Coste í. – System Benefit - Beneficio í.

- **Valor Actual Neto (VAN)**

El valor actual neto de los futuros gastos de capital y costos de operación, neto de cualquier beneficio. El VPN es la suma de la red de cálculo del valor actual de los costes netos para cada uno de los años futuros modelado en el escenario. VAN es el flujo futuro de beneficios y costos convertidas en valores equivalentes en la actualidad. Esto se hace mediante el descuento de los beneficios y costes futuros utilizando una tasa de descuento apropiada, y restando la suma total de beneficios reducidos de la suma total de los costos reducidos. La tasa de descuento se especifica en la opción del menú general, las unidades, Monetaria.

$$VAN = [\text{Costo neto Año} / ((1 + \text{DiscountRate})^{(\text{Año} - \text{año base}))}]$$

- **Costo promedio de agua**

El costo promedio del agua es el coste total neto por unidad de agua suministrada a todos los sitio de la demanda.

$$\text{Average Cost} = \text{Net Cost} / \text{Demand Site Inflow DS}$$

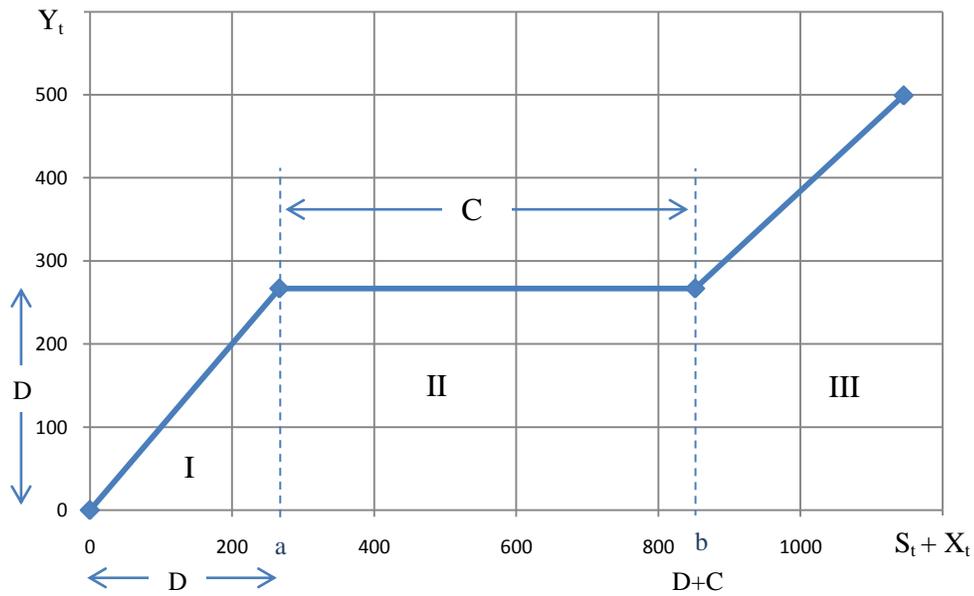


Figura 27: Regla de operación normal

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados principales se centran en la evaluación de la información histórica y de los seis escenarios hidrológicos con efecto de Cambio Climático, proyectados en las estaciones pluviométricas para dos periodos de tiempo continuos, para información histórica desde enero de 1956 a diciembre de 2016; y Futuro desde enero de 2011 a diciembre de 2099.

9.1. APLICACION DEL MODELO WEAP.

Debido a no tener registros de datos históricos de caudales, es que se recurre a los modelos hidrológicos, en este caso se hará uso del modelo hidrológico WEAP, para la determinación de la oferta hídrica de la sub cuenca.

En este modelo utilizaremos las siguientes características físicas de la cuenca:

- Área
- Latitud
- Mapa de cobertura vegetal
- Datos climáticos:
 - Precipitación media mensual.
 - Temperatura media mensual.
 - Humedad relativa.
 - Velocidad del viento.
 -

Nota: Toda esta información climatológica fue obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e hidrología SENAMHI – PUNO, y el mapa de cobertura vegetal fue proporcionado la Gerencia Regional de Recurso Naturales y Gestión del medio Ambiente, proyecto: “desarrollo de capacidades para el ordenamiento territorial de la región PUNO”.

El Software Hidrológico WEAP (Water Evaluation And Planning) que es una herramienta computacional comercial que provee un enfoque integral a la planificación de los recursos hídricos.

9.1.1. MAPA DE SUBCUENCAS

El mapa de subcuencas se obtuvo a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) ASTER GDEM 2 con resolución espacial de 30 m. Durante el proceso de delimitación inicial, se obtuvieron numerosas subcuencas, las cuales fueron agrupadas en unidades más amplias, en torno a los principales ríos de la cuenca, a fin de simplificar su modelamiento hidrológico (SEI, 2009). Se definieron 22 subcuencas, siendo las subcuencas del río Verde y la subcuenca del río Cerrillos (Lagunillas) las más importantes de la Cuenca del Río Cabanillas.

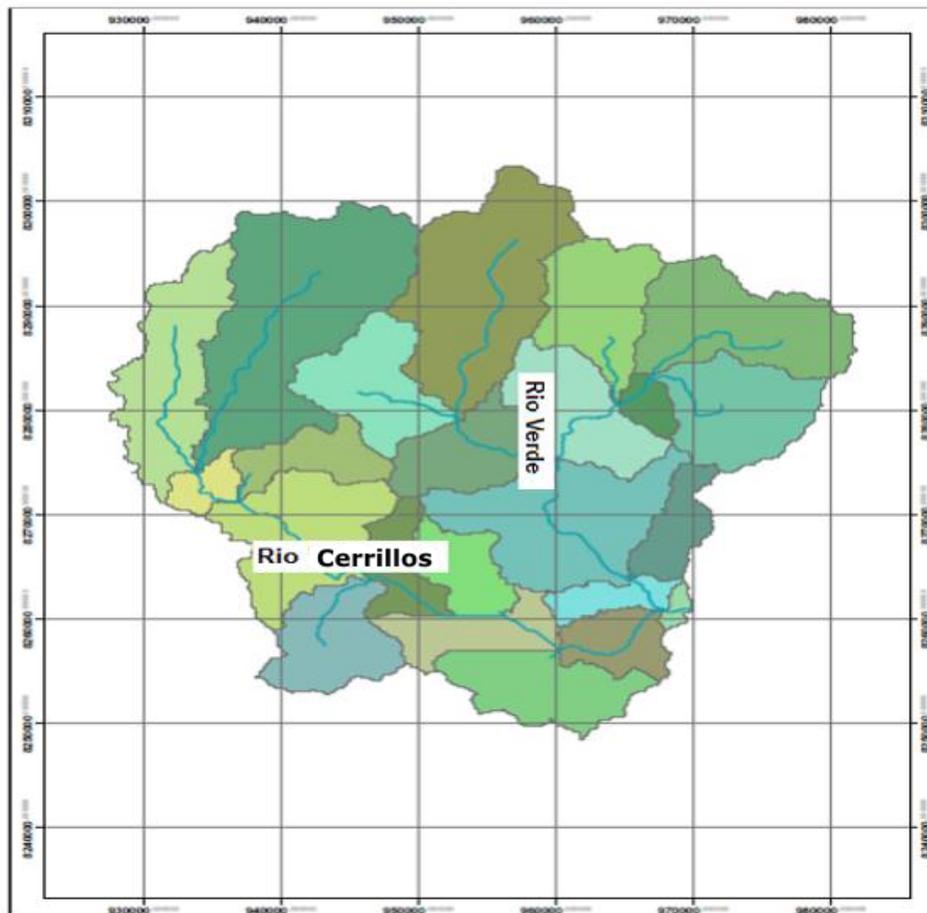


Figura 28: Subcuencas obtenidas a partir del MED de la cuenca

SUBCUENCA	GridID	ESTE	NORTE	AREA	PERIMETRO
SC0	1696	954672.157	8291815.579	185.823	89.134
SC1	1710	941037.896	8289040.933	233.195	112.854
SC2	1729	932181.948	8283841.404	116.748	90.988
SC3	1731	973255.549	8288186.871	123.418	69.306
SC4	1735	963096.639	8290146.752	87.765	60.967
SC5	1754	966762.250	8280445.136	17.299	23.349
SC6	1757	946749.127	8282421.605	85.266	59.855
SC7	1763	961558.488	8279930.007	86.803	58.558
SC8	1765	973211.974	8280026.591	94.160	54.481
SC9	1776	953700.569	8276035.830	70.929	51.516
SC10	1785	960418.510	8269465.710	149.997	83.760
SC11	1793	942365.718	8275454.560	45.750	50.219
SC12	1804	934531.761	8272738.400	20.930	28.353
SC13	1821	941576.129	8267991.822	115.975	71.345
SC14	1822	968705.316	8268805.048	38.736	43.733
SC15	1824	948801.989	8264992.424	43.097	54.481
SC16	1828	943733.373	8257929.692	75.127	53.184
SC17	1829	963873.744	8262020.248	26.416	36.877
SC18	1833	968774.481	8261104.000	6.473	16.122
SC19	1837	964465.398	8257789.139	41.569	38.359
SC20	1838	953254.842	8264724.936	44.762	41.510
SC21	1841	954048.696	8258811.756	52.163	50.590
SC22	1854	958999.475	8253509.501	79.901	58.373
TOTAL				1842.300	

Cuadro 14: Áreas de subcuencas

9.1.2. MAPA DE BANDAS DE ELEVACIÓN

El mapa de bandas de elevación se obtuvo a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) ASTER GDEM 2 con resolución espacial de 30 m. La cuenca fue dividida en rangos o bandas de elevación, reclasificando el MED de la cuenca de manera conveniente en 15 rangos: tal como se muestra en el cuadro 15 y figura 27.

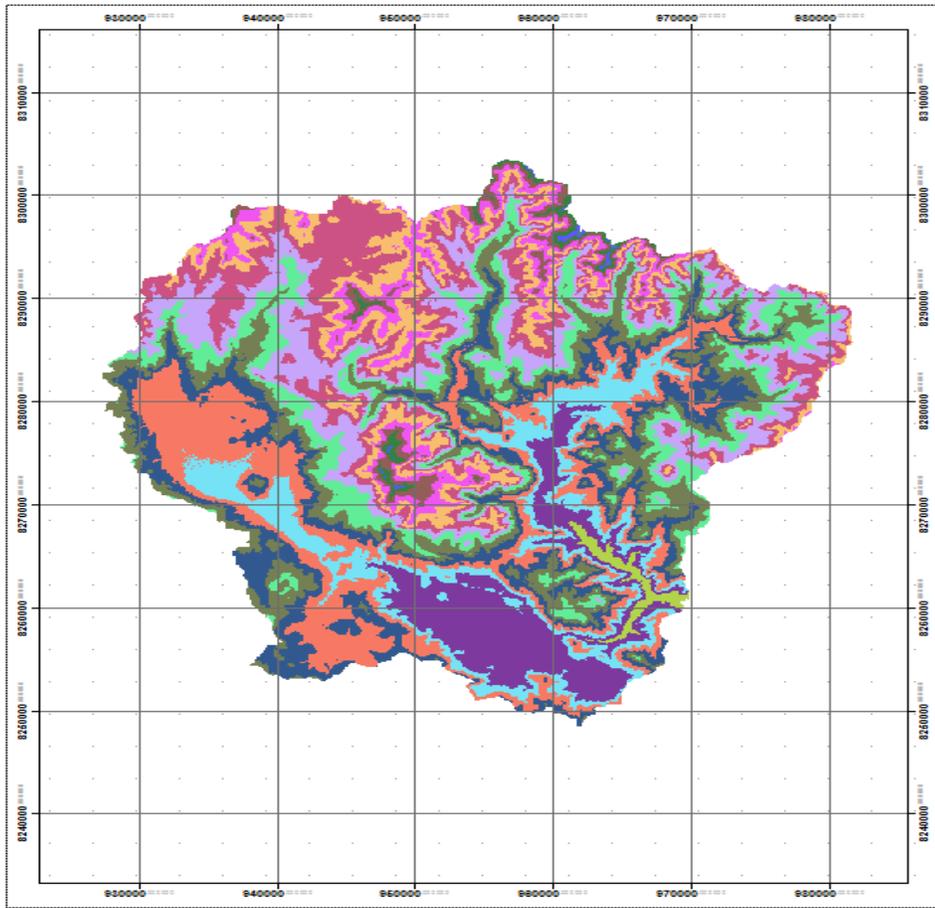


Figura 29: Bandas de elevación obtenidas a partir del MED de la cuenca

N°	COUNT	BANDA DE ELEVACION		AREA(Km2)	PORCENTAJE	COTA_MEDIA
		COTA_MIN	COTA_MAX			
1	1668	4049	4141	14.320	0.777	4107.566
2	16850	4142	4233	144.657	7.852	4187.699
3	17183	4234	4325	147.516	8.007	4288.187
4	28329	4326	4418	243.205	13.201	4369.061
5	25549	4419	4510	219.338	11.906	4466.112
6	25138	4511	4602	215.810	11.714	4554.549
7	22114	4603	4695	189.849	10.305	4648.468
8	23611	4696	4787	202.701	11.003	4742.718
9	24427	4788	4879	209.706	11.383	4830.882
10	15147	4880	4972	130.037	7.058	4922.765
11	8901	4973	5064	76.415	4.148	5013.367
12	3819	5065	5156	32.786	1.780	5105.518
13	1510	5157	5249	12.963	0.704	5195.065
14	307	5250	5341	2.636	0.143	5280.856
15	42	5342	5434	0.361	0.020	5366.381
				1842.300	100.000	

Cuadro 15: Áreas de bandas de elevación

9.1.3. MAPA DE VEGETACIÓN Y USO DE LA TIERRA

La información digitalizada de la cobertura vegetal de la cuenca elaborada para el Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT, 2001) fue agrupada de acuerdo a criterios de clasificación que permitieron representar sus tipos de cobertura más representativa, lo cual permitió simplificar el modelo, a fin de reducir los tiempos en su desarrollo y calibración (SEI, 2009). Como se aprecia en el cuadro 16, y figura 28.

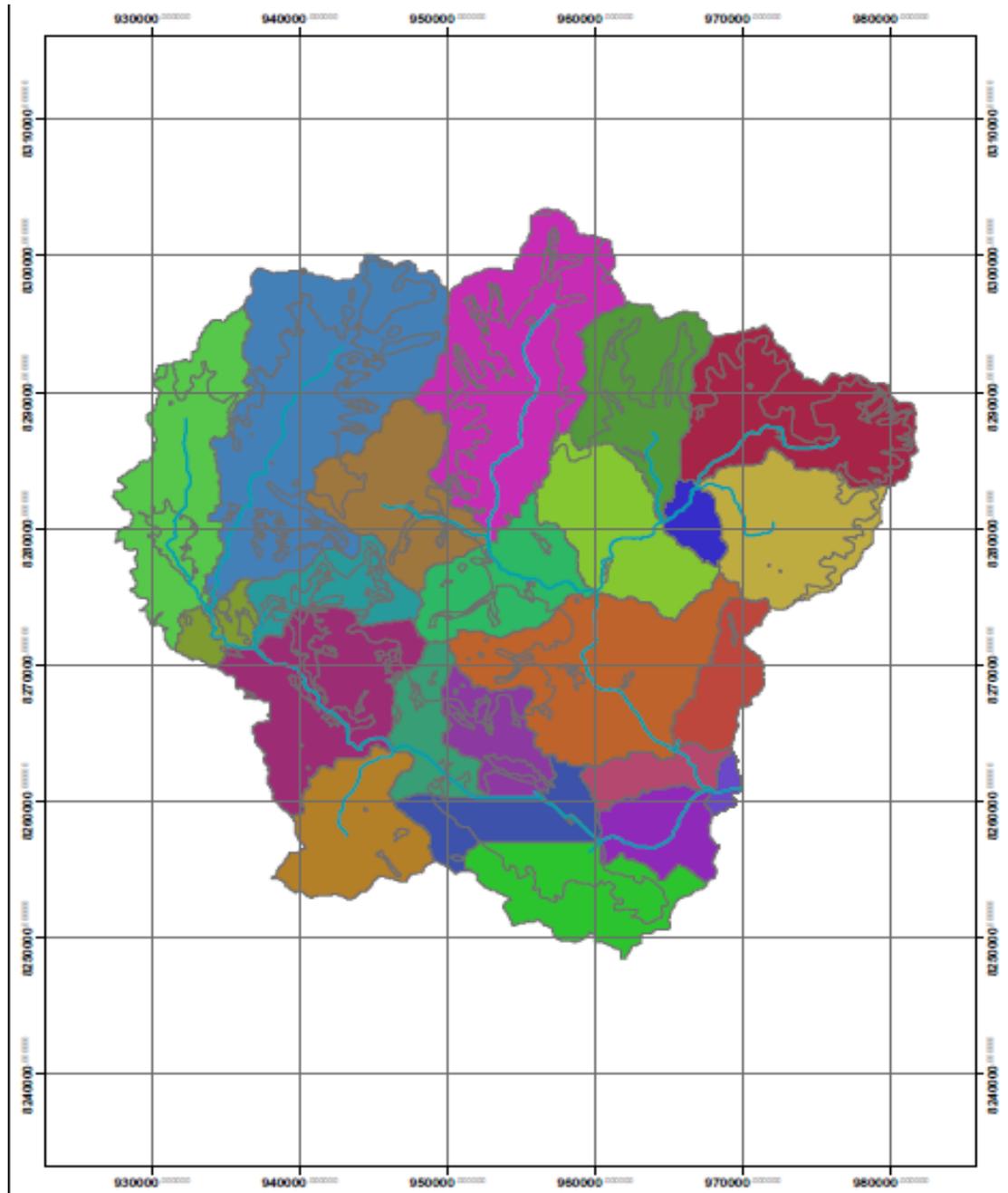


Figura 30: Mapa de coberturas reclasificado

Nombr cuenca	Kc	Nombre	Id_Weap	Area altoand	Bofedal	Glaciar	Lagunas, lago	Pajonal andi	Area urbana	A_TOTAL	
Area altoand	Esv	0.3	3853	CA10	89.041292	5.104619	2.76111	0.2098	88.705723	185.822544	
Bofedal	Bo	1	3867	CA1	90.611318	8.672243		18.800787	115.110282	233.19463	
Glaciar	Gla	1	3886	CA2	22.586638	10.961614		0.054733	83.144571	116.747556	
Lagunas, lago	L/Co	1	3888	CA13	37.203825	2.492206		0.303305	83.338438	0.080334	123.418108
Pajonal andi	Pj	0.85	3892	CA12	43.396998	1.491848		1.058368	41.817347	87.764561	
Area urbana	u	0	3911	CA23					17.298796	17.298796	
			3914	CA9	68.006227	3.477206			13.782886	85.266319	
			3920	CA15	2.458771	0.550228			83.794044	86.803043	
			3922	CA14	10.783884			0.032041	83.344472	94.160397	
			3933	CA11	34.514995	2.525217		0.552887	33.336253	70.929352	
			3942	CA16	27.057081	2.484435		0.13981	120.315976	149.997302	
			3950	CA4	13.432686	8.780688		0.210012	23.326128	45.749514	
			3961	CA3		4.808771			16.121483	20.930254	
			3978	CA5	8.579417	13.007246		0.444741	93.943498	115.974902	
			3979	CA17		0.436125			38.299442	38.735567	
			3981	CA7	8.572601	1.648026		3.305489	29.570634	43.09675	
			3985	CA6				1.049068	74.078358	75.127426	
			3986	CA18					26.416077	26.416077	
			3990	CA22					6.473098	6.473098	
			3994	CA21				0.415326	41.153295	41.568621	
			3995	CA8	9.586094	5.293466		5.58661	24.296072	44.762242	
			3998	CA19		0.088668		26.3877	25.686156	52.162524	
			4011	CA20				30.752588	49.148105	79.900693	

Cuadro 16: Reclasificación de coberturas de la cuenca

9.1.4. ELABORACIÓN DE CATCHMENTS

Intersectando los mapas de subcuencas y de bandas de elevación, la cuenca quedó dividida en 22 *catchments*, los cuales fueron denominados usando como prefijo el código correspondiente a la cuenca de origen (SC_01; SC_02; SC_03 y SC_04), tal como se muestra en la figura N° 29 y cuadro N° 17.

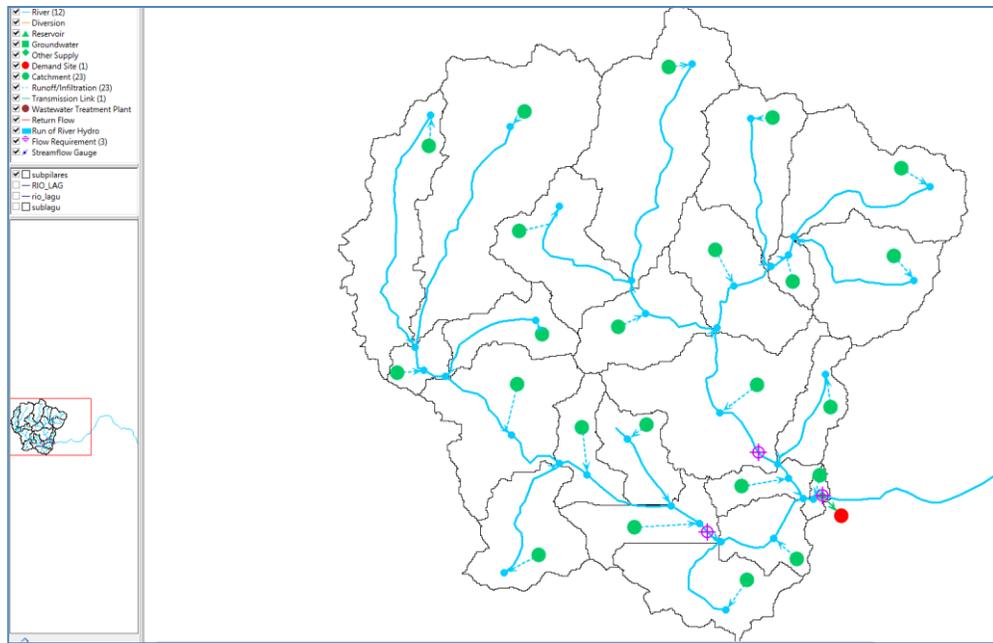


Figura 31: Catchments para WEAP obtenidos a partir del mapa de subcuencas

SUBCUENCA	GridID	AREA	PERIMETRO
SC0	1696	185.823	89.134
SC1	1710	233.195	112.854
SC2	1729	116.748	90.988
SC3	1731	123.418	69.306
SC4	1735	87.765	60.967
SC5	1754	17.299	23.349
SC6	1757	85.266	59.855
SC7	1763	86.803	58.558
SC8	1765	94.16	54.481
SC9	1776	70.929	51.516
SC10	1785	149.997	83.76
SC11	1793	45.75	50.219
SC12	1804	20.93	28.353
SC13	1821	115.975	71.345
SC14	1822	38.736	43.733
SC15	1824	43.097	54.481
SC16	1828	75.127	53.184
SC17	1829	26.416	36.877
SC18	1833	6.473	16.122
SC19	1837	41.569	38.359
SC20	1838	44.762	41.51
SC21	1841	52.163	50.59
SC22	1854	79.901	58.373
		1842.3	

Cuadro 17: Áreas de catchments del modelo

Posteriormente, cada catchment obtenido fue subdividido en sub catchments de acuerdo a su tipo de cobertura, intersectando los mapas catchments y de cobertura reclasificada. Luego de esto se calcularon las áreas de cada uno de los elementos y se procedió a la creación del esquema base dentro de WEAP, a fin de iniciar el modelamiento hidrológico (SEI, 2009).

9.1.5. ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CONSIDERADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Las estaciones pluviométricas en la cuenca del rio Cabanillas., en zonas en la que se presentan precipitaciones considerables entre las cotas de del punto objetivo y las cotas más elevadas, (Senamhi).

N°	X	Y	ESTACION
1	294701.72	826192.28	CRUCERO ALTO
2	298083.24	8268832.13	HACIENDA COLINI
3	308682.53	8283679.12	JARPANA
4	322022.66	8256004.81	LAGUNILLAS
5	320045.25	8286598.91	PAMPAHUTA
6	328297.27	8291211.09	PARATIA
7	328504.78	8263548.88	SANTA LUCIA (PLU)

Cuadro 18: Grupo de estaciones pluviométricas consideradas en la construcción del modelo hidrológico

9.2. EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA OFERTA HÍDRICA

El efecto del cambio climático sobre a disponibilidad hídrica se analizó en base a las variaciones generadas por la precipitación y temperatura sobre la escorrentía en los periodos mensuales, anuales y estacionales. Los resultados del análisis de la proyección de la oferta hídrica para el periodo 2005-2099.

Los Modelados utilizados son los tres tipos de Modelos de Circulación General (MCG) (MPI-ESM-MR, CANESM2, CNRM-CM5) y los escenarios están definidos por dos RCP de cambio climático (RCP 4.5, RCP 8.5) además de la histórica se incluyeron en el estudio Downscaling Estadístico para esta tesis:

- El RCP4.5, Es un escenario de estabilización donde el forzamiento radiativo total se estabiliza antes del 2100, por el empleo de una serie de tecnologías y estrategias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- El RCP8.5, Se basa en el escenario A2r (Riahi et al, 2007), se caracteriza por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a través del tiempo.

La evaluación del cambio climático en la hidrología de la cuenca del río Cerrillos y río Verde se realiza comparando los resultados de los escenarios futuros con el escenario histórico calculados por el modelo WEAP (un histórico por cada MCG utilizado). El Cuadro 9 presenta cada uno de los escenarios modelados indicando el periodo al que corresponden y un código de simplificación con el fin de facilitar la interpretación.

Escenarios Climáticos	Periodo	Código
Data presente (observada)	Histórico 1956 - 2016	DP
MPI-ESM-MR - RCP4.5	Futuro Cercano y Lejano 2011 - 2099	MPI 4.5
MPI-ESM-MR - RCP8.5		MPI 8.5
CANESM2 - RCP4.5		CAN 4.5
CANESM2 - RCP8.5		CAN 8.5
CNRM-CM5 - RCP4.5		CNR 4.5
CNRM-CM5 - RCP8.5		CNR 8.5

Cuadro 19: Escenarios climáticos para los periodos presente, histórico y futuro.

9.2.1. INFORMACIÓN DE LOS ESCENARIOS PARA PUNO

La información de los escenarios para Puno disponibles y usados en la 3ra Comunicación MINAM (www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-omunicación.pdf) cada Excel contiene los datos y coordenadas de las estaciones. Tener en cuenta que son escenarios regionalizados de 3 modelos globales (CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y 2 escenarios de emisión (un escenario intermedio: RCP 4.5; y un escenario pesimista: RCP 8.5) dando un total de 3x2=6 escenarios posibles.

La información utilizada en el trabajo de investigación, proviene del modelo HadGEM-ES de precipitación para la región Puno, información observada de estaciones del SENAMHI, para un periodo del 2005/2099, que también puede descargarse desde la página: <http://www.peruclima.pe/?p=data-historica>. Ver fig.34 y Anexo I.

Nombre	Longitud	Latitud
PUNO	-70.0181	-15.8233
PAMPAHUTA	-70.6775	-15.4914
CHUQUIBAMBILLA	-70.7283	-14.7964
IMATA	-71.0878	-15.8367
AYAVIRI	-70.5928	-14.8811
PROGRESO	-70.3556	-14.6947
LAMPA	-70.3728	-15.3558
CABANILLAS	-70.3464	-15.6393
ARAPA	-70.1186	-15.1356
MUÑANI	-69.9658	-14.7794
HUANCANE	-69.7625	-15.2033
HUARAYA MOHO	-69.4914	-15.3897
TAMBOPATA	-69.1522	-14.22
EL FRAYLE	-71.1891	-16.1547
OMATE	-70.9825	-16.6775
UBINAS	-70.8567	-16.3825
YACANGO	-70.8661	-17.0939
CANDARAVE	-70.2539	-17.2711
MAZO CRUZ	-69.7117	-16.7456
ILAVE	-69.6436	-16.0847
JULI	-69.4572	-16.2033
DESAGUADERO	-69.0404	-16.5688

Cuadro 20: Longitud y Latitud de las estaciones para información de los escenarios para Puno

G1: lon.1=-71; lat.1=-17.5
 G2: lon.2=-71; lat.2=-16.5
 G3: lon.3=-71; lat.3=-15
 G4: lon.4=-71; lat.4=-13.5
 G5: lon.5=-70; lat.5=-17.5
 G6: lon.6=-70; lat.6=-16.5
 G7: lon.7=-70; lat.7=-15
 G8: lon.8=-70; lat.8=-13.5

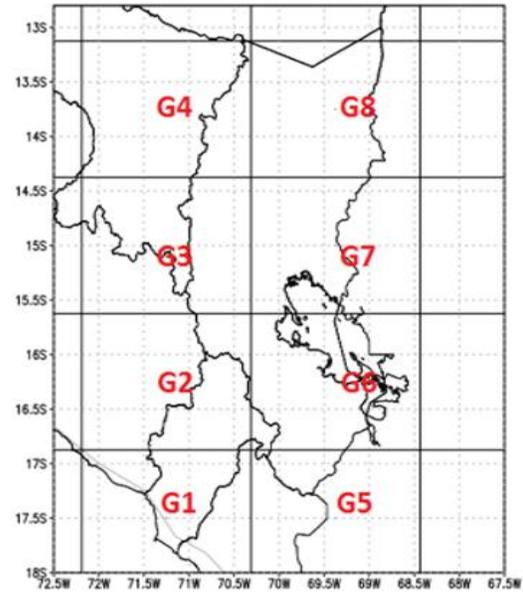


Figura 32: Coordenadas para cada punto de grillas.

9.2.2. EFECTO EN EL CAUDAL ANUAL Y MENSUAL

La Figura 32 a la 37 muestran respectivamente los hidrogramas de caudal anual y mensual elaborados con los caudales obtenidos de los escenarios.

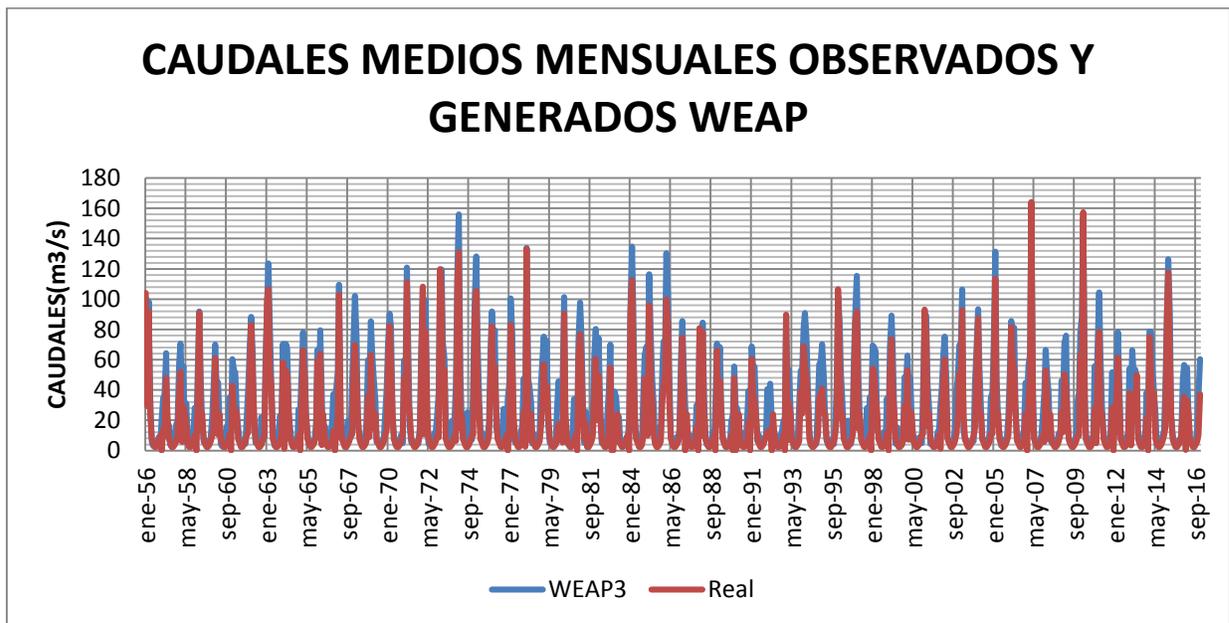


Figura 33: Caudales medios mensuales observados y generados WEAP

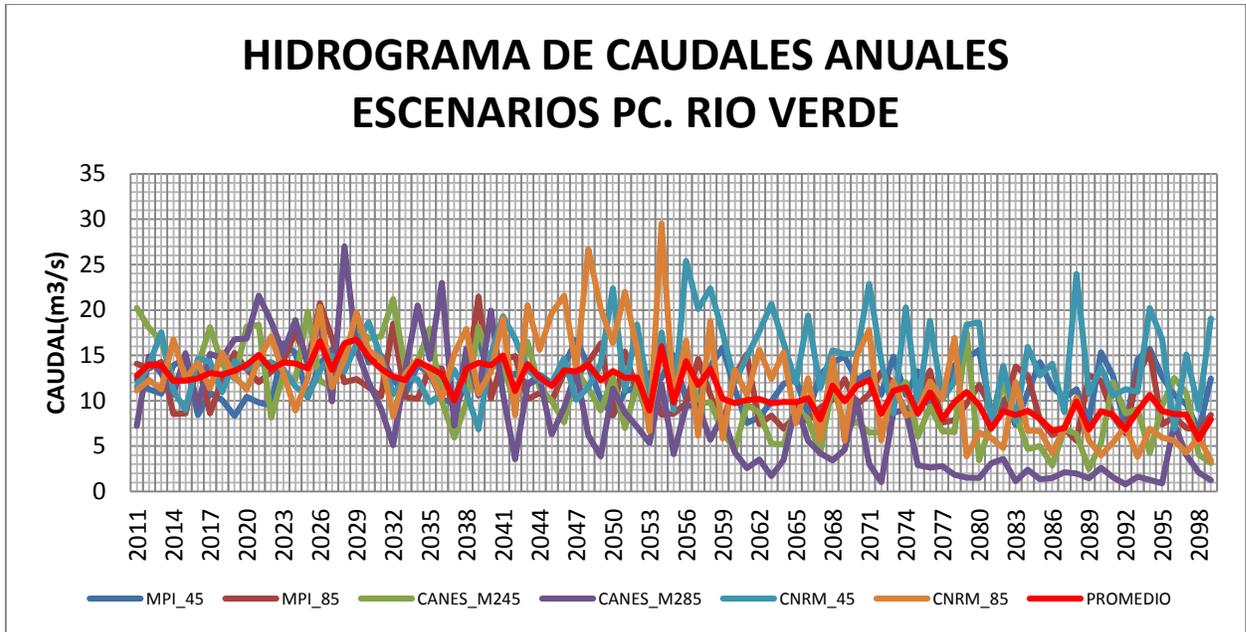


Figura 34: Hidrograma de caudales anuales escenarios PC. Verde

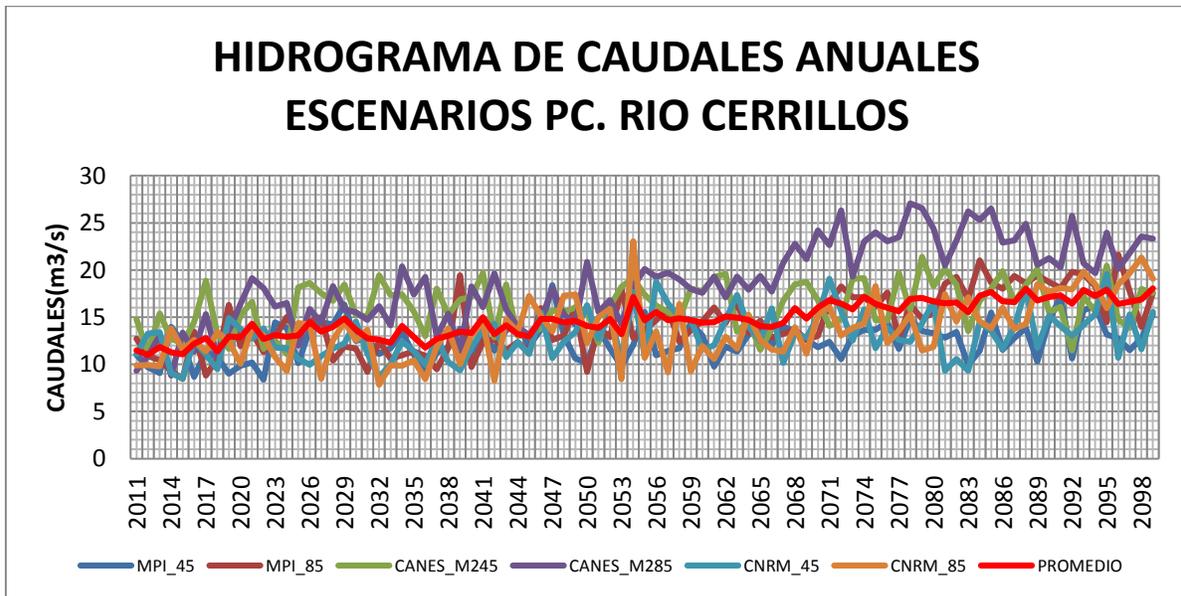


Figura 35: Hidrograma de caudales anuales escenarios PC. Lagunillas

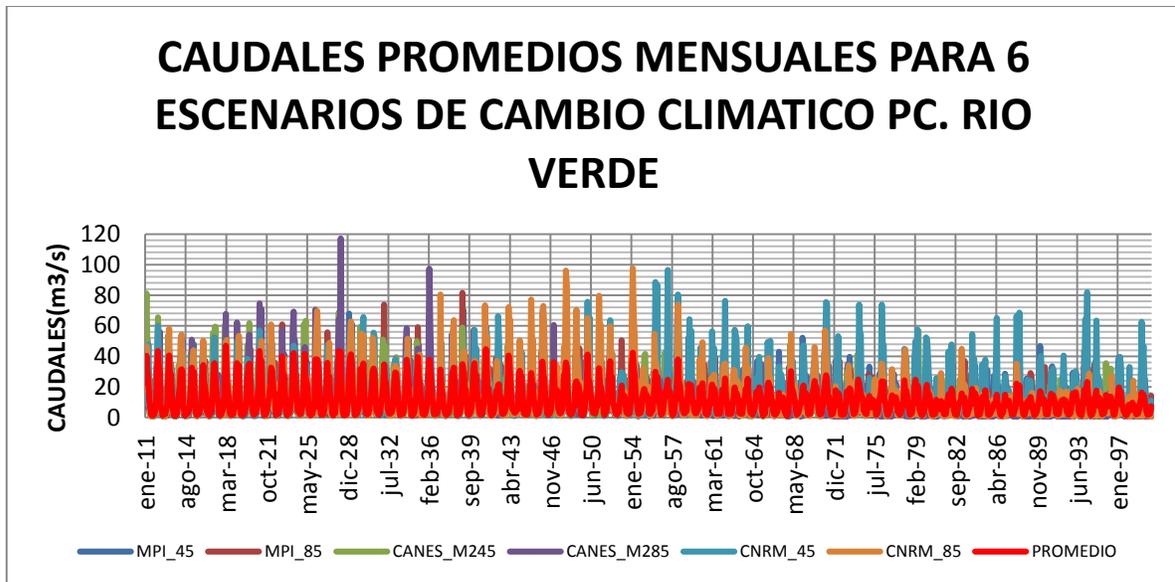


Figura 36: Caudales promedios mensuales para 6 escenarios de cambio climático PC. Verde

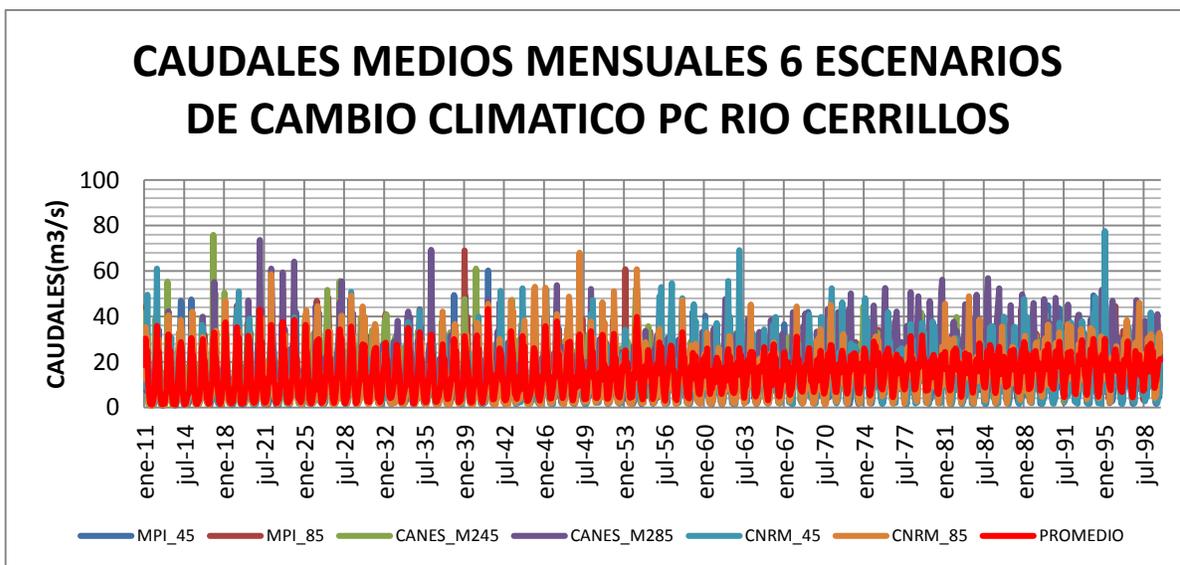


Figura 37: Caudales medios mensuales para 6 escenarios de cambio climático PC. Cerrillos

Comentario:

Los resultados del análisis de la proyección de la oferta hídrica para el periodo 2011-2098, se observa en los hidrogramas de los caudales anuales y mensuales una variación y/o diferencia mayor de los seis escenarios en términos del caudal con el promedio del periodo histórico de los ríos Verde y Cerrillos, considerando al MPI4.5 y MPI8.5 el de mayor variación. Ver figuras del 31 al 34

9.2.3. VARIACIONES PROMEDIO ANUAL, ESTACIONAL Y MENSUAL

La comparación entre los escenarios futuros proyectados e históricos obtenidos por cada modelo MCG se expresa como la variación porcentual ($\Delta\%$) calculada entre la diferencia de los resultados promedios anuales, mensuales y/o estacionales; es decir, se obtiene el caudal promedio anual, mensual y/o estacional para cada periodo futuro. Las variaciones promedio anual, estacional y mensual nos permiten interpretar los cambios probables del comportamiento hidrológico de un periodo futuro en varios escenarios respecto al periodo histórico, considerando como índice de significancia para su clasificación a la varianza de datos históricos (σ).

a) Variación promedio anual

La variación promedio anual obtuvo resultados diferentes para el río Cerrillos y el Río Verde en todos los escenarios para el periodo futuro; en el caso del Río Verde el escenario que presenta menor variación con un 54.90 por ciento es CANES 8.5, representando este valor un cambio no significativo, y el de mayor variación con 94.39 por ciento es CNRM 4.5 siendo un cambio extremo; así mismo para el Río Cerrillos el escenario que presenta mayor variación con 182.55 por ciento es CANES 8.5, y el de menor variación con 122.91 por ciento es MPI 4.5 siendo ambos valores un cambio extremo. Estos resultados se muestran en los Cuadros 20 y 21.

Punto de Control del Río Verde

ESCENARIO	Q_P_ANUAL
promedio	100.00
mpi45	80.20
mpi85	75.40
canes45	71.15
canes85	54.90
cnrm45	94.39
cnrm85	79.84

Punto de Control del Río Cerrillos

ESCENARIO	Q_P_ANUAL
promedio	100.00
mpi45	122.91
mpi85	141.11
canes45	158.00
canes85	182.55
cnrm45	128.38
cnrm85	134.66

Cuadro 21: Variación de caudal promedio anual a futuro

En el Cuadro 24 se presentan los caudales promedio anual histórico de los escenarios a futuro (H-MPI, H-CAN, H-CNR) con los que son comparados. En el caso del Rio Verde el de mayor variación es el de CANES 8.5 con 8.33 m³/seg y el de menor variación el CNRM 4.5 con 14.32 m³/seg, con respecto al promedio histórico que es de 15.17 m³/seg.

Punto de Control del Rio Verde

ESCENARIO	Q_P_ANUAL
promedio	15.17
mpi45	12.17
mpi85	11.44
canes45	10.79
canes85	8.33
cnrm45	14.32
cnrm85	12.11

Punto de Control del Rio Cerrillos

ESCENARIO	Q_P_ANUAL
promedio	10.25
mpi45	12.60
mpi85	14.47
canes45	16.20
canes85	18.71
cnrm45	13.16
cnrm85	13.81

Cuadro 22: Caudal promedio anual histórico a futuro

b) Variación promedio estacional

Tomando como base los resultados mensuales, se presentan los resultados promedio estacionales considerando al verano, otoño, invierno y primavera como las estaciones a desarrollar. La variación promedio estacional también obtuvo resultados positivos en todos los escenarios. Para el periodo futuro del Rio Verde el escenario que presenta menor variación con 28.82 por ciento en CANES 8.5 durante la primavera, y el de mayor variación con 310.29 por ciento en MPI 8.5 durante el otoño. Cabe resaltar que, en la primavera, el cambio es no significativo y en invierno y otoño, el cambio es de significativo a extremo. Así mismo, para el Rio Cerrillos para el periodo futuro, el escenario que presenta mayor variación con 610.82 por ciento es CANES 8.5 durante el invierno, y el de menor variación con 91.21 por ciento en MPI 8.5 durante el verano, resaltando también que en invierno y otoño el cambio es extremo. Estos resultados obtenidos, así como meses que conforman cada estación se presentan en los Cuadros 22 y 23.

Punto de Control del Rio Verde

ESCENARIO	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
promedio	100.00	100.00	100.00	100.00
mpi45	65.50	294.28	84.40	47.45
mpi85	54.05	310.29	132.84	46.53
canes45	55.32	193.60	79.96	70.46
canes85	41.30	205.79	127.96	28.82
cnrm45	84.15	272.21	68.81	37.95
cnrm85	68.77	262.45	72.40	37.97

Punto de Control del Rio Cerrillos

ESCENARIO	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
promedio	100.00	100.00	100.00	100.00
mpi45	96.24	319.60	150.10	118.63
mpi85	91.21	360.89	276.49	187.44
canes45	98.32	272.41	416.19	284.06
canes85	91.83	363.35	610.82	333.92
cnrm45	104.45	303.14	113.46	99.28
cnrm85	99.75	307.36	176.89	156.31

Cuadro 23: Variación porcentual de caudal promedio estacional a futuro

En el Cuadro 26 se presentan los caudales promedio estacional en la estación hidrométrica Puente Maravilla de los escenarios a futuro de los escenarios históricos (H-MPI, H-CAN, H-CNR) con los que son comparados. Para el caso del Rio Verde se observa que el escenario donde se da la menor variación con respecto al promedio es CANES 8.5 de 3.24 m³/seg, es en Invierno y la mayor variación es en CNRM 4.5 de 18.86 m³/seg en Otoño. En el caso del Rio Cerrillos el de menor variación se presenta CNRM 4.5 con 8.42 m³/seg y el de mayor variación en MPI 8.5 con 15.78 en Otoño con respecto al promedio histórico.

Punto de Control del Rio Verde

ESCENARIO	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
promedio	36.24	6.87	3.12	14.45
mpi45	23.80	15.73	2.42	6.72
mpi85	19.64	15.64	3.47	6.99
canes45	20.01	10.32	2.38	10.46
canes85	15.09	11.03	3.24	3.95
cnrm45	30.52	18.86	1.99	5.89
cnrm85	24.90	15.87	2.02	5.64

Punto de Control del Rio Cerrillos

ESCENARIO	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
promedio	25.10	5.00	2.19	8.72
mpi45	24.22	14.12	2.98	9.07
mpi85	22.91	15.78	5.71	13.47
canes45	24.57	11.51	8.84	19.87
canes85	23.10	15.31	12.62	23.83
cnrm45	26.32	15.73	2.17	8.42
cnrm85	25.11	14.69	3.68	11.73

Cuadro 24: Caudal promedio estacional histórico a futuro

c) Variación promedio mensual

La variación promedio mensual presenta resultados de variación más detallados. En el caso del Rio Verde, se observa que todos los escenarios son mayores que el promedio en los meses de

Abril, Mayo, Junio y Julio (estiaje), mientras que el resto de meses son menores al promedio histórico. Mientras que en el Rio Cerrillos todos los escenarios superan

al promedio histórico, siendo los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Setiembre y Octubre los más extremos. Estos resultados se presentan en el cuadro 24.

ESCENARIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
promedio	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
mpi45	61.52	70.67	64.30	151.66	389.77	341.41	126.76	67.45	59.00	52.17	43.33	46.86
mpi85	52.90	57.15	52.11	131.26	418.44	381.18	266.27	77.60	54.66	41.43	46.26	51.91
canes45	62.55	49.89	53.53	96.27	282.87	201.66	93.52	83.17	63.19	69.62	61.16	80.59
canes85	36.70	49.49	37.72	111.38	228.60	277.39	276.32	67.06	40.51	35.15	24.43	26.87
cnrm45	65.99	94.74	91.72	270.49	339.75	206.39	93.55	64.57	48.31	31.82	34.26	47.76
cnrm85	53.24	75.71	77.35	194.67	303.01	289.67	114.75	59.53	42.93	36.33	35.06	42.53

Punto Control Verde

ESCENARIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
promedio	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
mpi45	87.29	114.28	87.16	230.82	340.73	387.26	217.97	119.72	112.61	163.48	115.49	76.94
mpi85	91.00	104.56	78.08	249.64	395.16	437.86	362.71	227.94	238.82	299.03	157.81	105.49
canes45	116.58	91.48	86.90	187.38	245.78	384.08	453.75	422.71	372.12	477.18	227.11	147.90
canes85	87.11	111.38	76.99	238.46	358.74	492.85	731.99	604.47	496.01	519.92	320.89	160.96
cnrm45	89.29	127.07	97.00	322.65	323.67	263.08	173.06	97.57	69.75	96.02	123.88	77.93
cnrm85	89.22	118.19	91.85	278.66	305.04	338.38	224.95	150.09	155.62	220.07	157.98	90.87

Punto Control Cerrillos

Cuadro 25: Variación porcentual de caudal promedio mensual a futuro

Los escenarios históricos con los que son comparados para la obtención de la variación mensual. Adicionalmente, se incluye los caudales promedio mensual del escenario de data observada o presente. Para el caso del Rio Verde todos los escenarios a excepción del mes de los meses de Abril, Mayo, Junio y Julio están por debajo del promedio histórico. Con respecto al Rio Cerrillos en casi todos los escenarios y en todos los meses están por encima del promedio.

ESCENARIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
promedio	36.30	39.38	33.04	13.26	4.18	3.15	2.20	2.87	4.29	6.64	14.62	22.10
mpi45	22.33	27.83	21.24	20.11	16.30	10.76	2.78	1.93	2.53	3.46	6.33	10.35
mpi85	19.20	22.51	17.21	17.41	17.50	12.02	5.85	2.22	2.35	2.75	6.76	11.47
canes45	22.71	19.65	17.68	12.77	11.83	6.36	2.05	2.38	2.71	4.62	8.94	17.81
canes85	13.32	19.49	12.46	14.77	9.56	8.74	6.07	1.92	1.74	2.33	3.57	5.94
cnrm45	23.96	37.31	30.30	35.87	14.21	6.51	2.05	1.85	2.07	2.11	5.01	10.55
cnrm85	19.33	29.82	25.55	25.82	12.67	9.13	2.52	1.71	1.84	2.41	5.13	9.40

Rio Verde

ESCENARIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
promedio	23.94	25.87	25.48	8.77	4.19	2.03	1.33	1.97	3.27	4.19	8.94	13.04
mpi45	20.90	29.57	22.21	20.25	14.28	7.85	2.91	2.36	3.68	6.86	10.33	10.03
mpi85	21.79	27.05	19.90	21.90	16.56	8.88	4.84	4.48	7.80	12.54	14.11	13.75
canes45	27.91	23.67	22.14	16.44	10.30	7.79	6.06	8.32	12.16	20.01	20.31	19.28
canes85	20.85	28.82	19.62	20.92	15.03	9.99	9.77	11.89	16.21	21.81	28.69	20.98
cnrm45	21.38	32.88	24.72	28.30	13.56	5.33	2.31	1.92	2.28	4.03	11.08	10.16
cnrm85	21.36	30.58	23.40	24.44	12.78	6.86	3.00	2.95	5.08	9.23	14.13	11.85

Rio Cerrillos

Cuadro 26: Caudal promedio mensual histórico, presente, a futuro cercano y a futuro lejano

Para los escenarios futuros se muestra los hidrogramas de caudal promedio mensual para los escenarios RCP 4.5 (MPI 4.5, CAN 4.5 y CNR 4.5); mientras que la Figuras N° 38, 39 y 40 inferiores muestra los hidrogramas de caudal promedio mensual para los escenarios RCP 8.5 (MPI 8.5, CAN 8.5 y CNR 8.5). Ambas figuras corresponden a la estación hidrométrica del Rio Verde y presentan los hidrogramas de los caudales históricos H-MPI, H-CAN, H-CNR para su comparación. Se observa que los caudales máximos en los escenarios históricos tienen lugar en los meses de Febrero, mientras que en la mayoría de escenarios futuros, los caudales máximos tienen lugar en los meses de Febrero y Marzo.

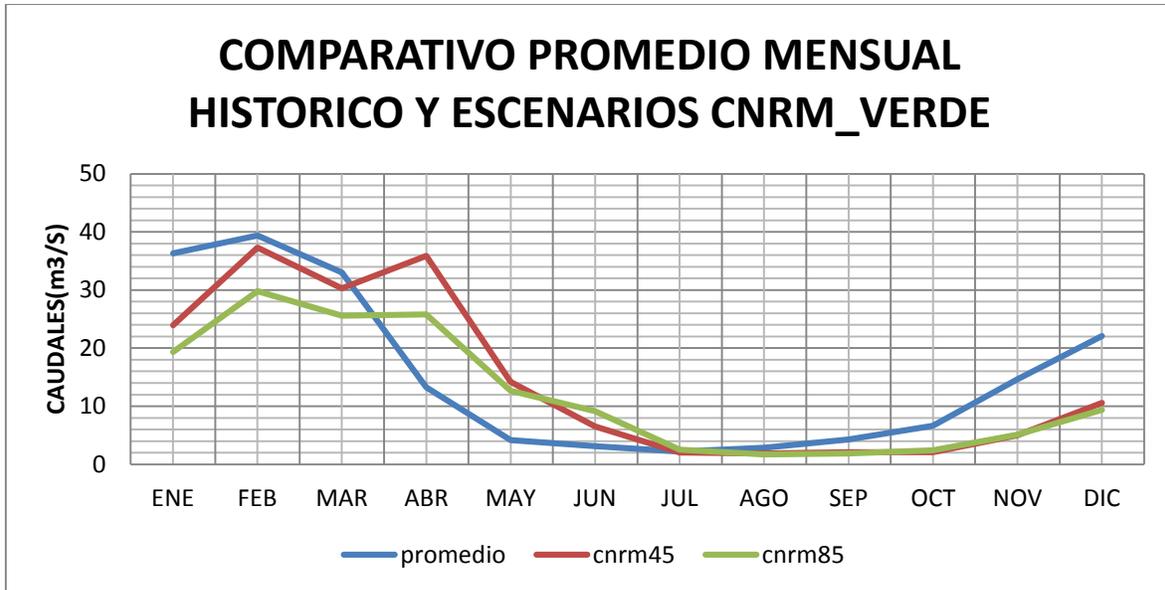


Figura 38: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios CNRM_VERDE

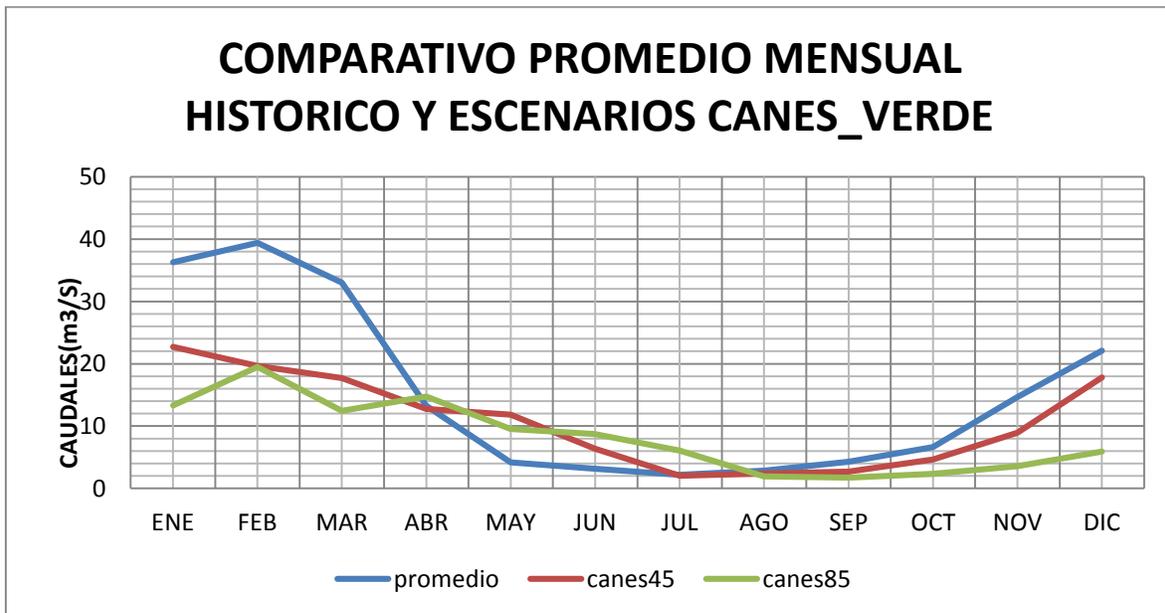


Figura 39: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios CANES_VERDE

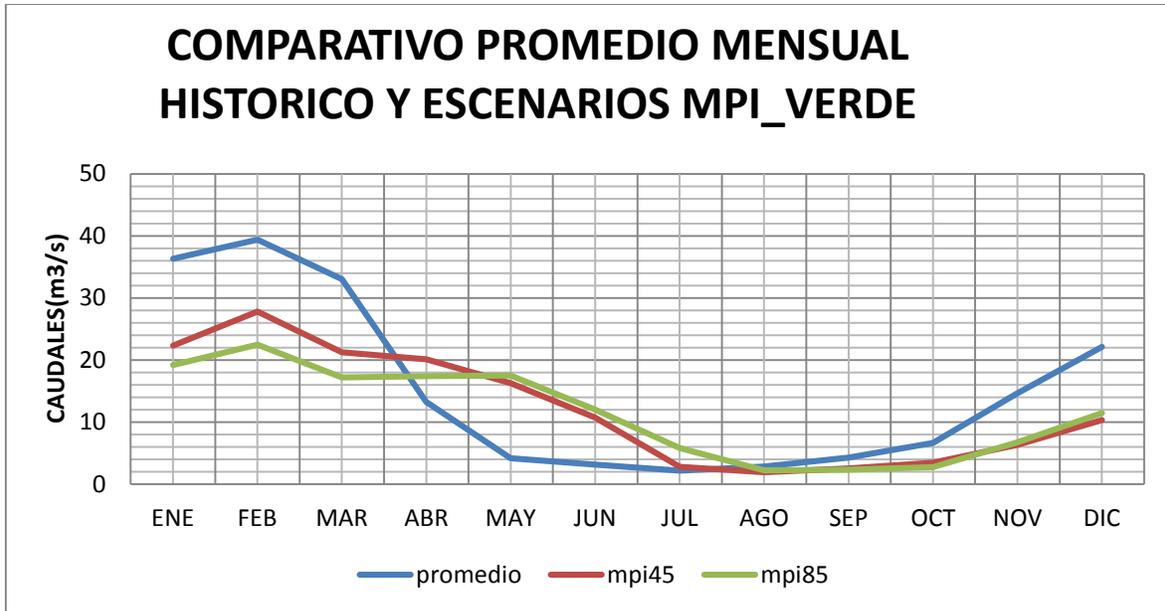


Figura 40: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios MPI_VERDE

Comparativo de la climatología de las series de caudales generadas para las precipitaciones históricas y las series de caudales generados para los 6 escenarios de cambio climático de precipitaciones CANESM2 rcp45, CANESM2 cnrm rcp45, cnrm rcp85, mdi rcp45, mdi rcp85, rcp85 para la subcuenca del Rio Verde estos comparativos se muestran en las figuras N° 35 al N° 37.

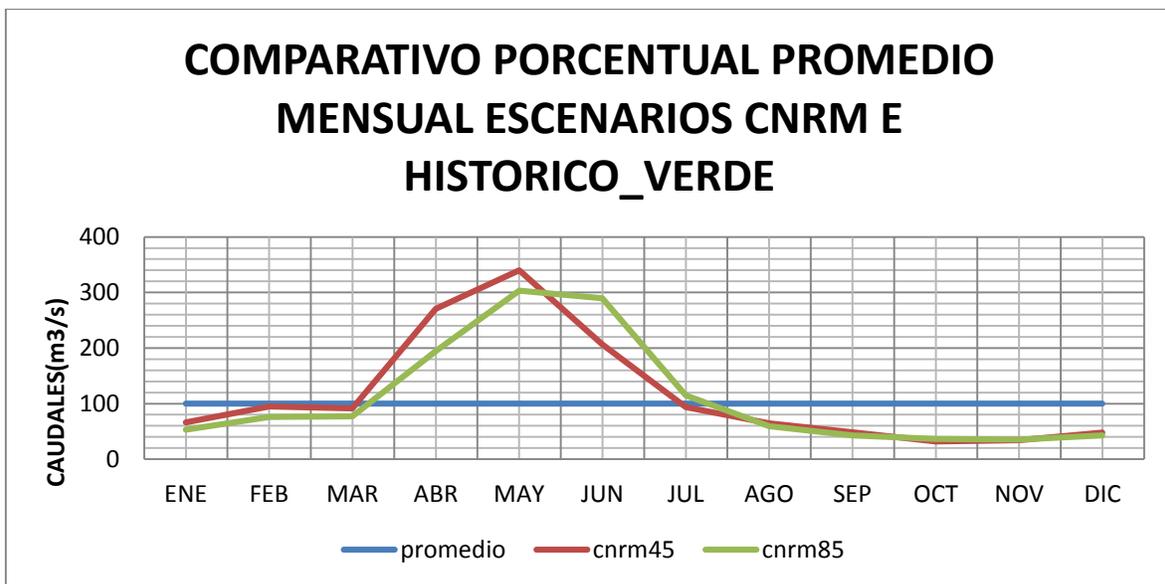


Figura 41: Comparativo porcentual promedio mensual CNRM E HISTORICO_VERDE

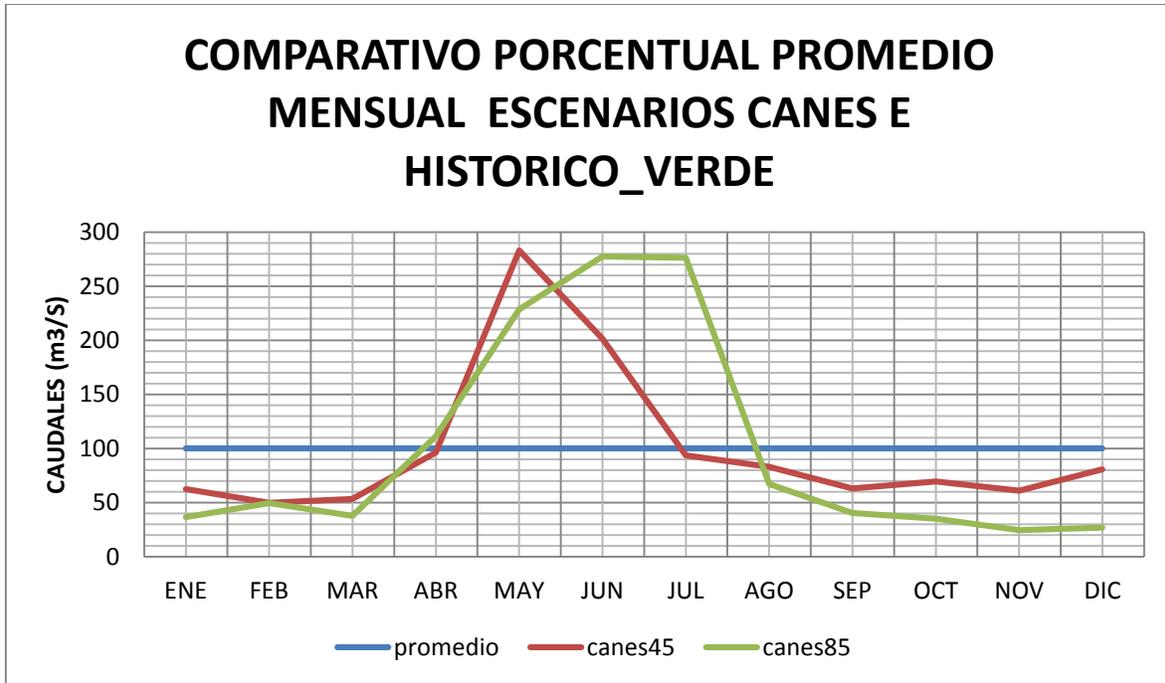


Figura 42: Comparativo porcentual promedio mensual escenarios CANES E HISTORICO_VERDE

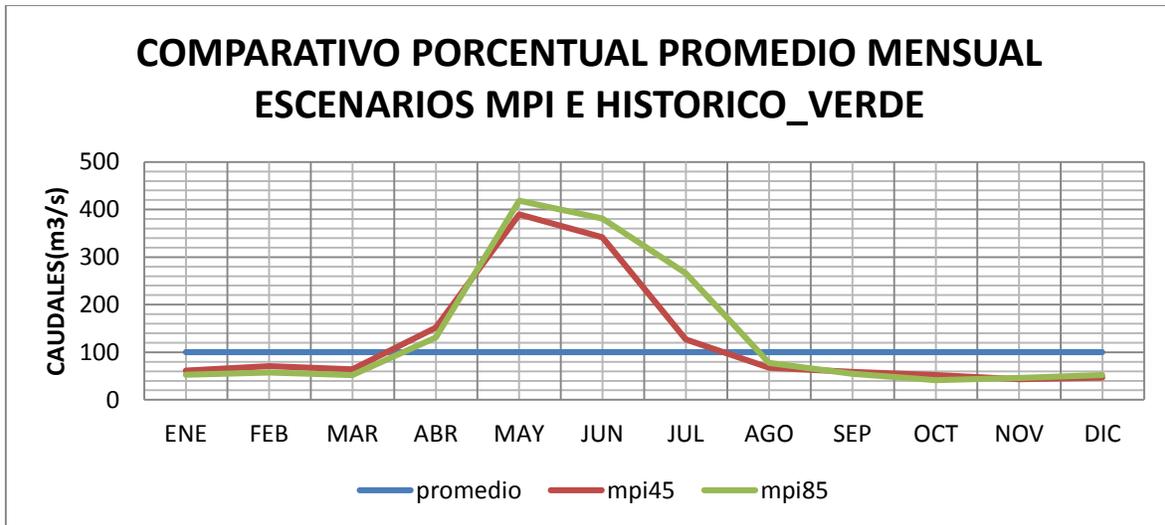


Figura 43: Comparativo porcentual promedio mensual escenarios MPI E HISTORICO_VERDE

De la misma forma, para los escenarios futuros muestra los hidrogramas de caudal promedio mensual para los escenarios (MPI 4.5, CANES 4.5 y CNRM 4.5); mientras que la Figura 41 al 46 inferior muestra los hidrogramas de caudal promedio mensual para los escenarios (MPI 8.5, CANES 8.5 y CNRM 8.5). Ambas figuras corresponden a la estación hidrométrica del río

Cerrillos y presentan los hidrogramas de los caudales históricos H-MPI, H-CAN, H-CNR, para su comparación. Se observa que los caudales máximos en los escenarios históricos tienen lugar en los meses de marzo, mientras que en la mayoría de escenarios futuros, los caudales máximos tienen lugar entre los meses de febrero y abril, mientras que en el escenario CANES_CERRILLOS se presentan caudales máximos en los meses de febrero, marzo y noviembre.

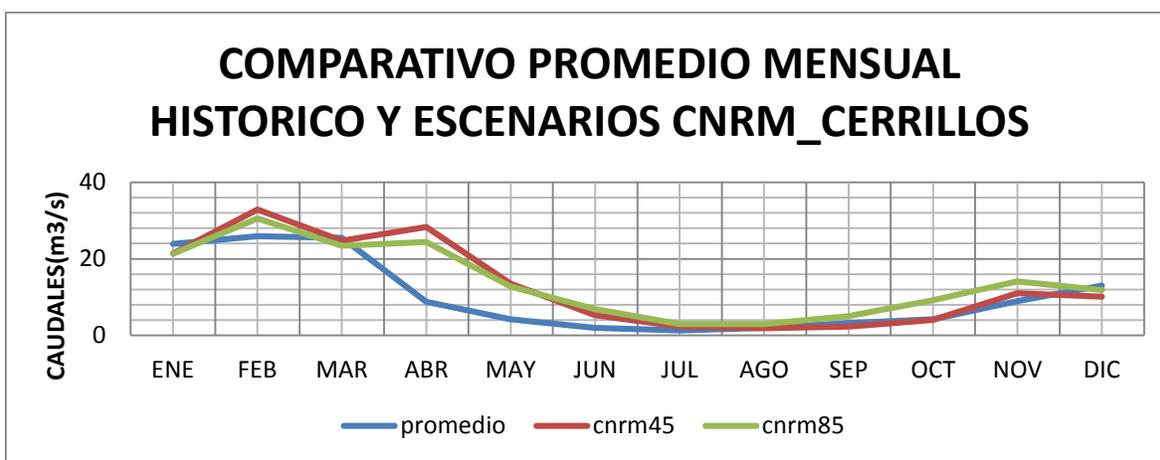


Figura 44: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios CNRM_CERRILLOS

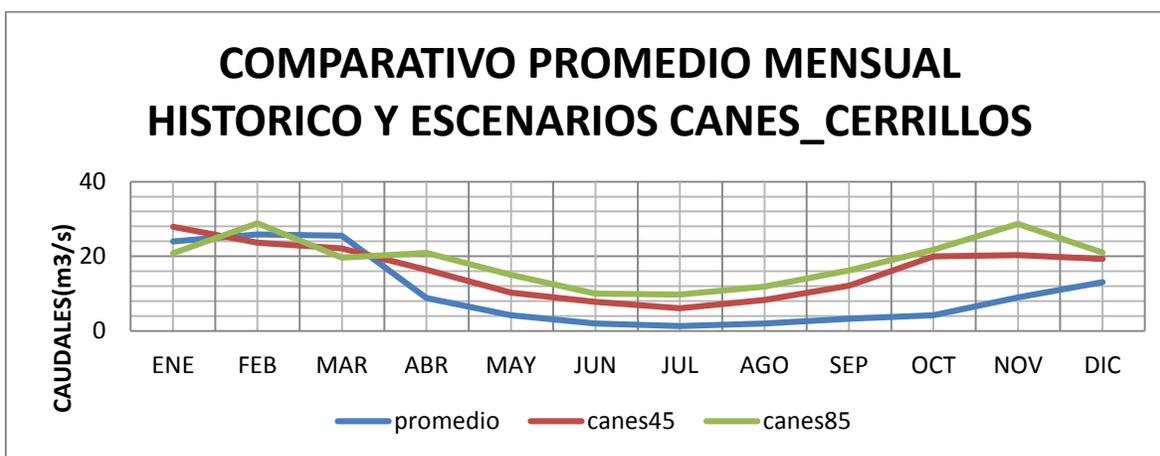


Figura 45: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios CANES_CERRILLOS

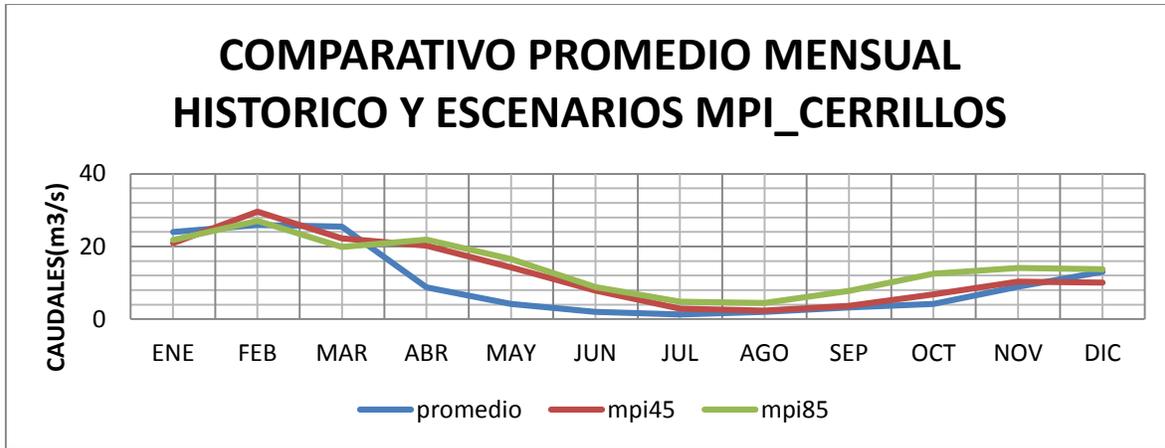


Figura 46: Comparativo promedio mensual histórico y escenarios MPI_CERRILLOS

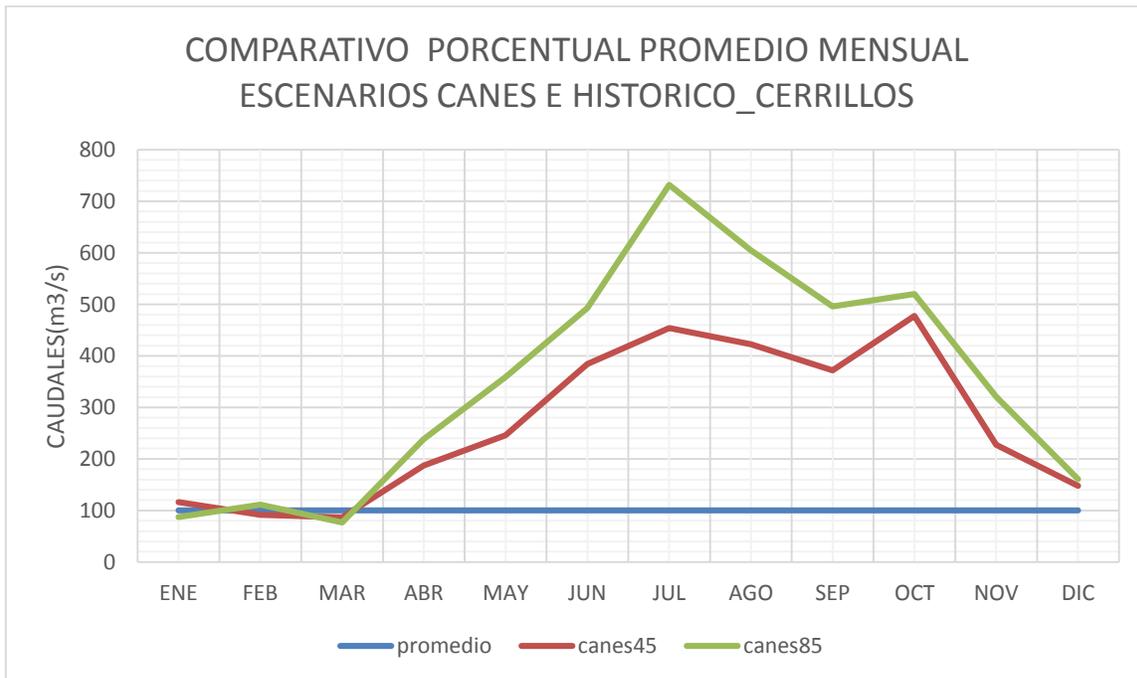


Figura 47: Comparativo porcentual promedio mensual CANES E HISTORICO_CERRILLOS

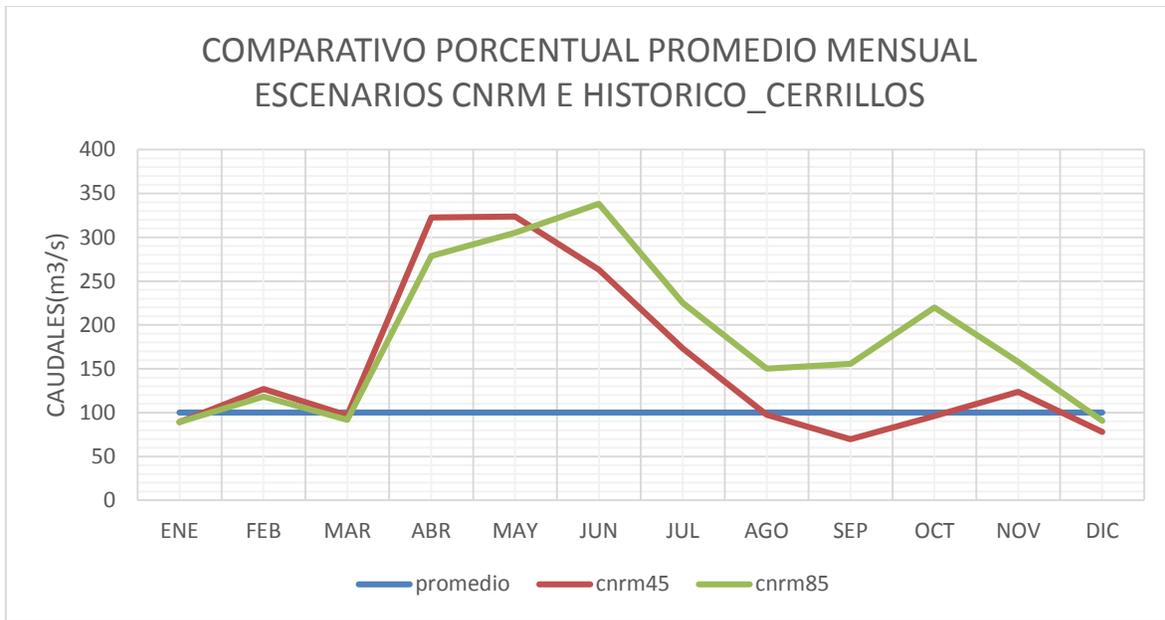


Figura 48: Comparativo porcentual promedio mensual CNRM E HISTORICO_CERRILLOS

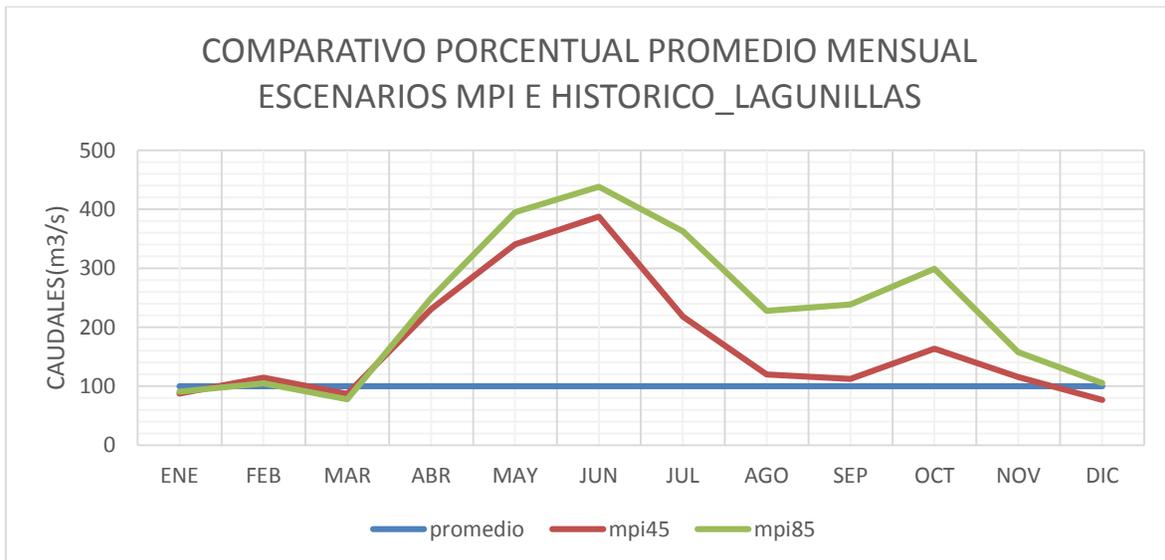


Figura 49: Comparativo porcentual promedio mensual MPI E HISTORICO_CERRILLOS

Comparativo de la climatología porcentual de las series de caudales generadas para las precipitaciones históricas y las series de caudales generados para los 6 escenarios de cambio climático de precipitaciones CANES4.5, CANES8.5, CNRM 4.5, CNRM 8.5, MPI 4.5, MPI8.5, para la subcuenca del Rio Cerrillos, se observa que los porcentajes promedios

mensuales se presentan en los seis escenarios en los meses de mayo y junio estos comparativos se muestran en las figuras N° 41 a la figura N° 46.

9.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDROLÓGICA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

9.3.1. Variación de la capacidad hidrológica con información Histórica

Con la información de caudales generados para la información histórica de precipitaciones en las subcuencas del Rio Verde y Rio Cerrillos (Lagunillas) y la demanda potencial que viene a constituir en la máxima demanda que podría cubrirse regulándose las aguas en cada una de estas subcuencas, desarrollando los Picos Secuenciales presentados en la metodología de cada una de estas subcuencas en estudio los cuales son mostrados en la figuras N° 47 y 48.

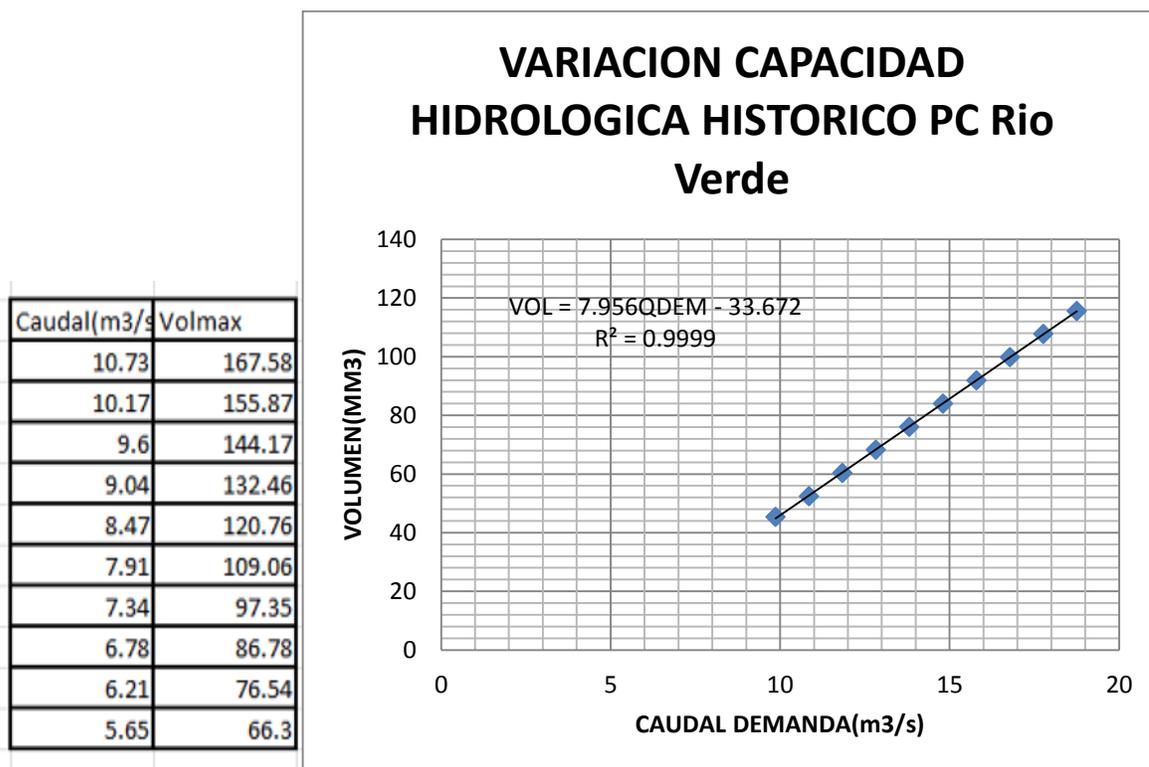


Figura 50: Volúmenes de almacenamiento y Variación capacidad hidrológica histórico PC VERDE

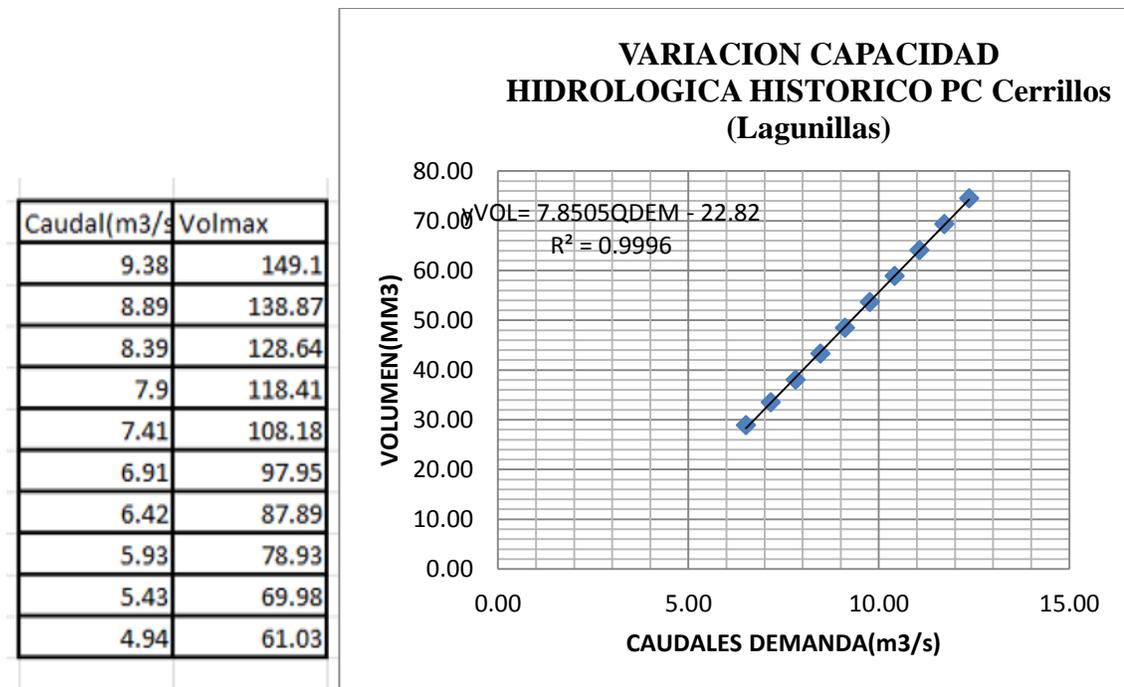


Figura 51: Volumen de almacenamiento y Variación capacidad hidrológica histórico PC RIO CERRILLOS

8.3.2. Variación de la capacidad hidrológica bajo el efecto del cambio climático

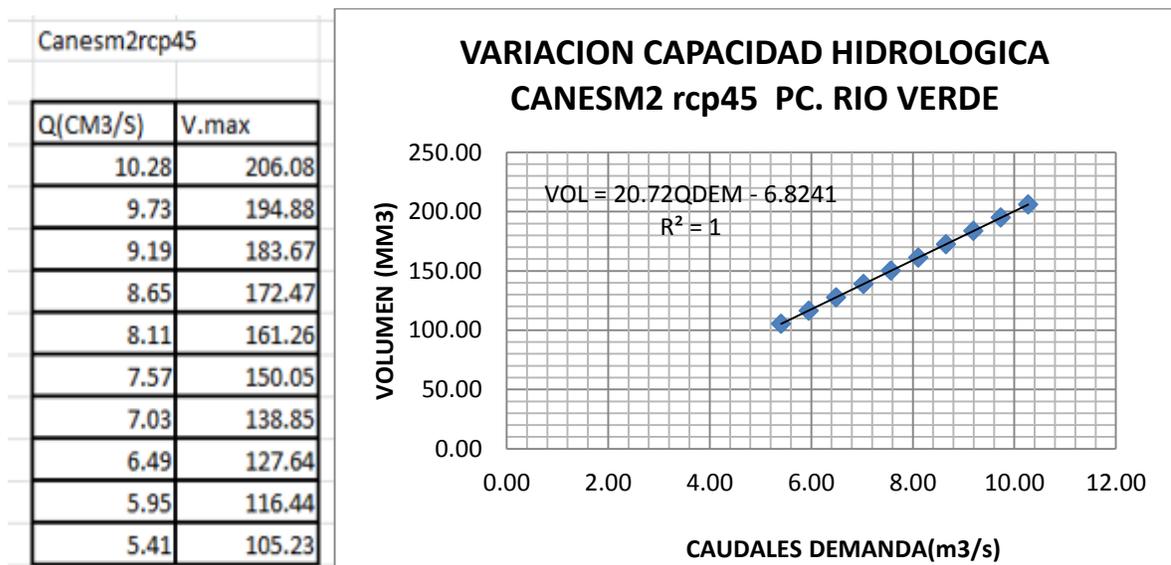


Figura 52: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CANESM2 rcp45 PC RIO VERDE

Canesm2 rcp45

Q(CM3/S)	V.max
13.75	278.2
13.03	263.2
12.31	248.2
11.58	233.2
10.86	218.2
10.13	203.2
9.41	188.2
8.69	173.2
7.96	158.2
7.24	143.2

VARIACION CAPACIDAD HIDROLOGICA CANESM2 rcp45 PC. RIO CERRILLOS

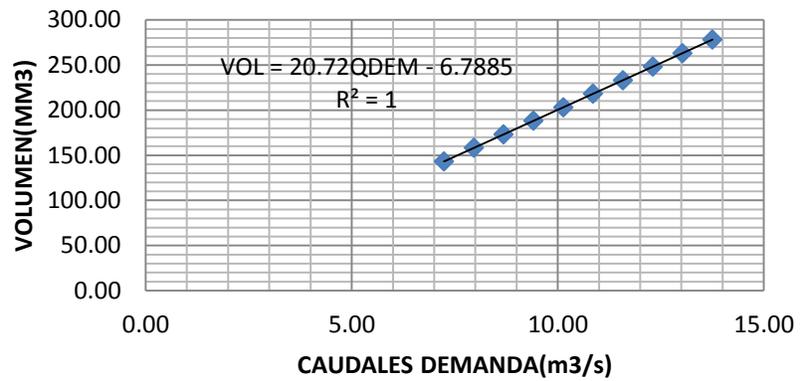


Figura 53: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CANESM2 rcp45 PC RIO CERRILLOS

Canesm2 rcp85

Q(CM3/S)	V.max
8.63	172
8.18	162.59
7.72	153.17
7.27	143.76
6.81	134.35
6.36	124.94
5.91	115.53
5.45	106.12
5	96.7
4.54	87.29

VARIACION CAPACIDAD HIDROLOGICA CANESM2 rcp85 PC. Rio Verde

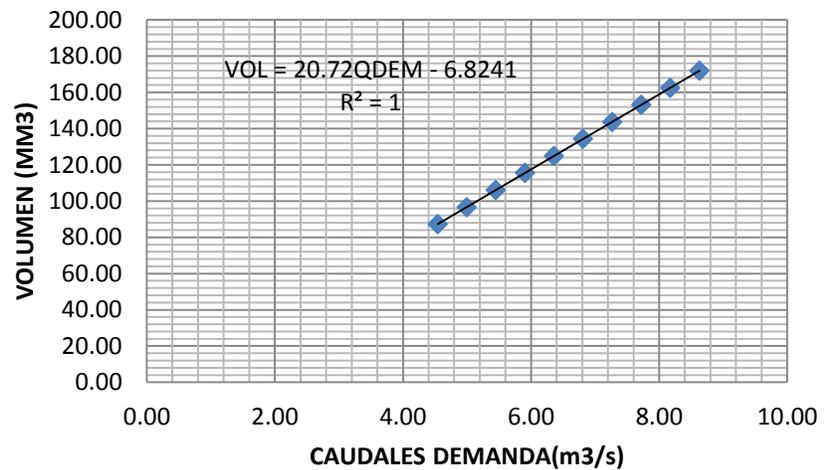


Figura 54: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CANESM2 rcp85 PC RIO VERDE

Canesm2 rcp85

Q(CM3/s)	V.max
15.4	312.26
14.59	295.47
13.78	278.68
12.97	261.89
12.16	245.1
11.35	228.3
10.54	211.51
9.73	194.72
8.91	177.93
8.1	161.13

VARIACION CAPACIDAD HIDROLOGICA CANESM2_rcp85 PC Rio Cerrillos

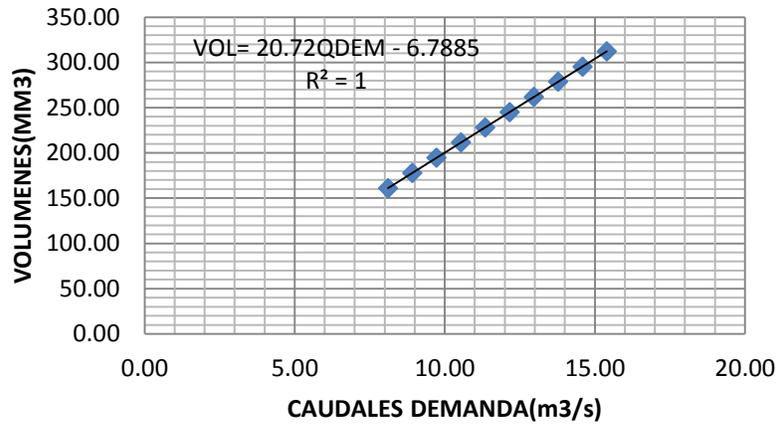


Figura 55: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CANESM2 rcp85 PC RIO CERRILLOS

CNRM_M5 rcp45

Q(CM3/s)	V.max
12.33	249.03
11.68	235.58
11.03	222.14
10.38	208.69
9.74	195.24
9.09	181.79
8.44	168.35
7.79	154.9
7.14	141.45
6.49	128

VARIACION CAPACIDAD HIDROLOGICA CNRM-CM5-rcp45 PC Rio Verde

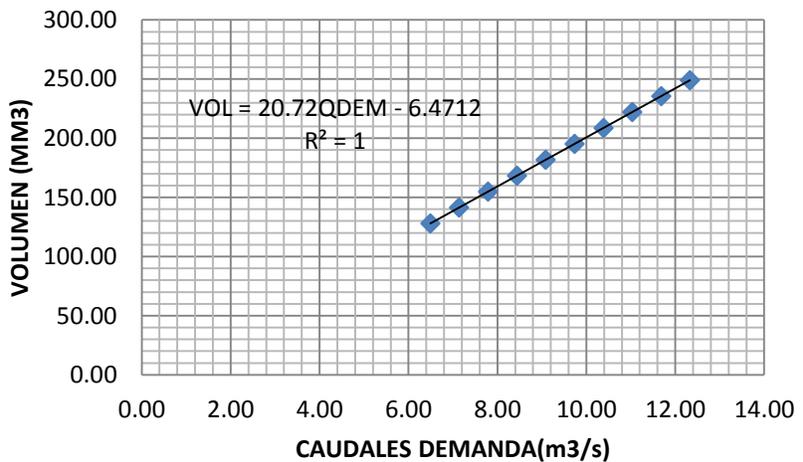


Figura 56: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CNRM-CM5 rcp45 PC RIO VERDE

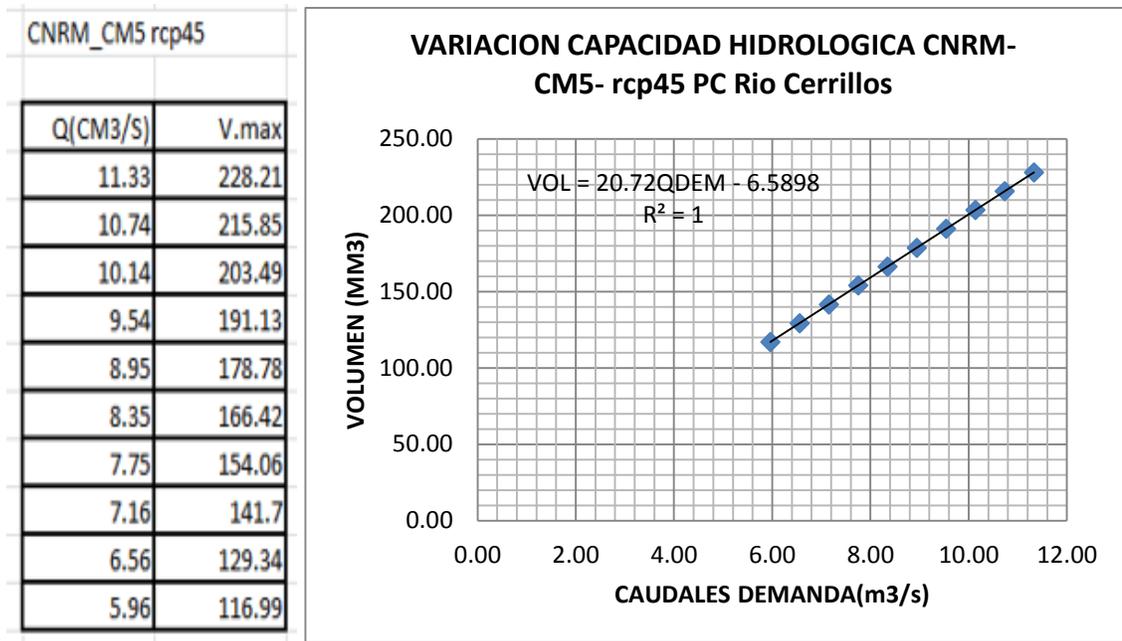


Figura 57: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CNRM-CM5 rcp45 PC RIO CERRILLOS

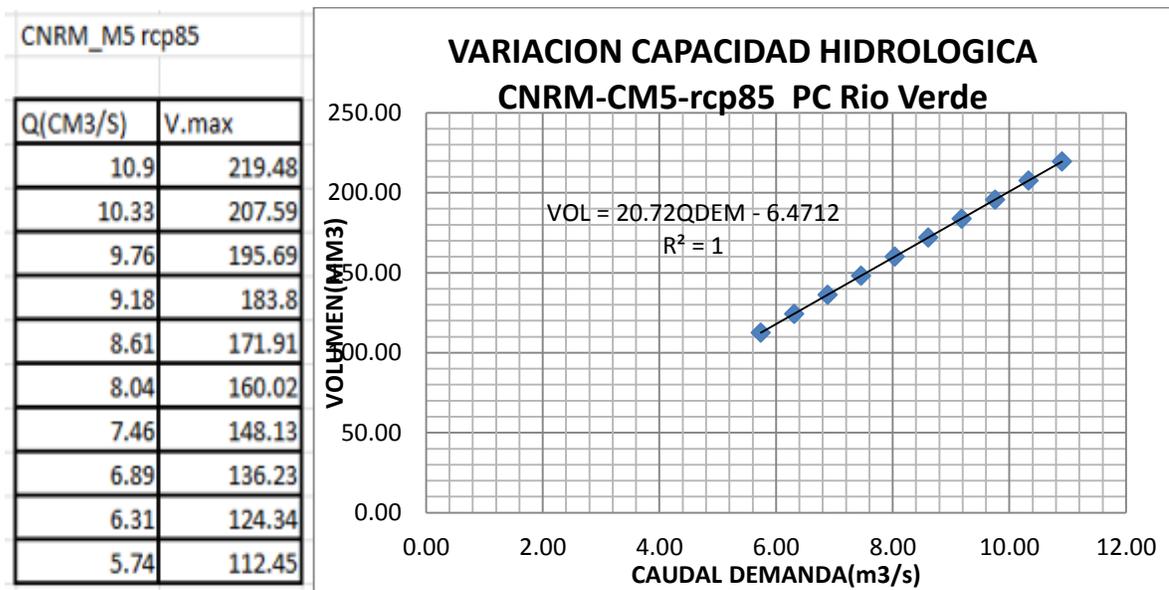


Figura 58: Volumen de almacenamiento y Variación capacidad hidrológica CNRM-CM5 rcp85 PC VERDE

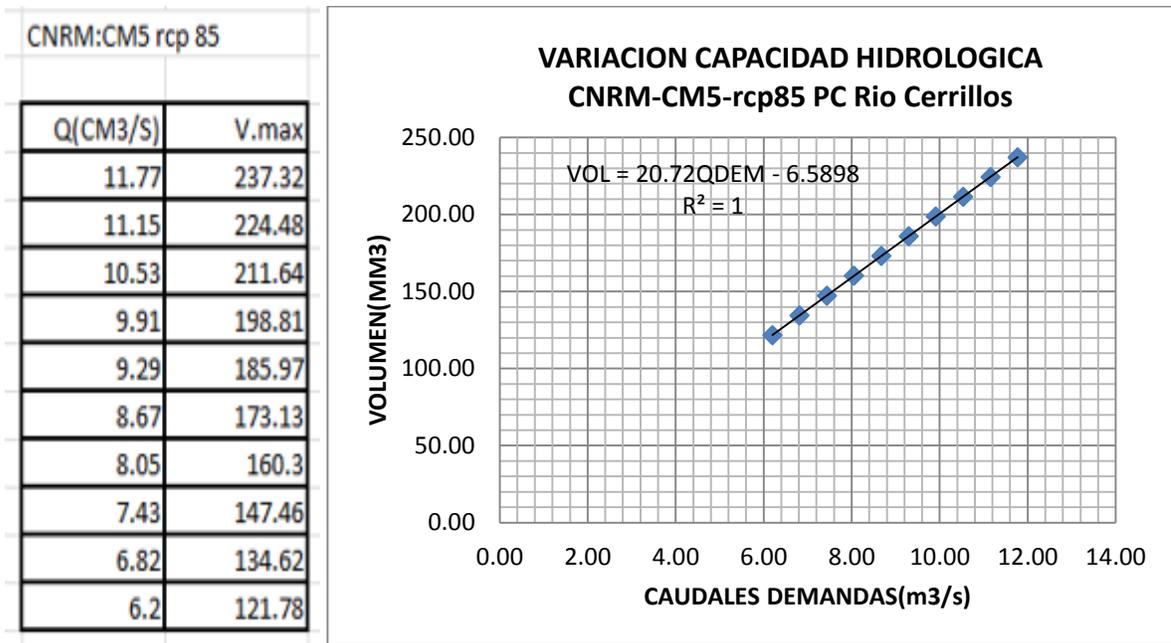


Figura 59: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica CNRM-CM5 rcp45 PC RIO CERRILLOS

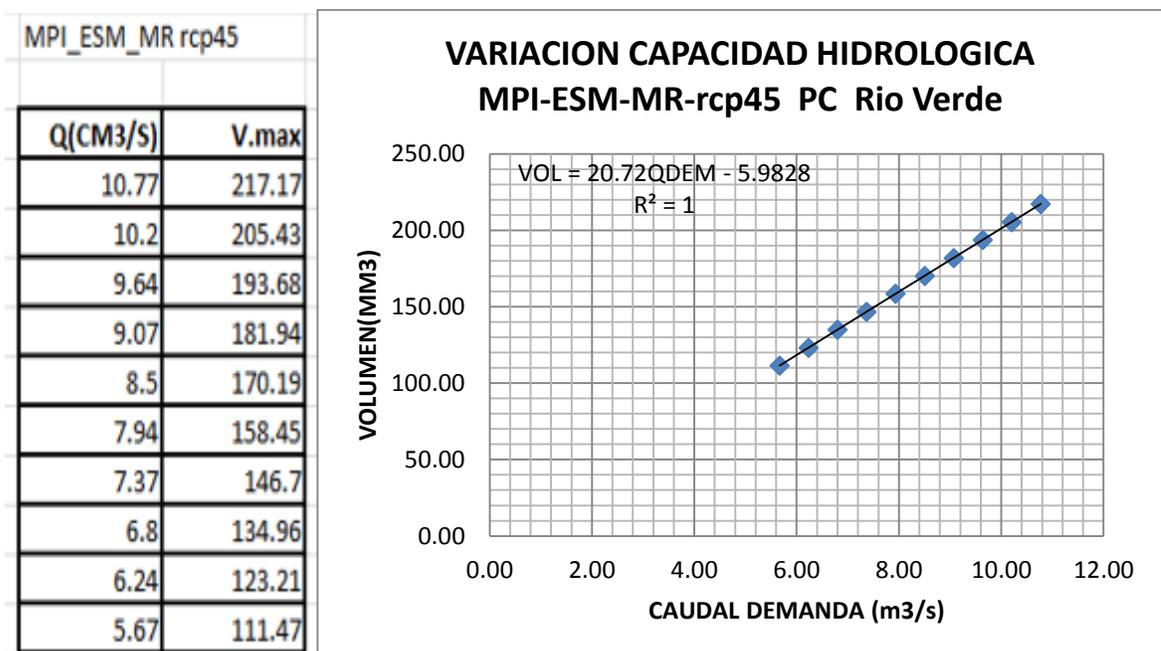


Figura 60: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica MPI-ESM-MR rcp45 PC RIO VERDE

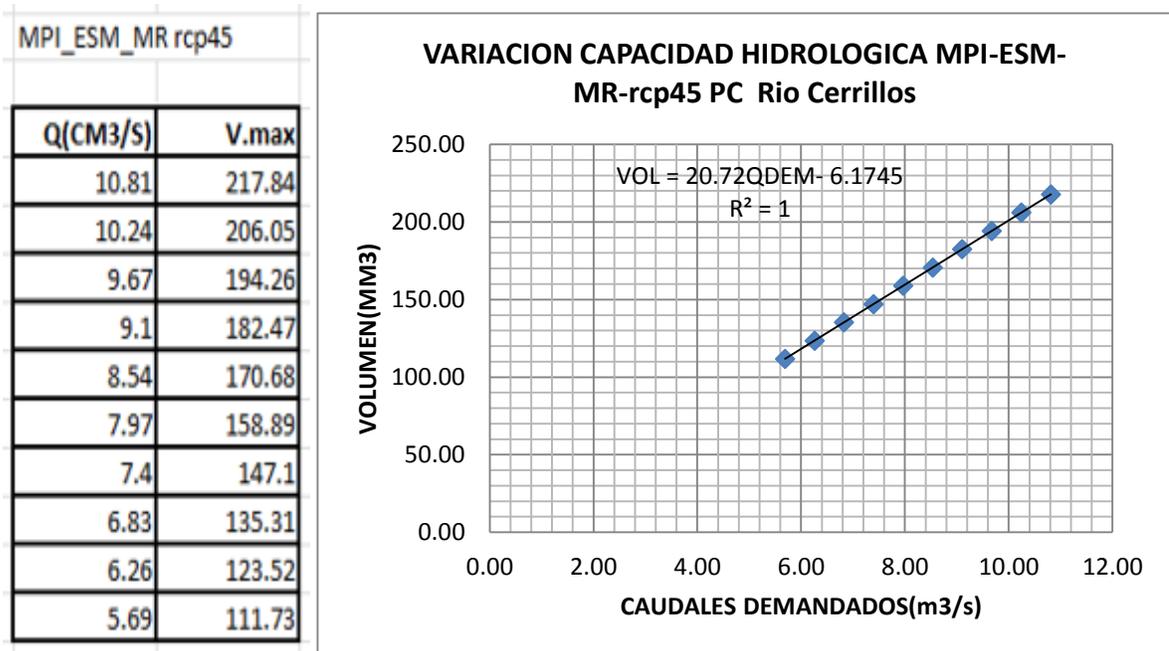


Figura 61: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica MPI-ESM-MR rcp45 PC Rio Cerrillos

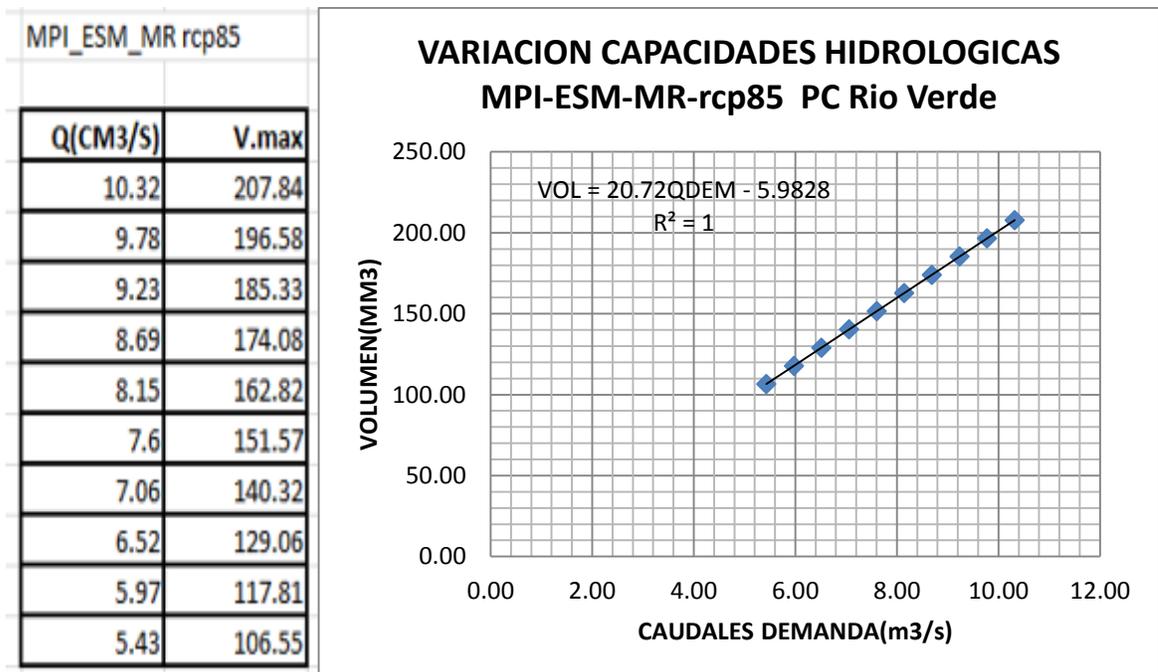


Figura 62: Volumen de almacenamiento y Variación capacidad hidrológica MPI-ESM-MR rcp85 PC RIO VERDE

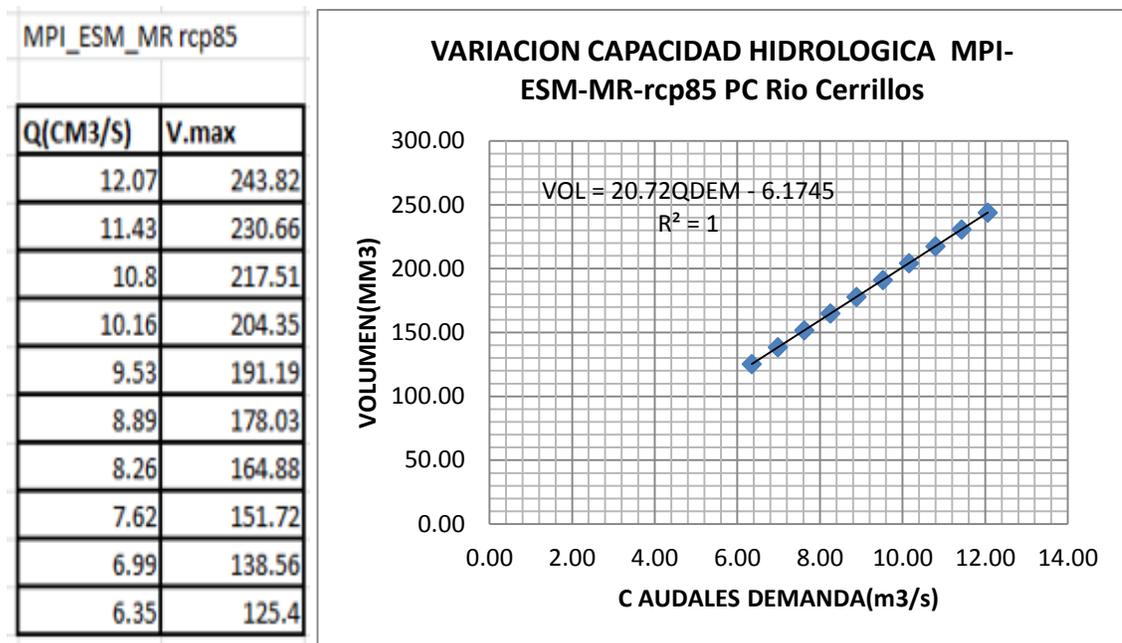


Figura 63: Volumen de almacenamiento y variación capacidad hidrológica MPI-ESM-MR rcp85 PC Rio Cerrillos

Comentario:

Con la Información de caudales generados bajo el efecto del cambio climático para seis escenarios de precipitaciones CANESM2 rcp45, CANESM2 cnrm rcp45, cnrm rcp85, mdi rcp45, mdi rcp85, rcp85 y comparados con la información histórica en las subcuencas del Rio Verde y Rio Cerrillos(Lagunillas) y la demanda potencial para las mismas basadas en el cálculo del caudal promedio multianual bajo el efecto de estos escenarios de cambio climático se ha desarrollado el algoritmo de los Picos Secuenciales presentados en la metodología, este cálculo se ha simulado para varios porcentajes de esta demanda potencial para poder visualizar su influencia en la determinación de la variación de las capacidades hidrológicas posibles que podrían permitir la regulación más óptima en cada una de estas subcuencas en estudio los cuales son mostrados en la figuras N° 47 a la 60.

De lo cual se observa que para un mismo caudal de demanda se obtiene mayores volúmenes de los caudales generados bajo el efecto de Cambio Climático que los caudales con información histórica de las subcuencas del rio Cerrillos y rio Verde.

9.4. MODELAMIENTO DEL SISTEMA CON PROGRAMA WEAP CON INFORMACION HISTORICA Y BAJO EFECTO DE CAMBIO CLIMATICO

Los resultados principales se centran en la evaluación de la información histórica y de los seis escenarios hidrológicos con efecto de Cambio Climático, proyectados en las estaciones pluviométricas para dos periodos de tiempo continuos, para información histórica desde enero de 1956 a diciembre de 2016; y Futuro desde enero de 2005 a diciembre de 2099.

El modelamiento del sistema se hizo en primer lugar bajo condiciones reales con información histórica y en segundo lugar bajo influencia del cambio climático, planteando 3 escenarios de funcionamiento de almacenamiento y demandas asumidas, los cuales son presentados: solo con almacenamiento de la Presa Lagunillas, con trasvasamiento de las aguas del rio Verde a la Presa de Lagunillas y con almacenamiento de la Presa de Lagunillas y almacenamiento en la Presa del rio Verde.

9.4.1. MODELADO DEL SISTEMA BAJO 3 ESCENARIOS DE FUNCIONAMIENTO DE ALMACENAMIENTO Y DEMANDAS PLANTEADAS AL 100% Y 2 ESCENARIOS CON DEMANDAS AL 50% CON INFORMACIÓN HISTÓRICA.

El sistema se ha modelado bajo varios escenarios de almacenamiento y de demanda los cuales son presentados a continuacion:

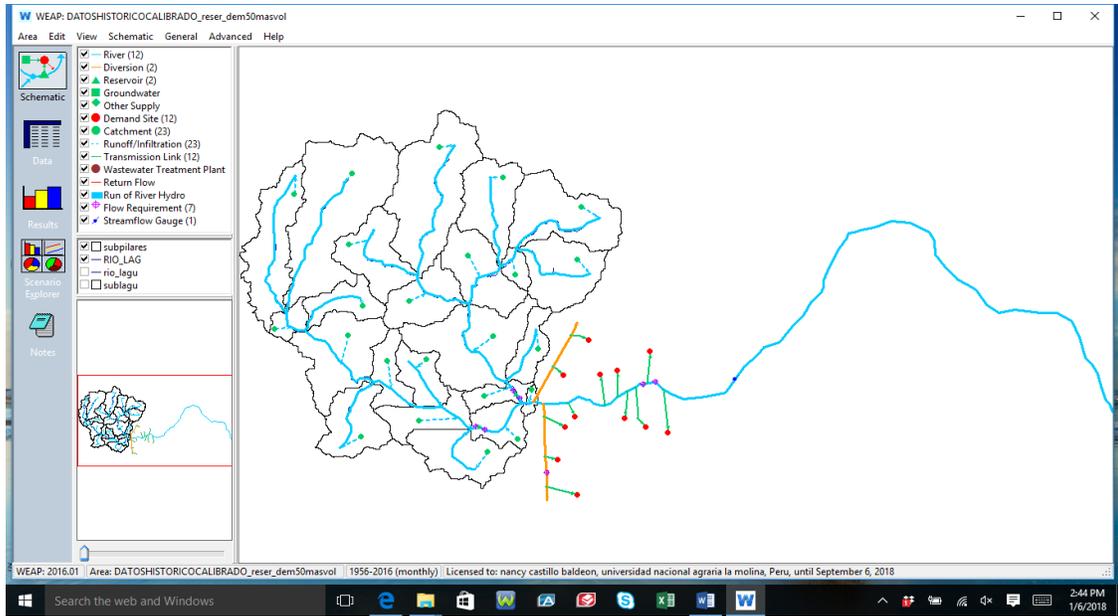


Figura 64: Croquis de modelamiento de la oferta y demanda del sistema planteado

9.4.1.1. PRIMER ESCENARIO

El sistema con regulacion en lagunillas y rio verde no regulado con las demandas al 100% aguas abajo

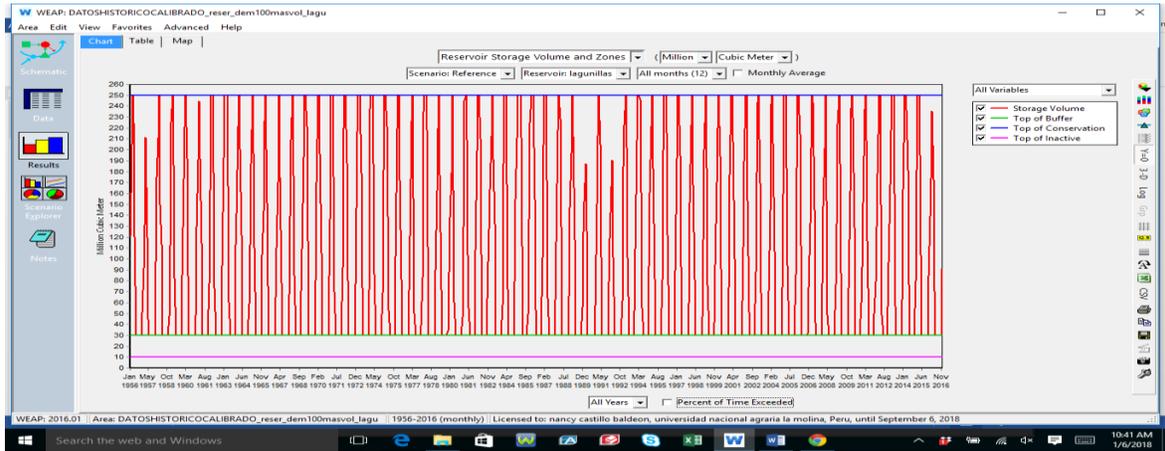


Figura 65: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)



Figura 66: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

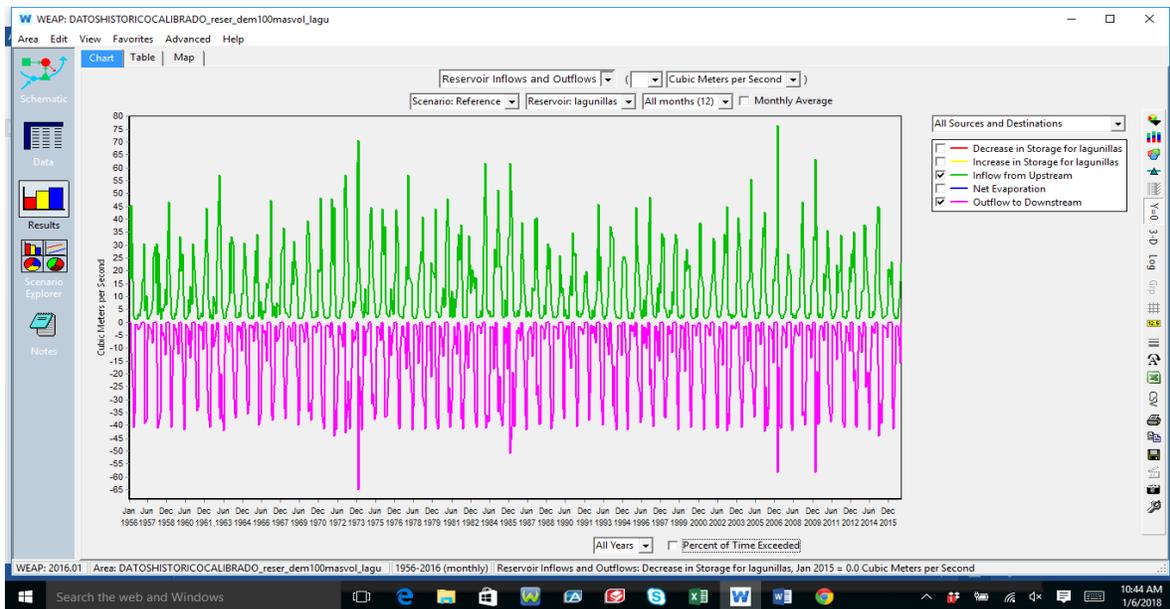


Figura 67: Caudales ingreso y salidas, Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

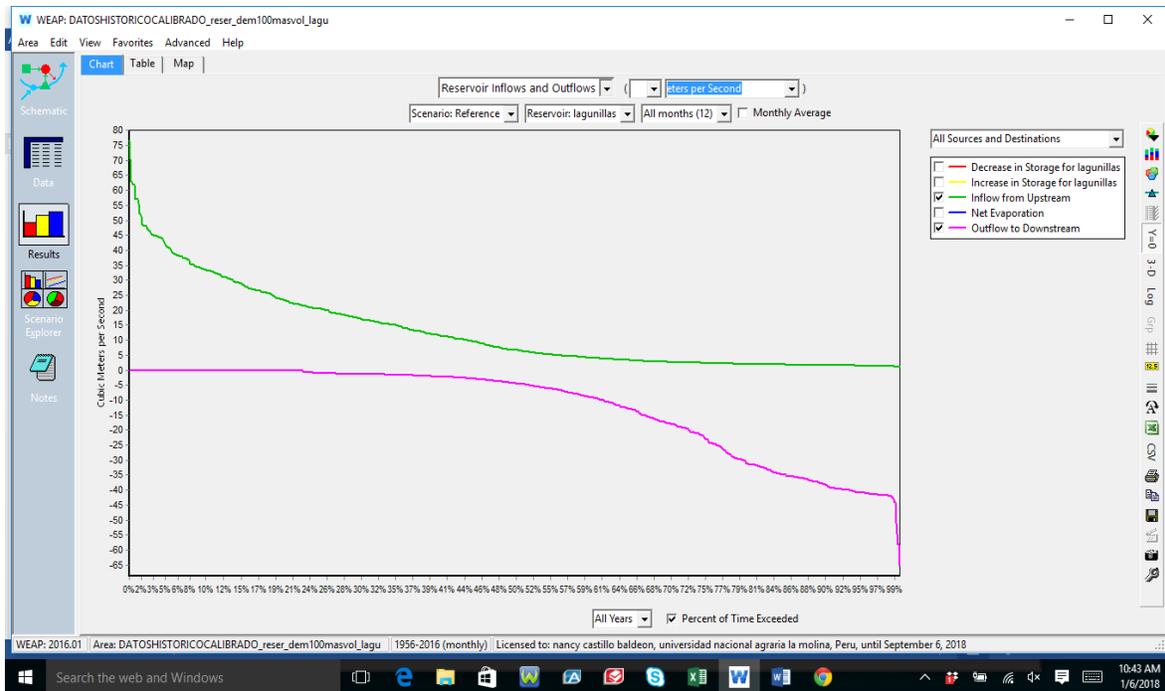


Figura 68: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

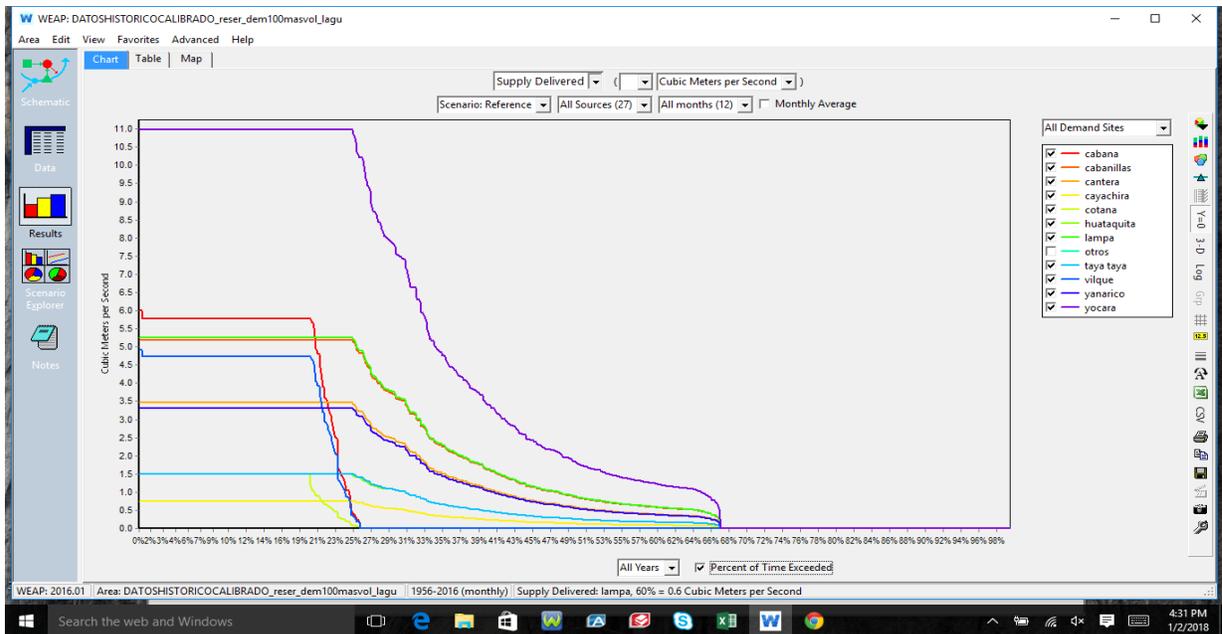


Figura 69: Demandas entregadas Operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

Comentario:

El embalse de Lagunillas presenta hasta un 11% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 13 a 53% y de 53% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3. Las demandas planteadas no son satisfechas completamente solo en un 30%, donde nos muestra las persistencias de las demandas entregadas para cada una de ellas. Ver figuras del 67 al 71.

9.4.1.2. SEGUNDO ESCENARIO

El sistema con regulacion en lagunillas y rio verde trasvasado y almacenado en lagunillas con las demandas al 100% aguas abajo

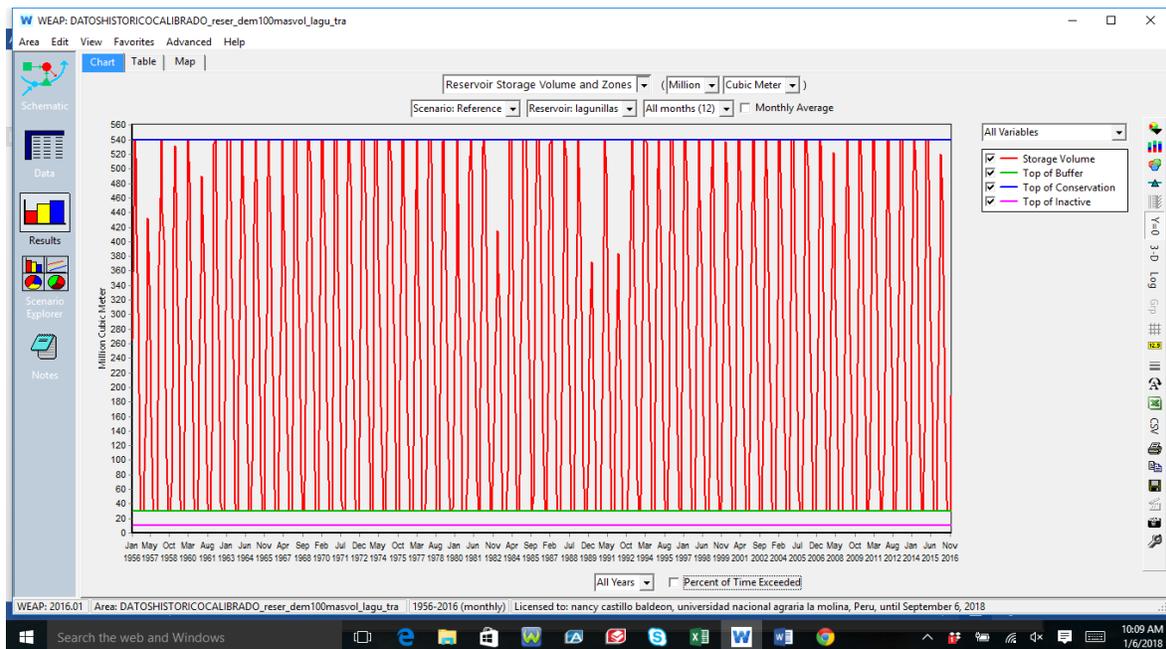


Figura 70: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)



Figura 71: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

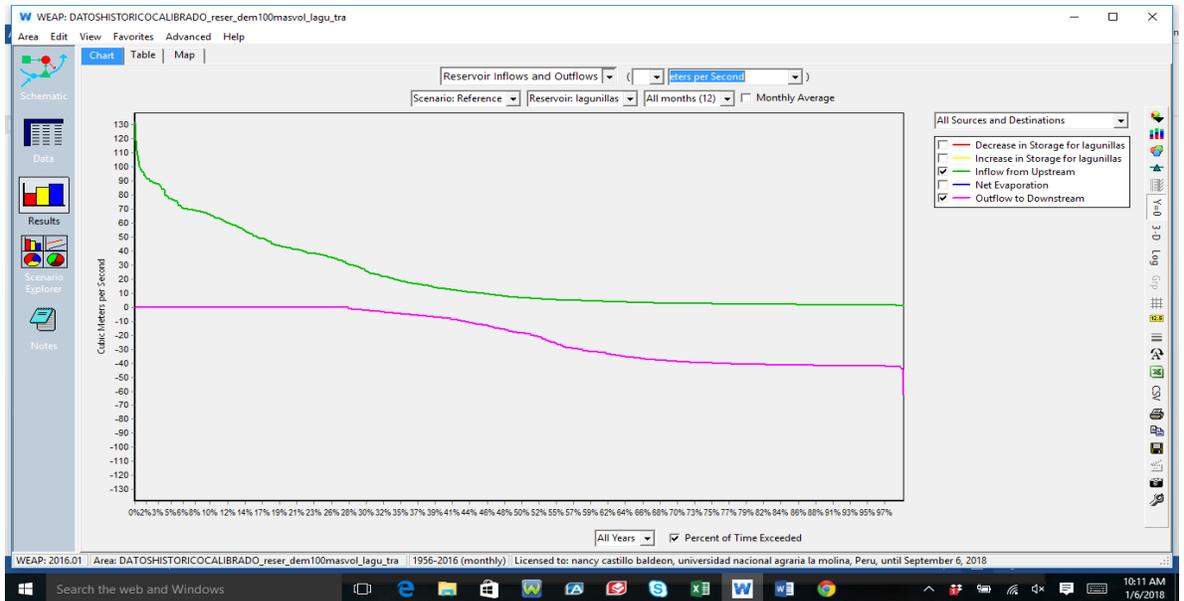


Figura 72: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)



Figura 73: Demandas entregadas satisfechas Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

Comentario:

El embalse de Lagunillas presenta hasta un 13% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 13 a 78% y de 78% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3. Las demandas planteadas son satisfechas solo en un 52%, donde nos muestra las persistencias de las demandas entregadas para cada una de ellas. Ver figuras del N°72 al 75.

9.4.1.3. TERCER ESCENARIO

El sistema con regulacion en lagunillas y rio verde almacenado en un nuevo reservorio con las demandas al 100% aguas abajo

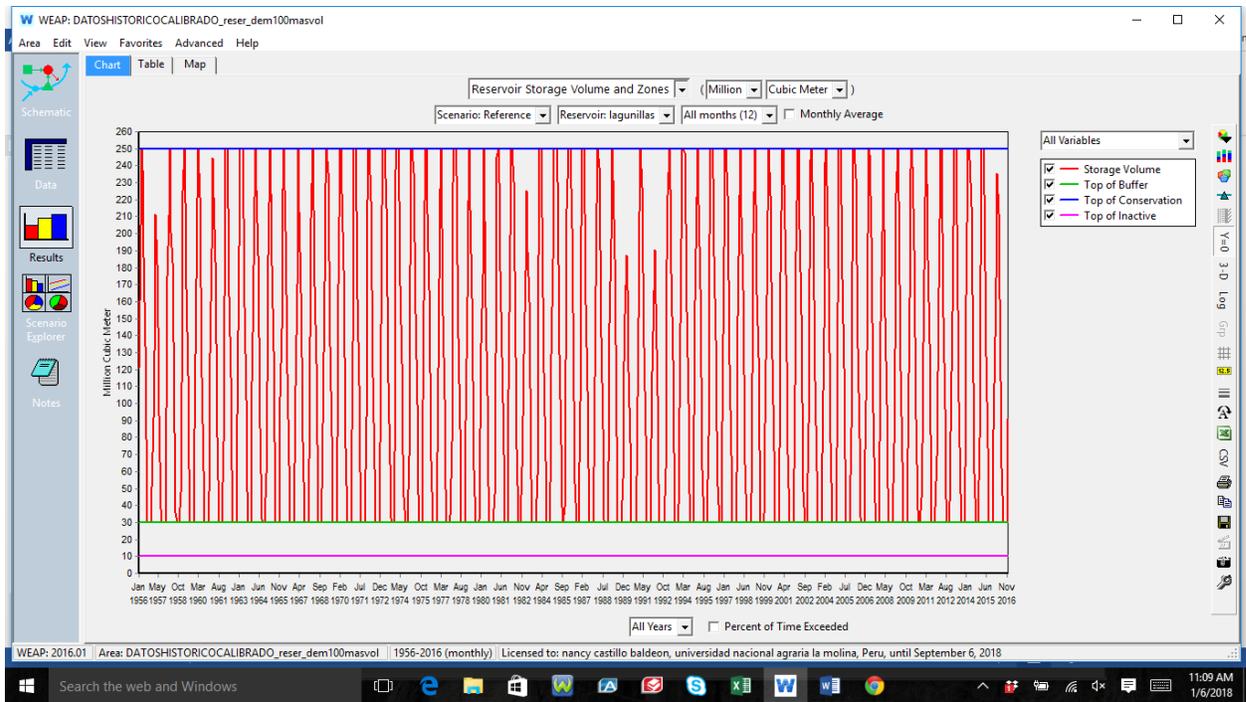


Figura 74: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)

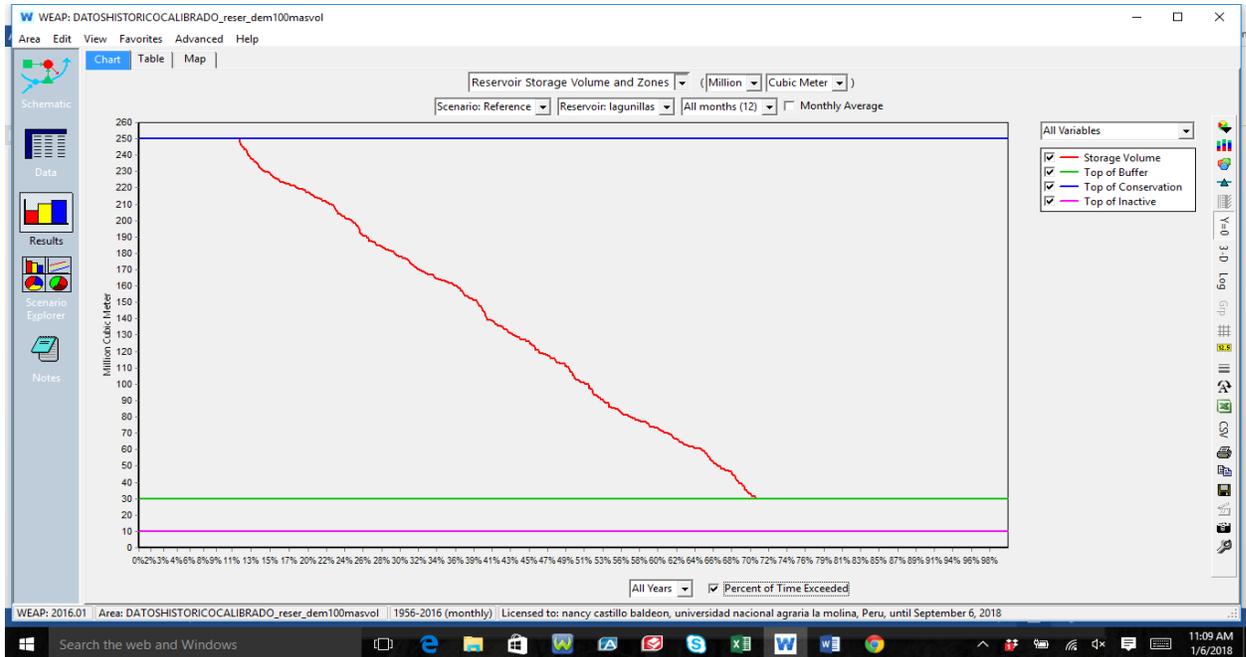


Figura 75: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)

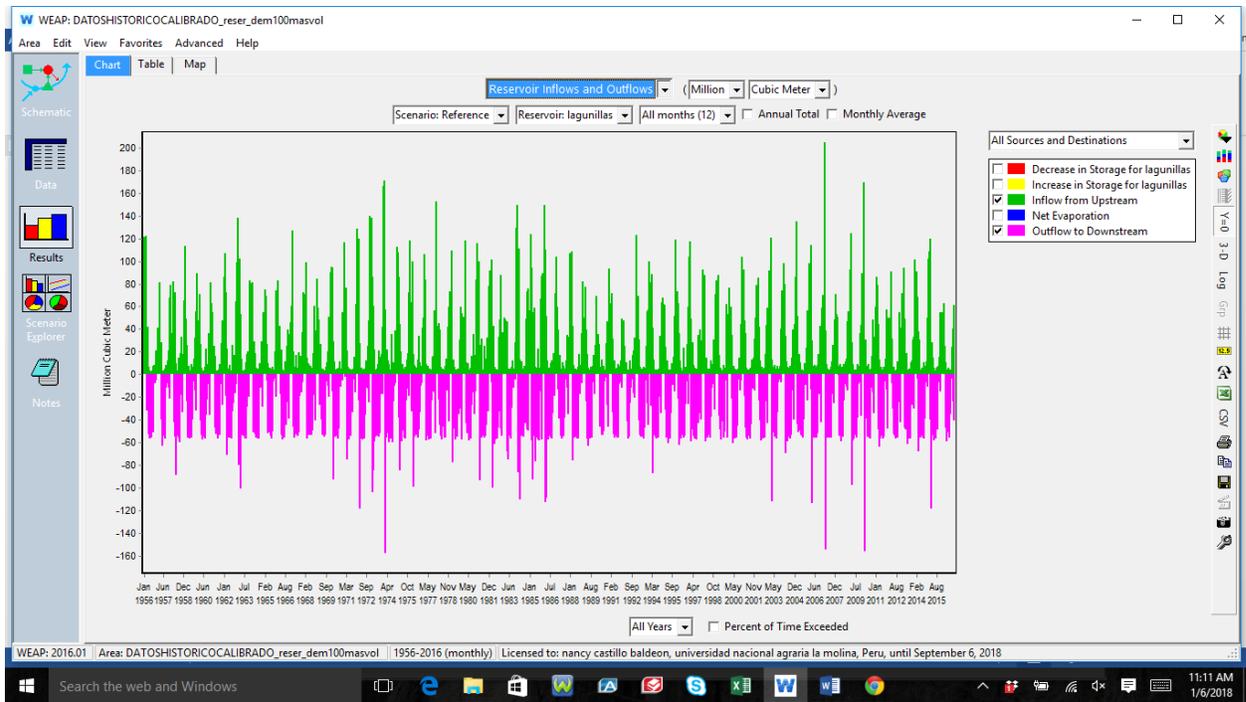


Figura 76: caudales ingresados y egresados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)



Figura 77: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)

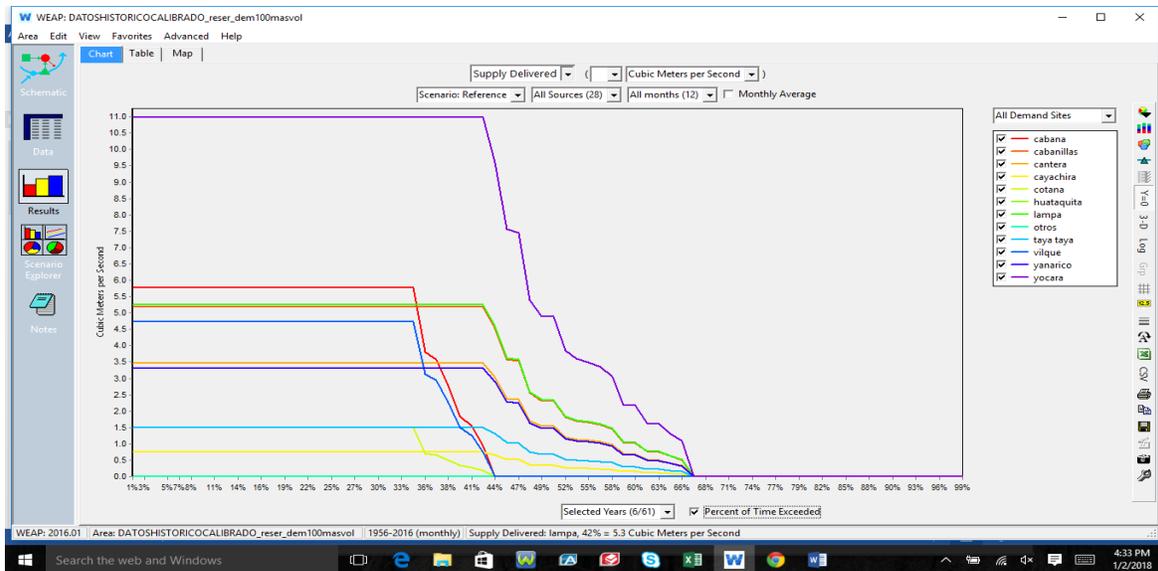


Figura 78: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)

Comentario:

El embalse de Lagunillas presenta hasta un 15% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 13 a 72% y de 72% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3 Figura 86. Las demandas planteadas son satisfechas en un 60%, donde nos muestra las persistencias de las demandas entregadas para cada una de ellas. Ver figuras del N° 76 al 80.

9.4.1.4. CUARTO ESCENARIO

El sistema con regulacion en lagunillas y rio verde no regulado con las demandas al 50% aguas abajo



Figura 79: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y con las demandas planteadas (50%)



Figura 80: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y con las demandas planteadas (100%)

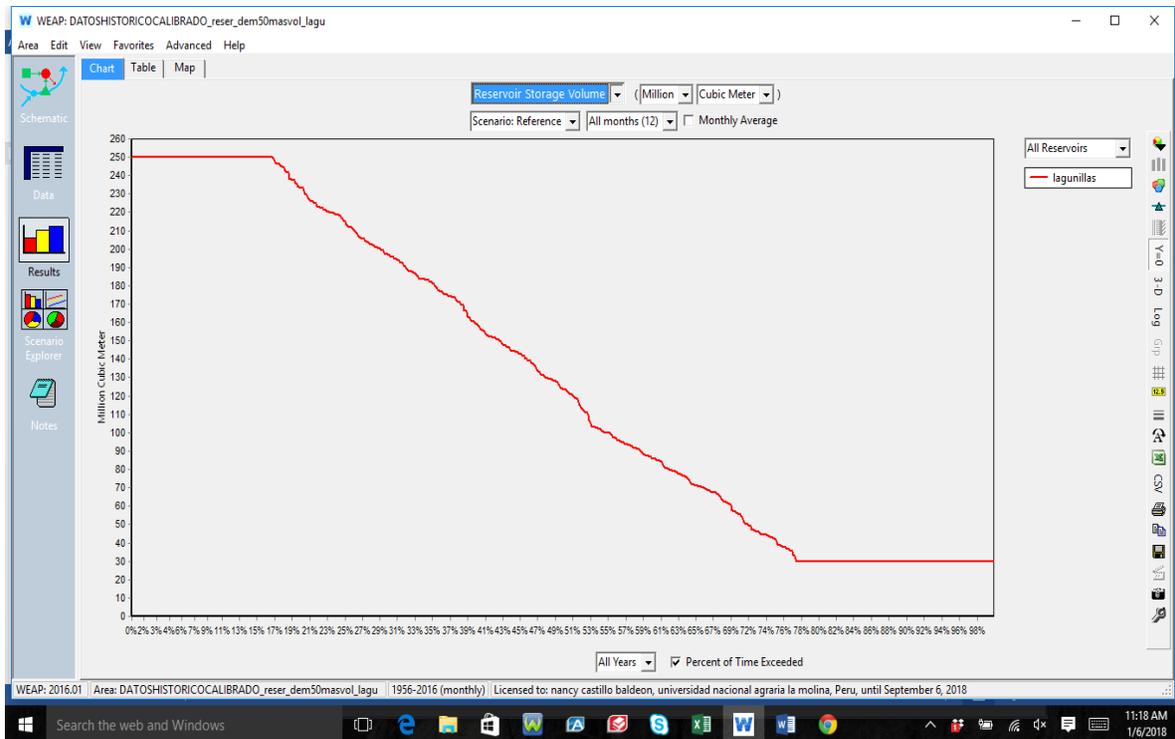


Figura 81: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y con las demandas planteadas (100%)

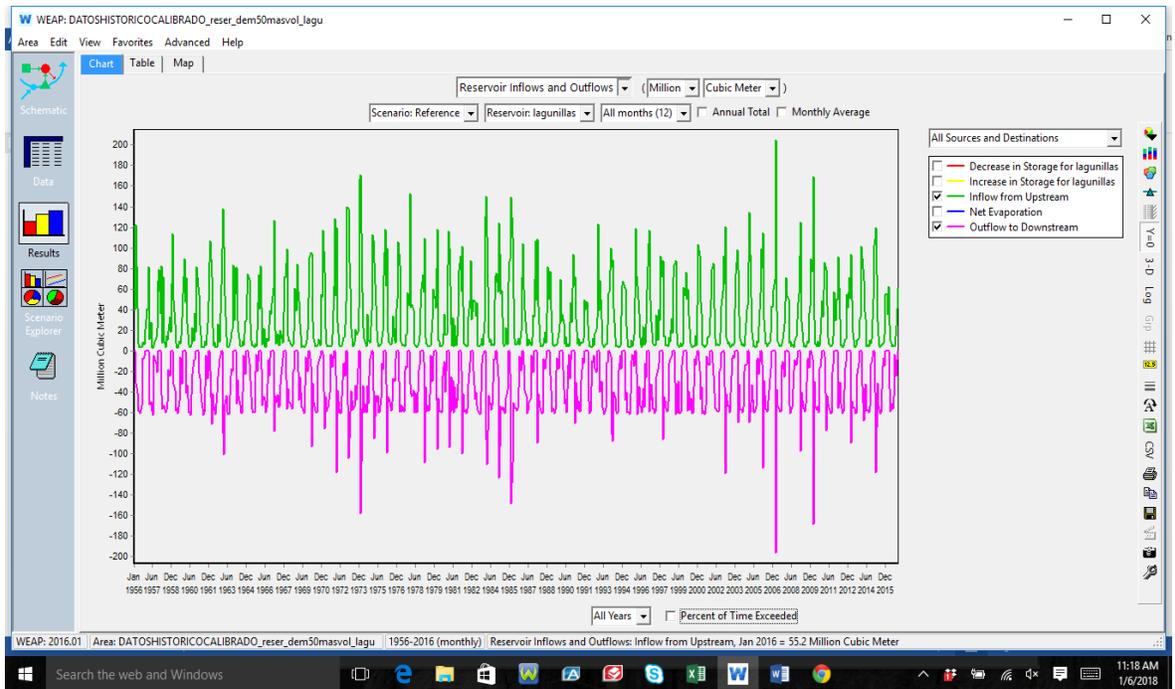


Figura 82: Caudales ingresados y egresados en lagunillas, con regulación en lagunillas y rio verde no regulado con las demandas al 50

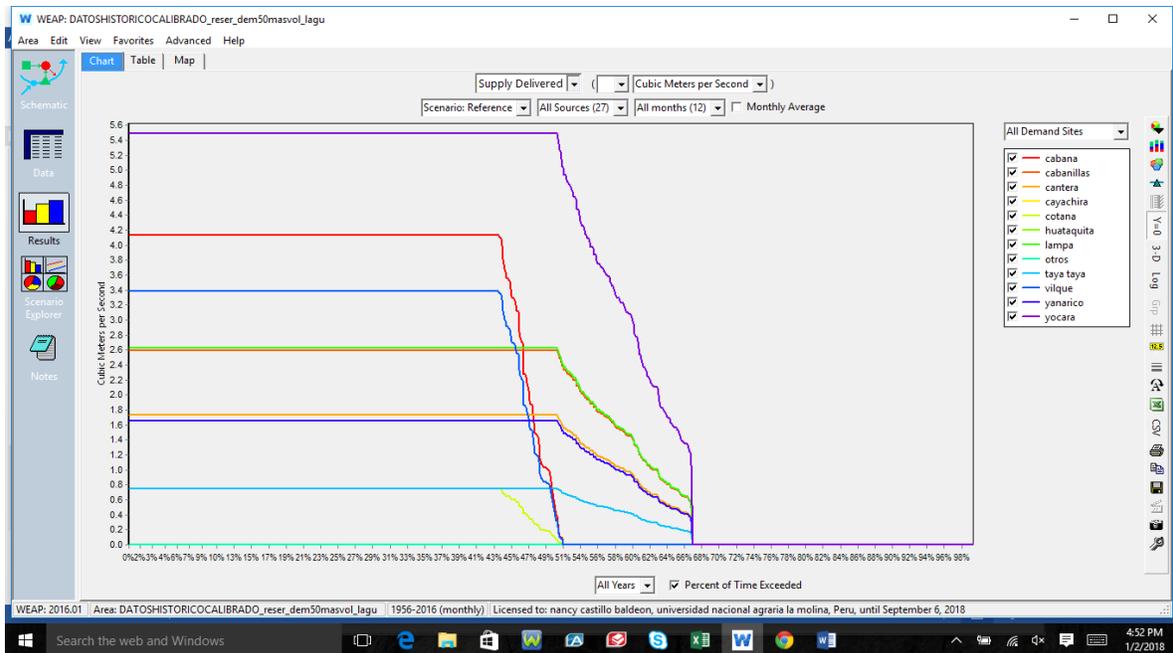


Figura 83: Demandas entregadas operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (50%)

Comentario:

El embalse de Lagunillas presenta hasta un 15% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 15 a 78% y de 78% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3. Las demandas planteadas son satisfechas solo en un 80%, donde nos muestra las persistencias de las demandas entregadas para cada una de ellas. Ver figuras del N° 81 al 85.

9.4.1.5. QUINTO ESCENARIO

El sistema con regulacion en lagunillas y rio verde regulado con las demandas al 50% aguas abajo

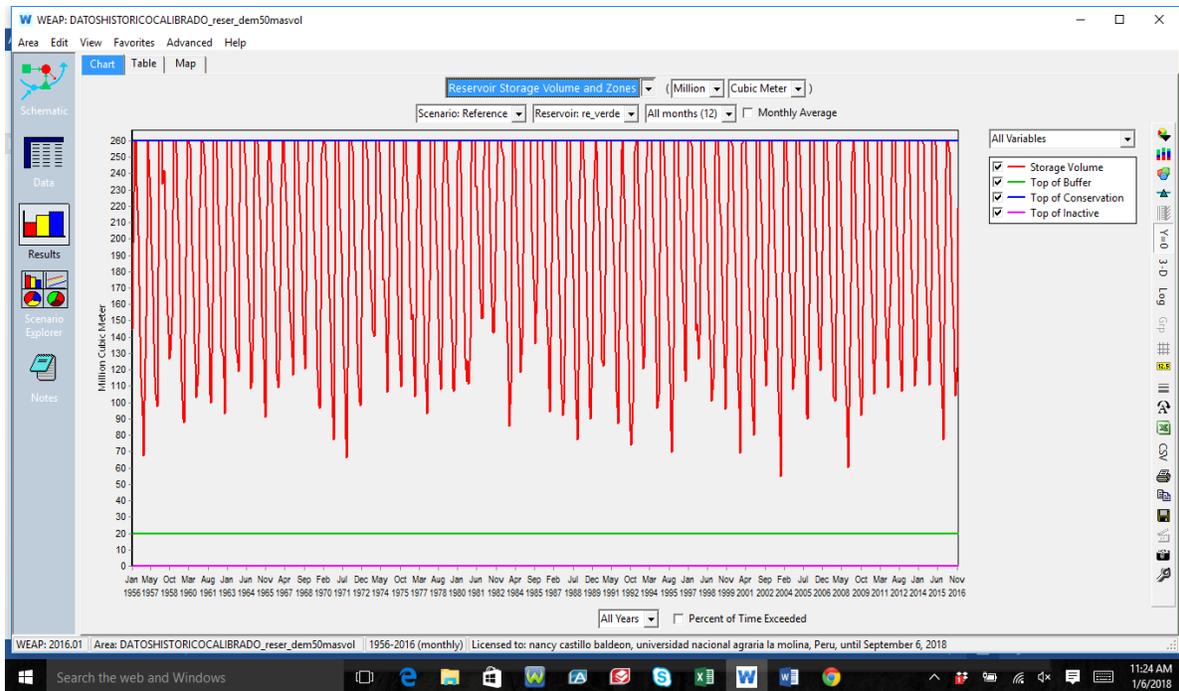


Figura 84: Volúmenes Almacenados en lagunillas, operando lagunillas, y aguas del rio verde regulado y con las demandas planteadas (100%)



Figura 85: Volúmenes Almacenados en lagunillas, operando lagunillas, y aguas del rio verde regulado y con las demandas planteadas (100%)



Figura 86: Volúmenes Almacenados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio del rio verde regulado y con las demandas planteadas (100%)



Figura 87: Demandas entregadas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (50%)

Comentario:

El embalse de Lagunillas presenta hasta un 25% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 15 a 78% y de 78% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3. Las demandas planteadas son satisfechas completamente al 100%, tal como se muestran en las Figuras del 86 al 89 donde nos muestra las persistencias de las demandas entregadas para cada una de ellas.

9.4.2. MODELAMIENTO DEL SISTEMA PARA 3 ESCENARIOS DE FUNCIONAMIENTO DE ALMACENAMIENTO Y DE DEMANDAS PLANTEADAS AL 100% Y 1 ESCENARIO DE REFERENCIA AL 50% PARA CUATRO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO: CANES45, CANES85, CNRM_CMI45, CNRM_CMI85

9.4.2.1. PRIMER ESCENARIO:

El sistema con regulacion en lagunillas y rio verde no regulado con las demandas al 100% aguas abajo



Figura 88: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICO

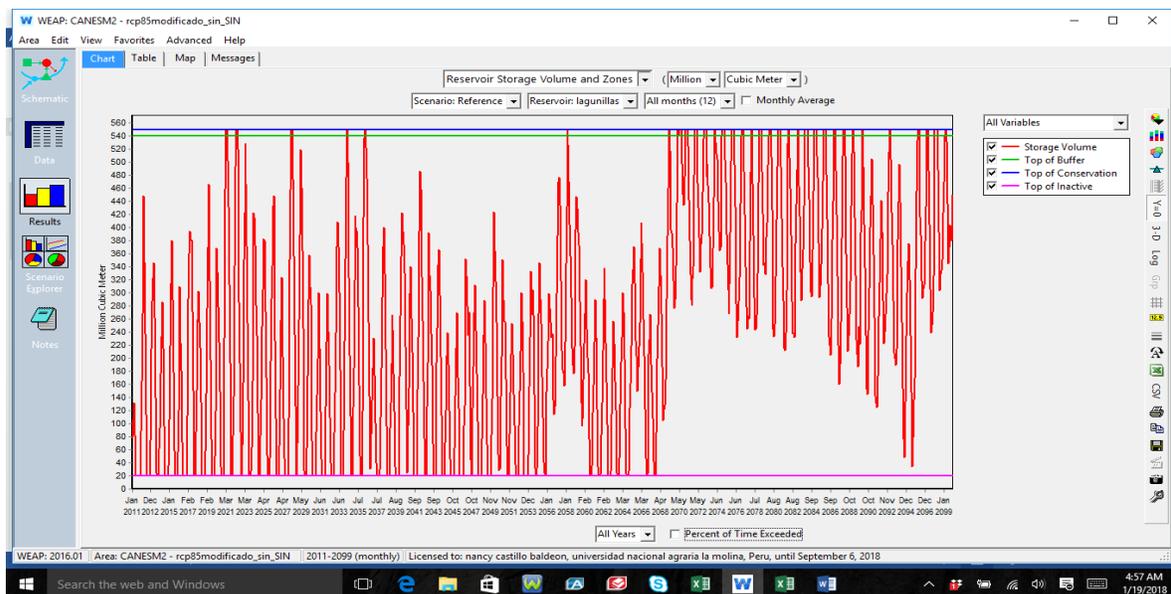


Figura 89: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información CANES4.5

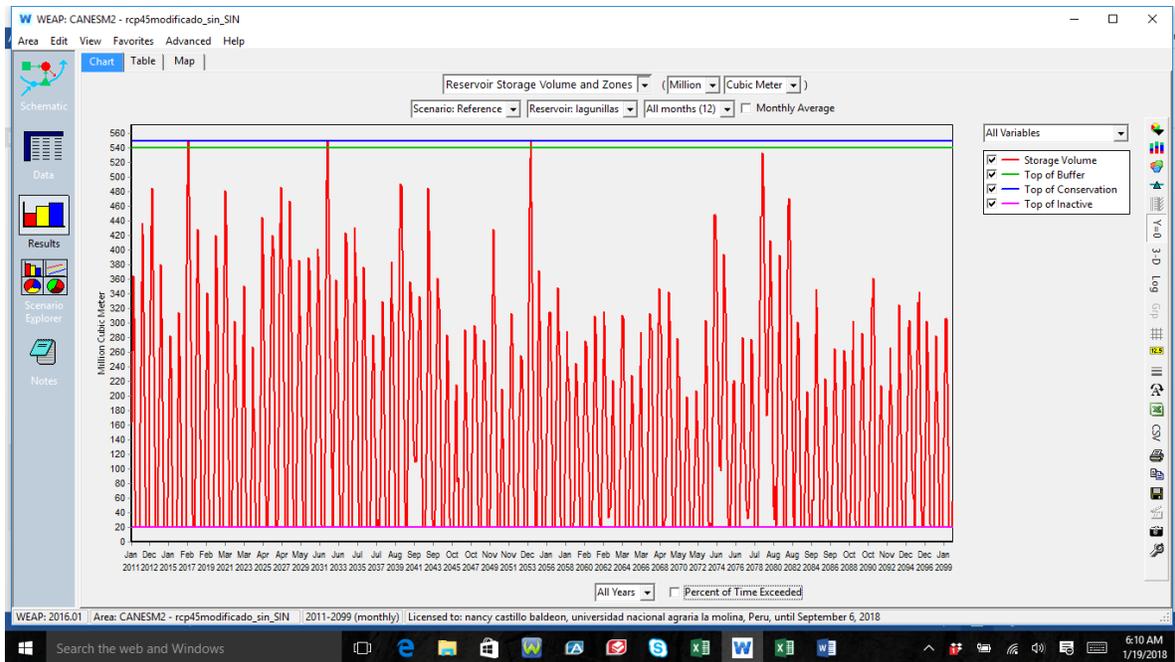


Figura 90: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información CANES8.5

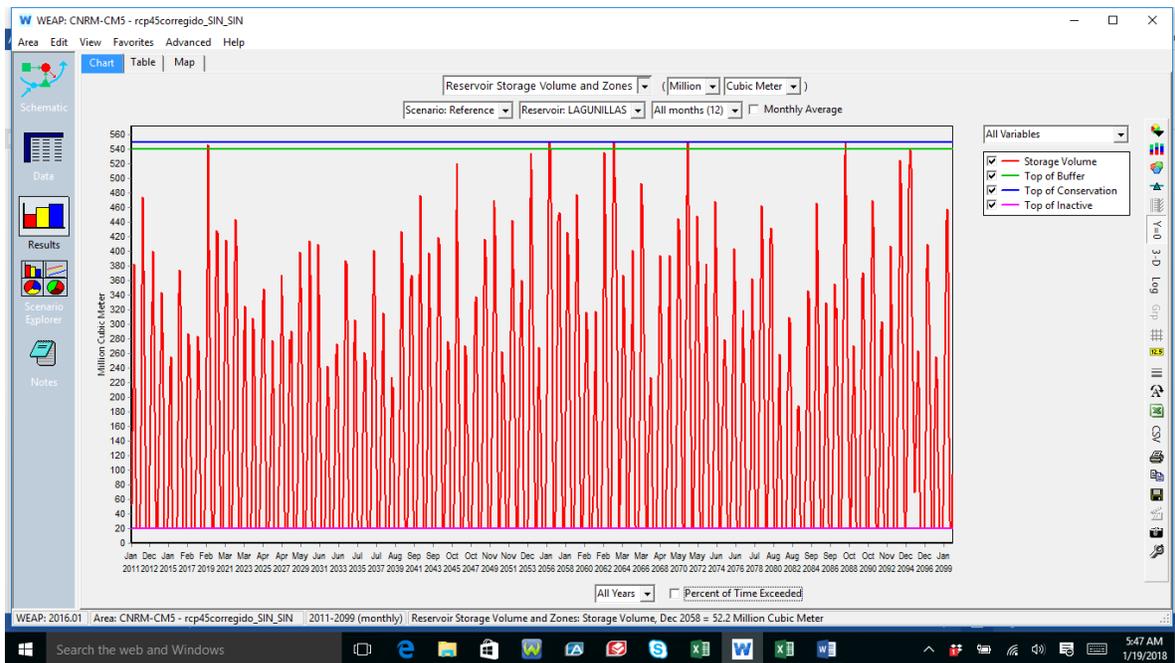


Figura 91: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información CNRM_CMI4.5

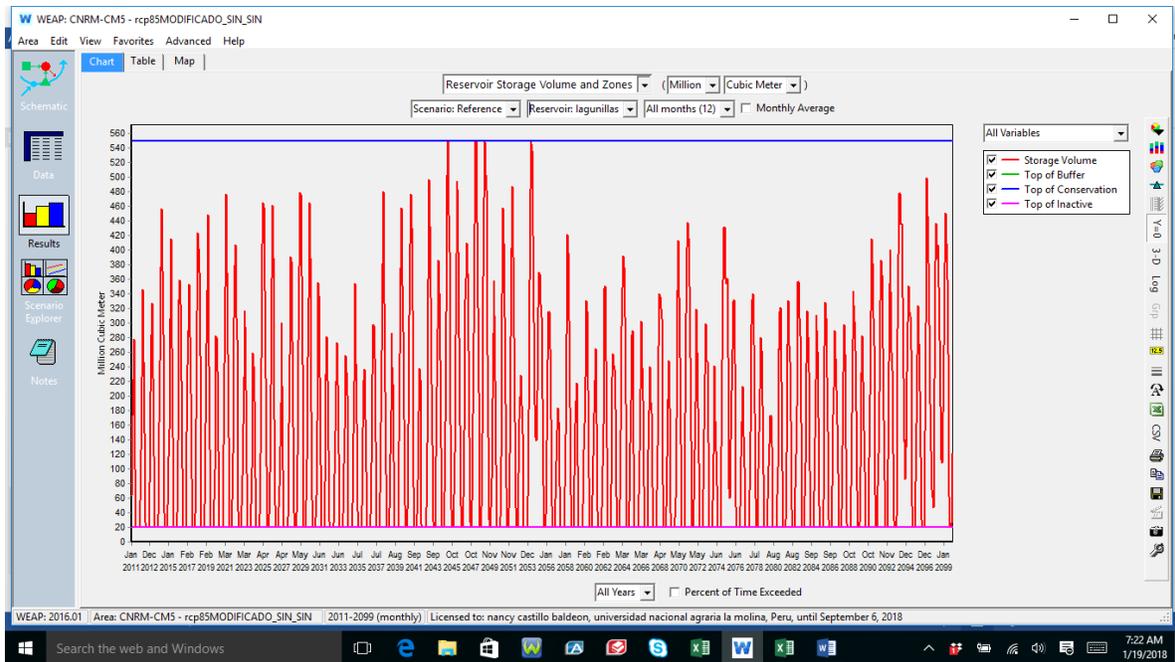


Figura 92: Volúmenes Almacenados operando lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información CNRM_CMI8.5

a) Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información histórico y los cuatro escenarios de cambio climático



Figura 93: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%. HISTORICO

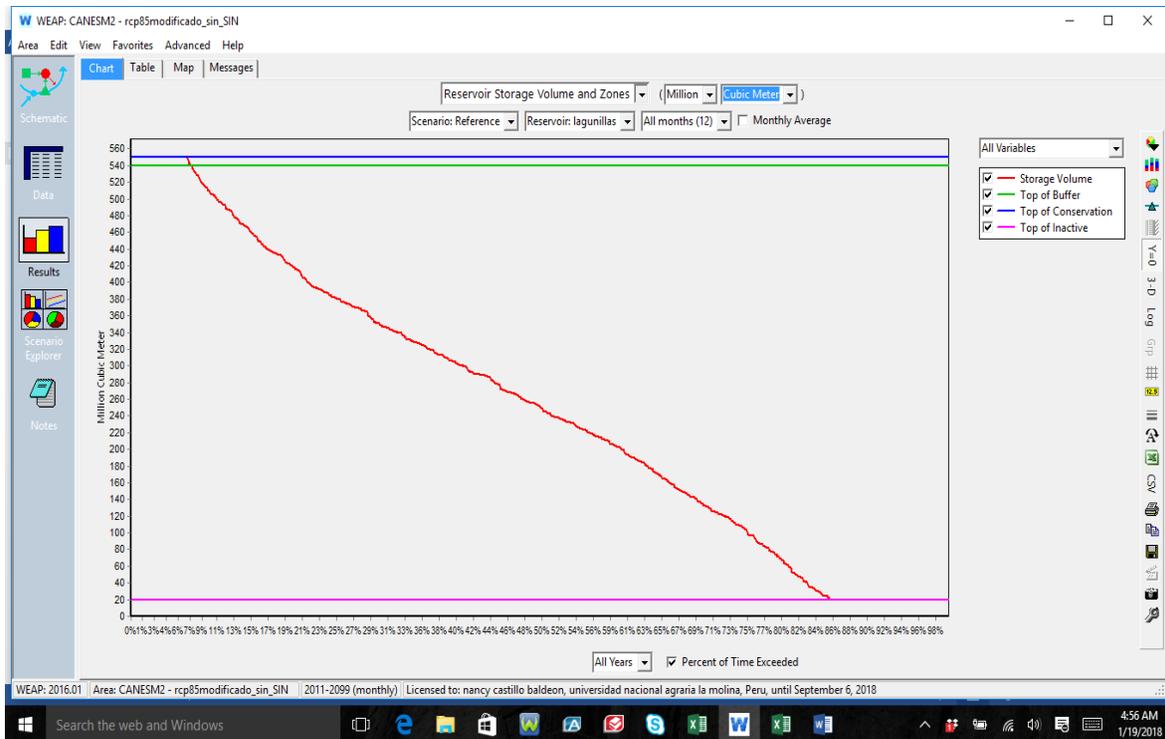
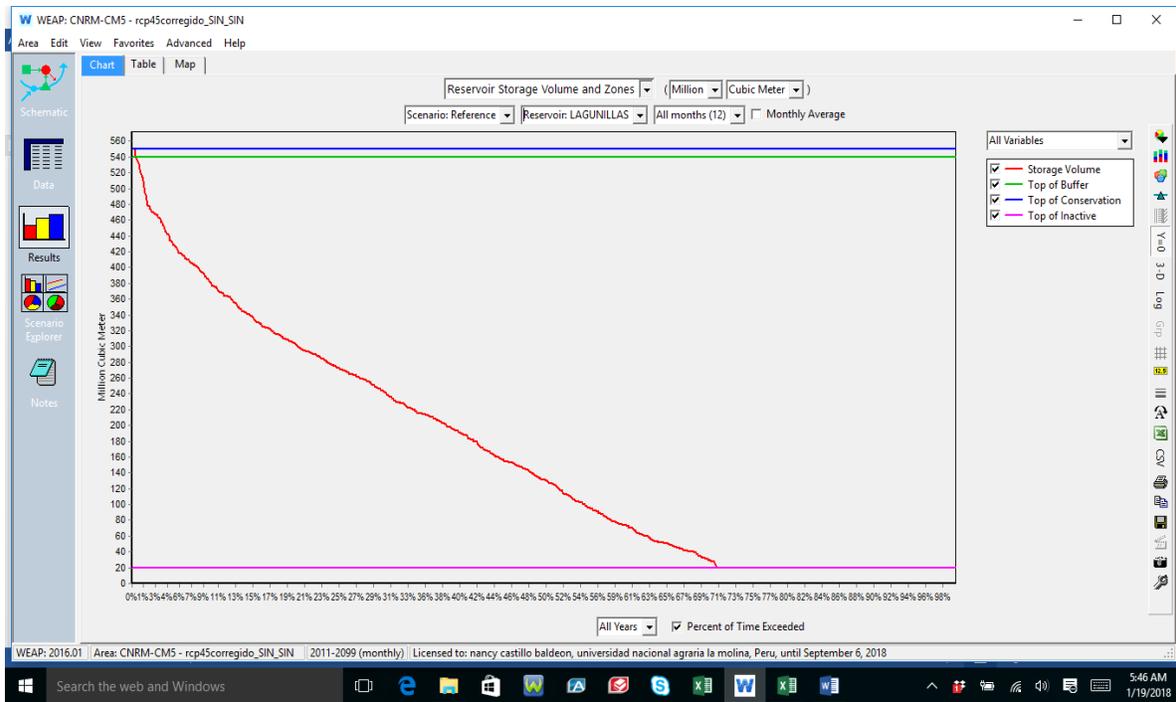


Figura 94: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%. CANES 4.5



Figura 95: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%. CANES 8.5



**Figura 96: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%.
CNRM_CMI4.5**



**Figura 97: Volumen almacenado operando solo lagunillas y con demandas planteadas al 100%.
CNRM_CMI8.5**

a) Curvas de duración de caudales de ingreso y salida en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos. Como se observa en la escala vertical de la curva representa los caudales y la escala horizontal las probabilidades de que dichos caudales puedan ser igualados o excedidos. La curva de color verde representa la curva de duración de entrada y de color rosado es la de salida en porcentaje.

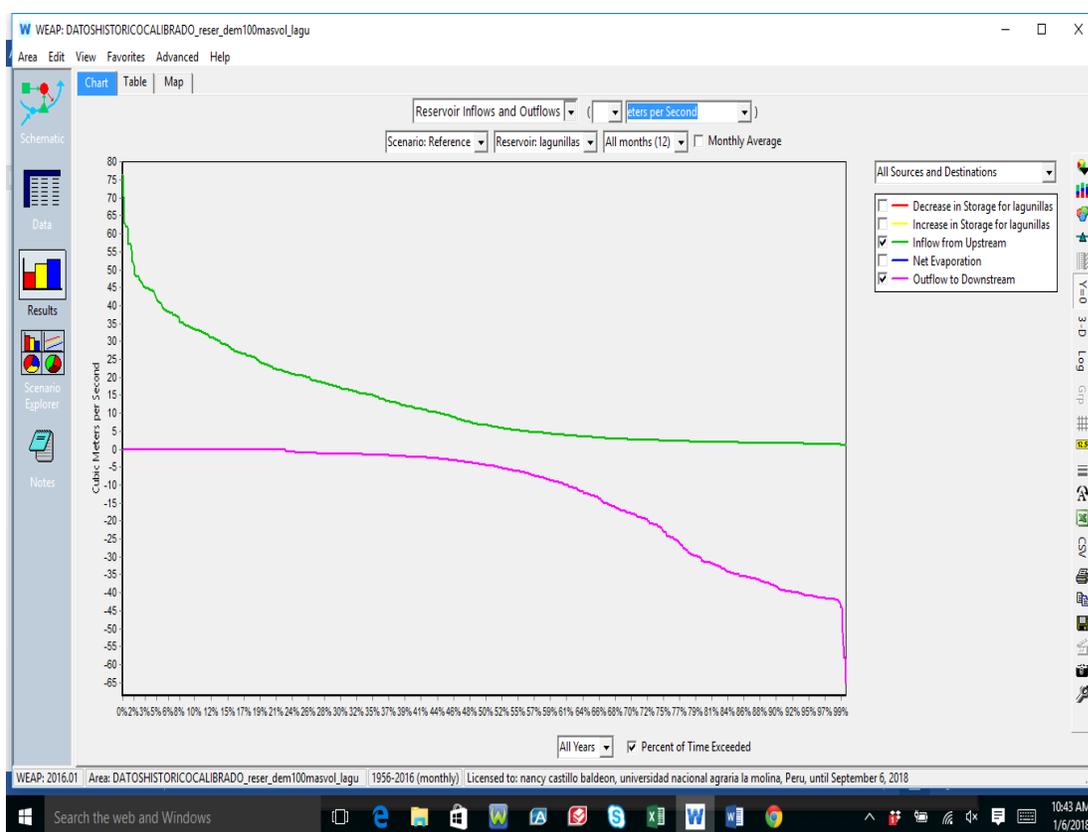


Figura 98: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICO

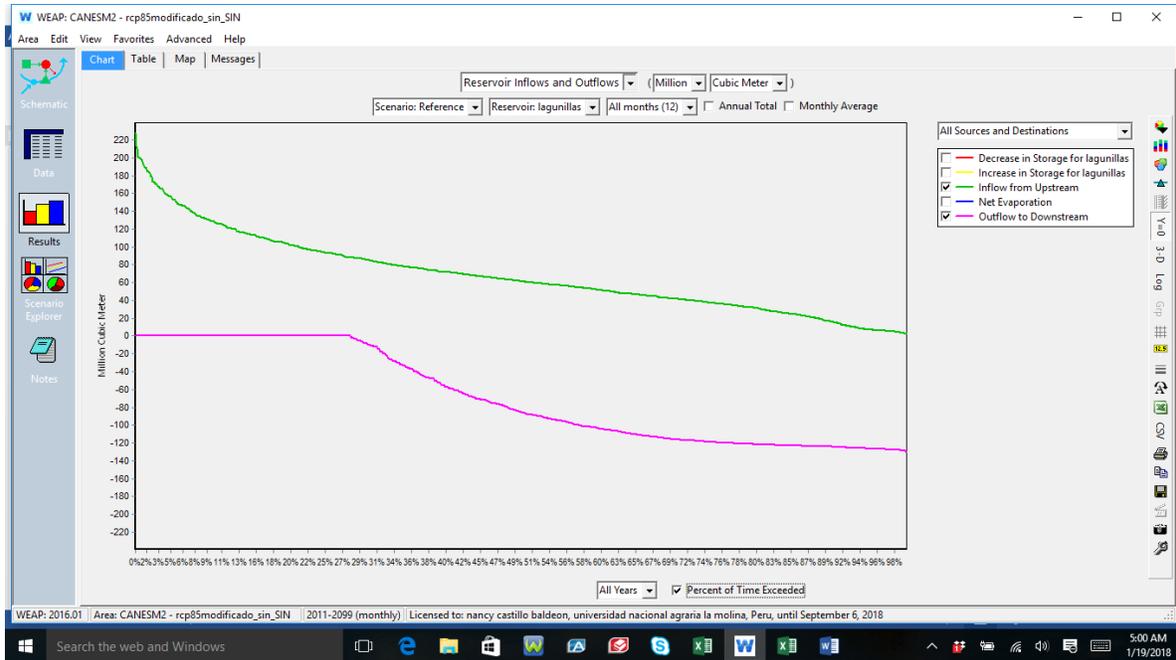


Figura 99: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 4.5

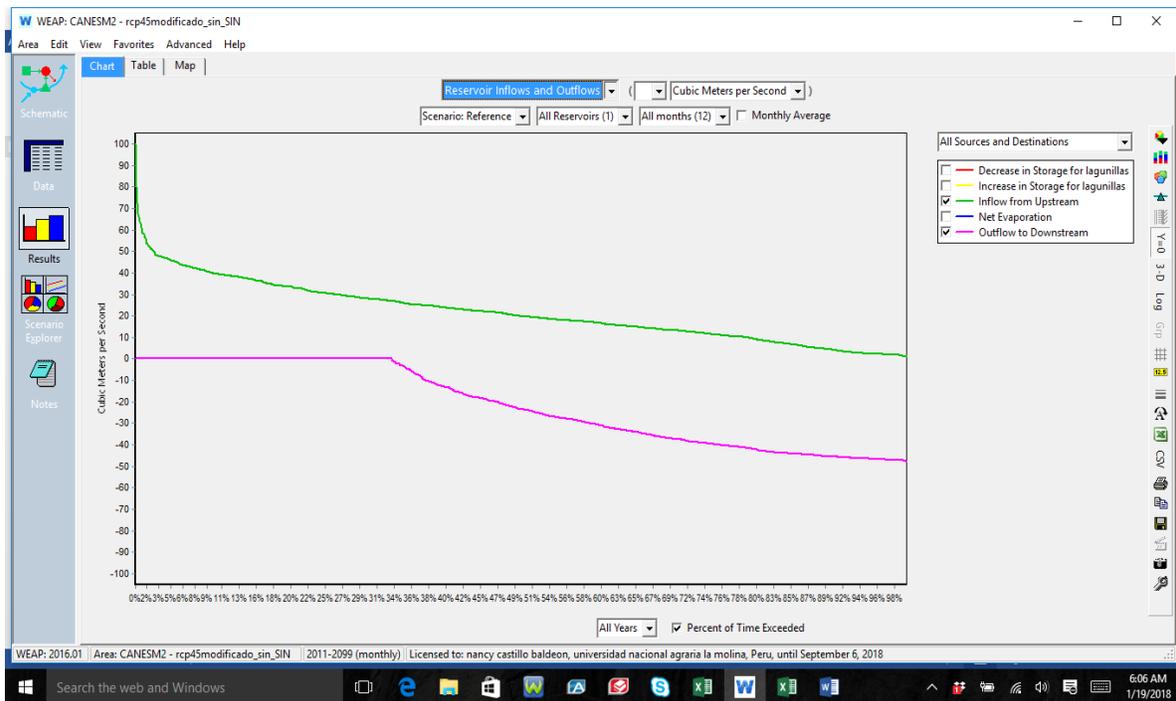


Figura 100: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 8.5

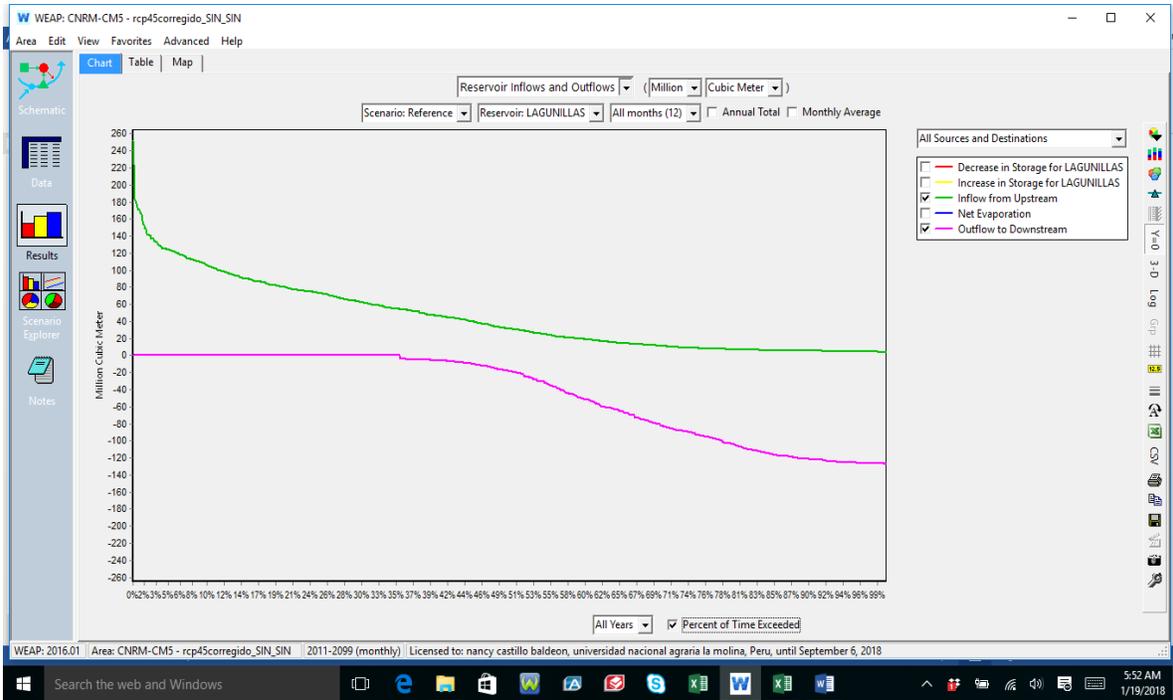


Figura 101: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI4.5

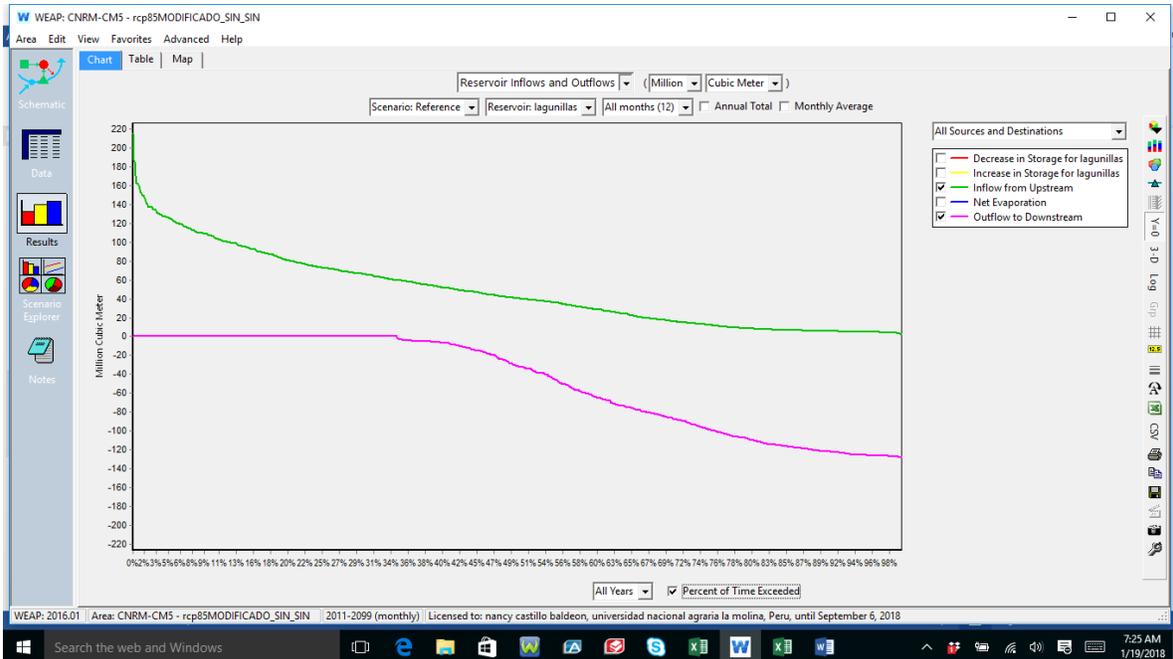


Figura 102: Caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI8.5

b) Demandas entregadas operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

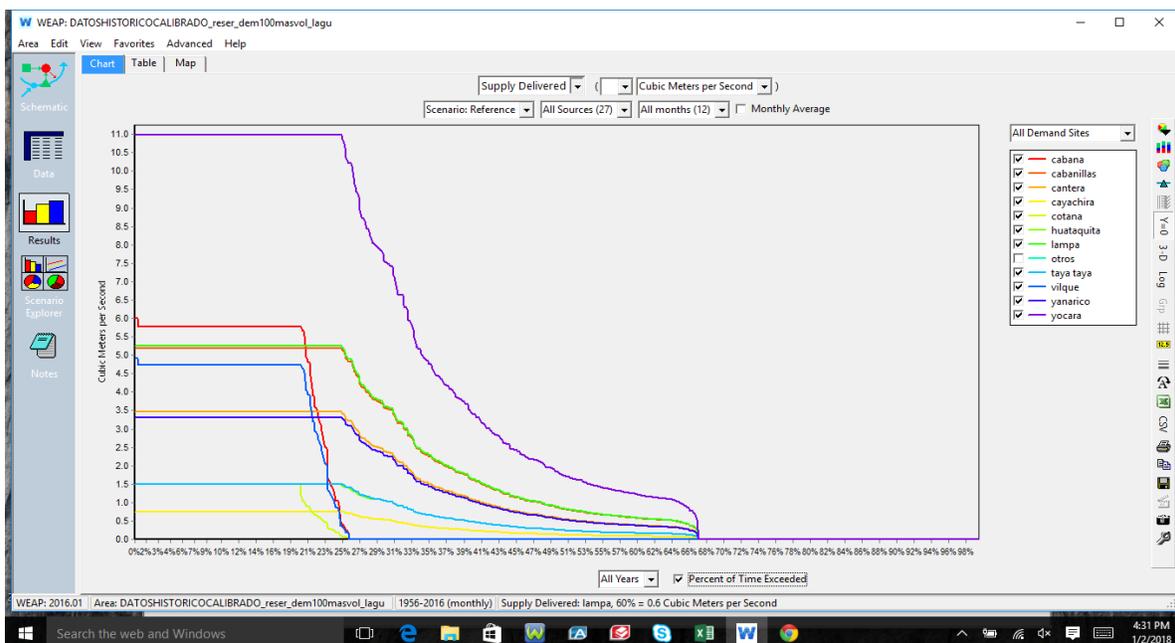


Figura 103: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICO

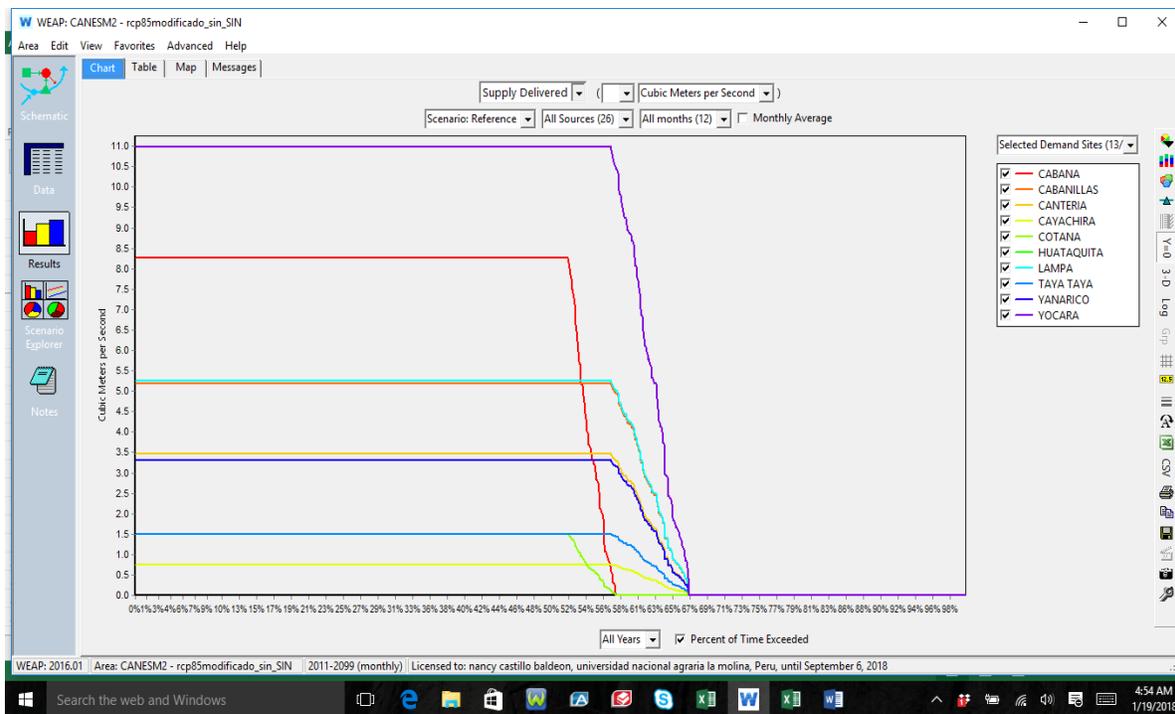


Figura 104: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES

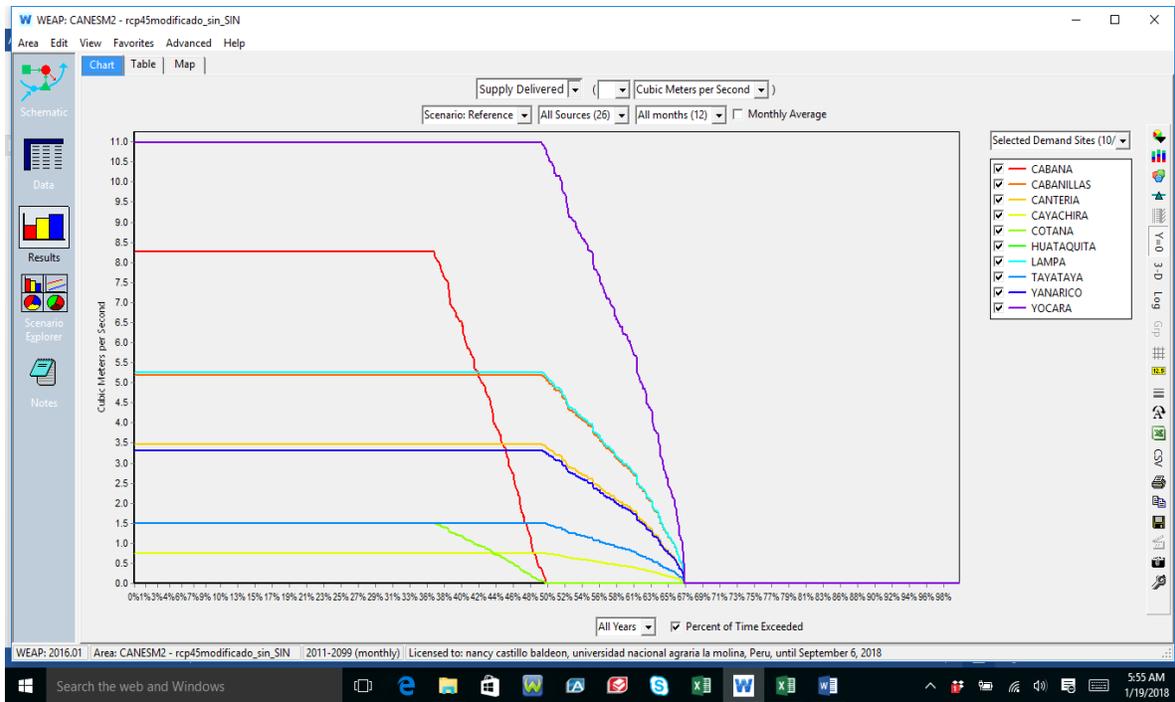


Figura 105: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 8.5

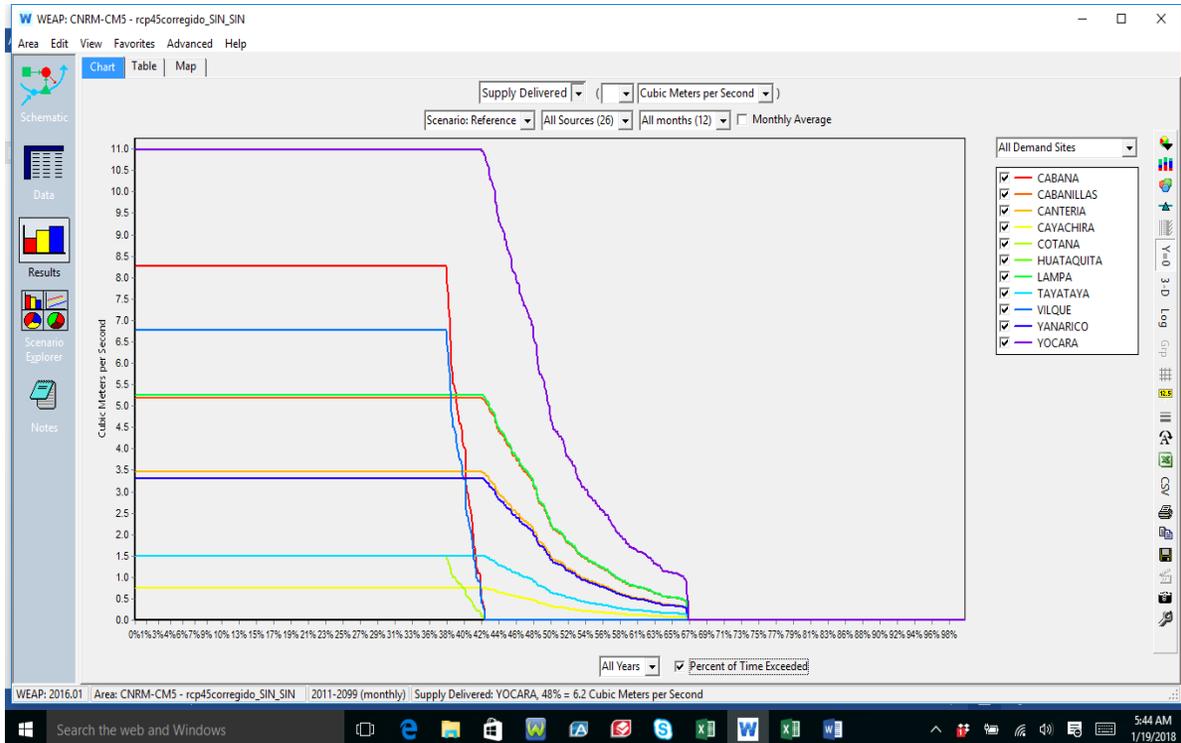


Figura 106: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas al (100%) CNRM_CMI4.5

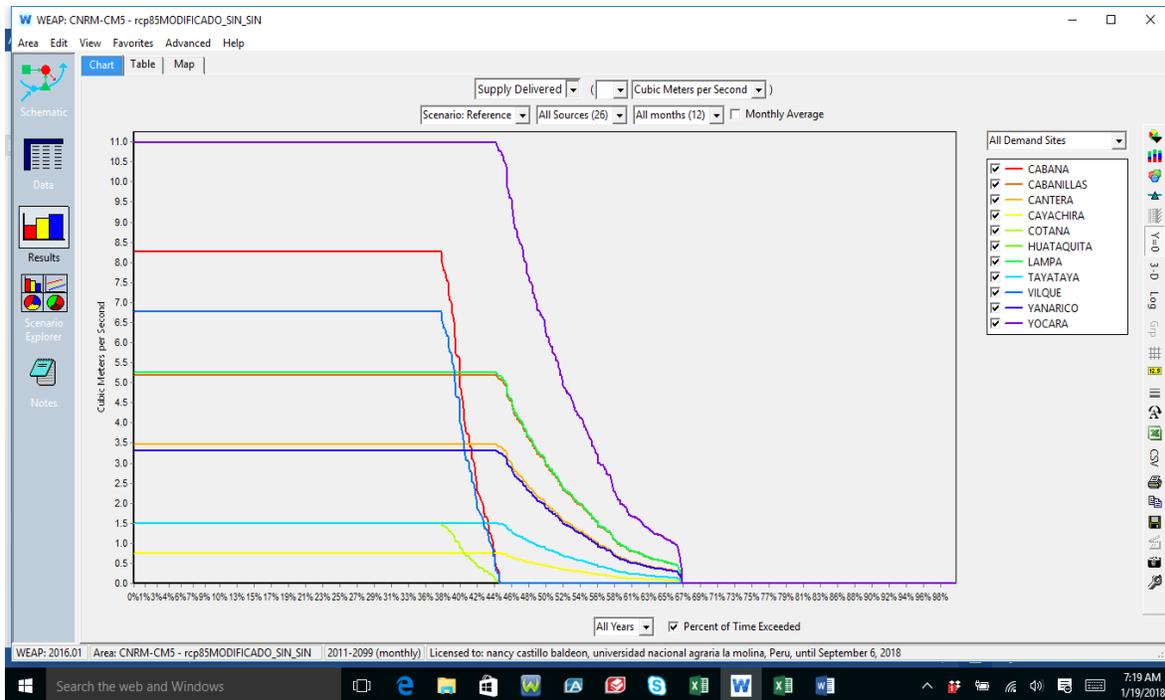


Figura 107: Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI8.5

Comentario:

Comparando los volúmenes almacenados con información histórica y los cuatro escenarios con efectos de cambio climático, se observa que el Volumen almacenado operando solo Lagunillas y con demandas planteadas al 100%. Con información Histórico el embalse de Lagunillas presenta hasta un 13% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 13 a 53% y de 53% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3 Figura 72., mientras que los escenarios con cambio climático tienen de rebose 0% a excepción de CANES 4.5 tiene un rebose del 8% y una variación del volumen es mayor de 8% varia linealmente a un 85% llegando al 100% con almacenamiento de 30MM3. Ver figuras del N°86 al 100.

Con sistema de regulación de Lagunillas y el rio verde no regulado, para demandas planteadas al 100%. Se observa que bajo escenarios de cambio climático, estas solo cubren en promedio del 60% de las demandas planteadas de los cuales resalta en mayor medida el escenario canes 4.5 con un 75%. Ver las del N° 90 al 109.

9.4.2.2. SEGUNDO ESCENARIO:

El sistema con regulacion en lagunillas y rio verde trasvasado y almacenado en lagunillas con las demandas al 100% aguas abajo



Figura 108: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde de lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con información HISTORICO

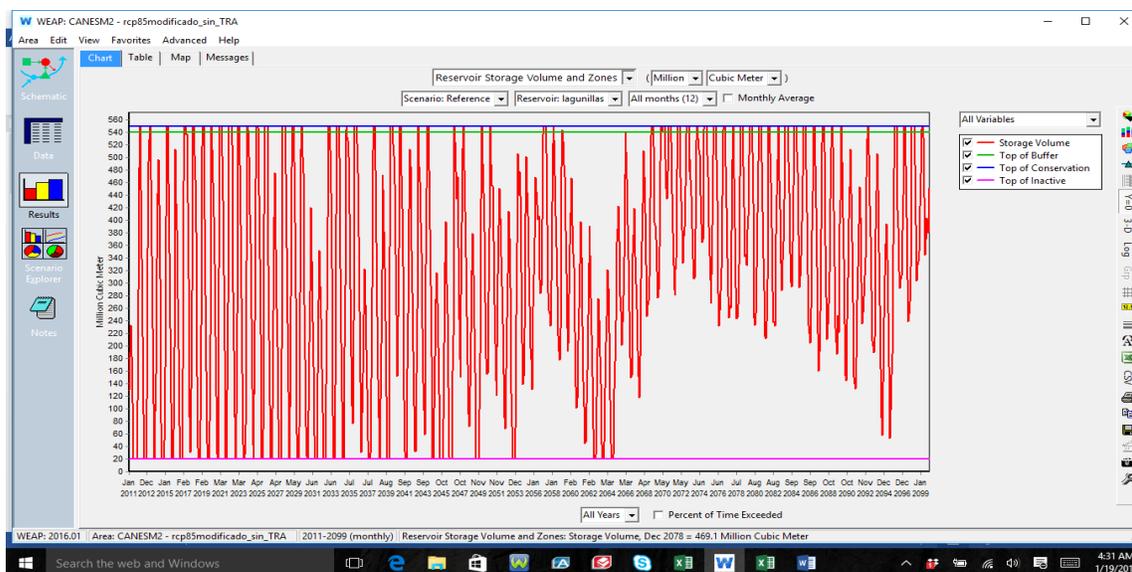


Figura 109: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde de lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con cambio climático CANES4.5

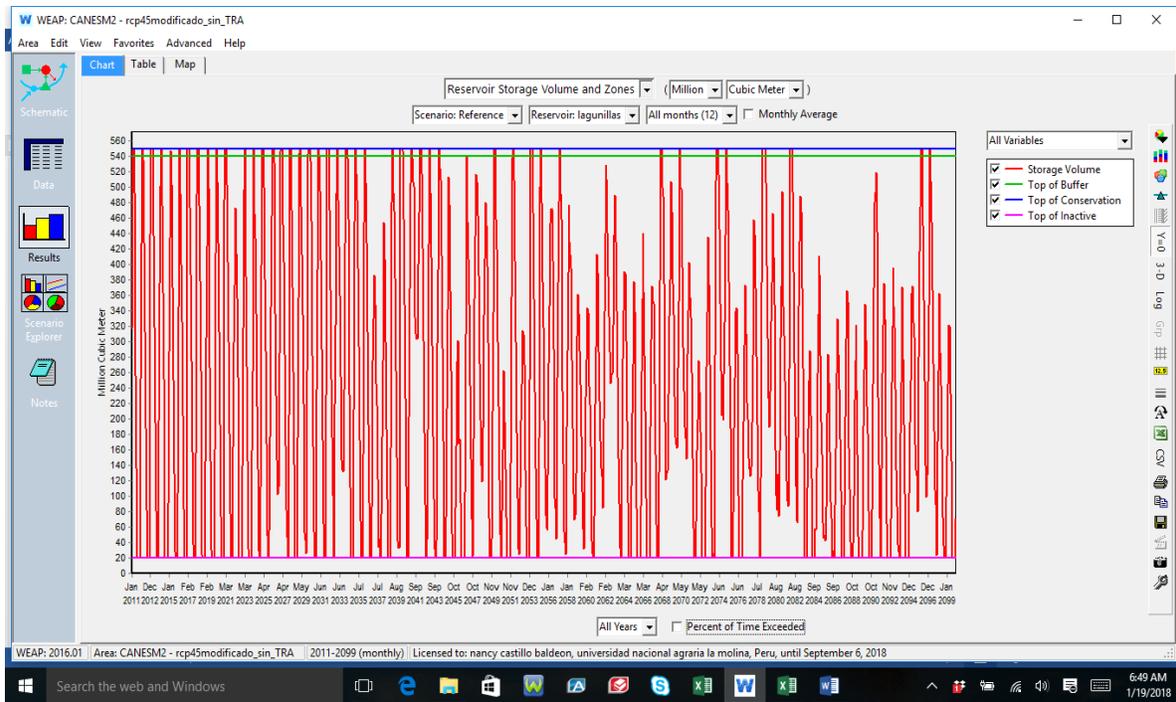


Figura 110: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con cambio climático CANES8.5

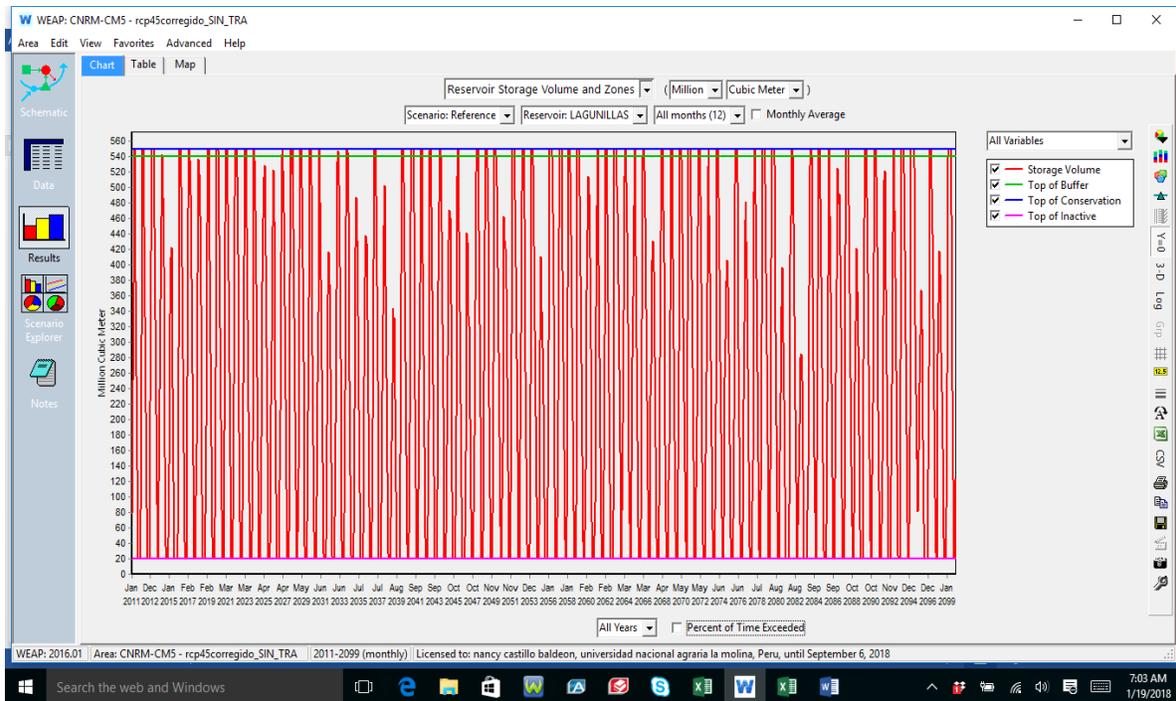


Figura 111: Volúmenes Almacenados en lagunillas, operando lagunillas y trasvase de aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con cambio climático CNRM_CMI4.5

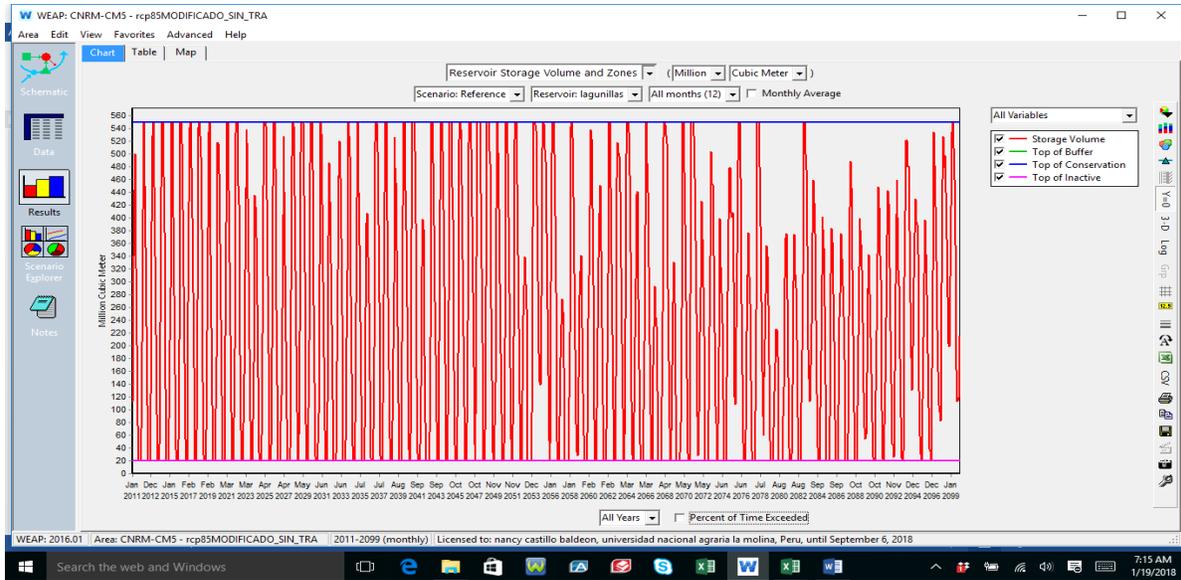


Figura 112: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con cambio climático CNRM_CMI8.5

a) Volúmenes Almacenados operando lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)



Figura 113: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICO



Figura 114: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 4.5

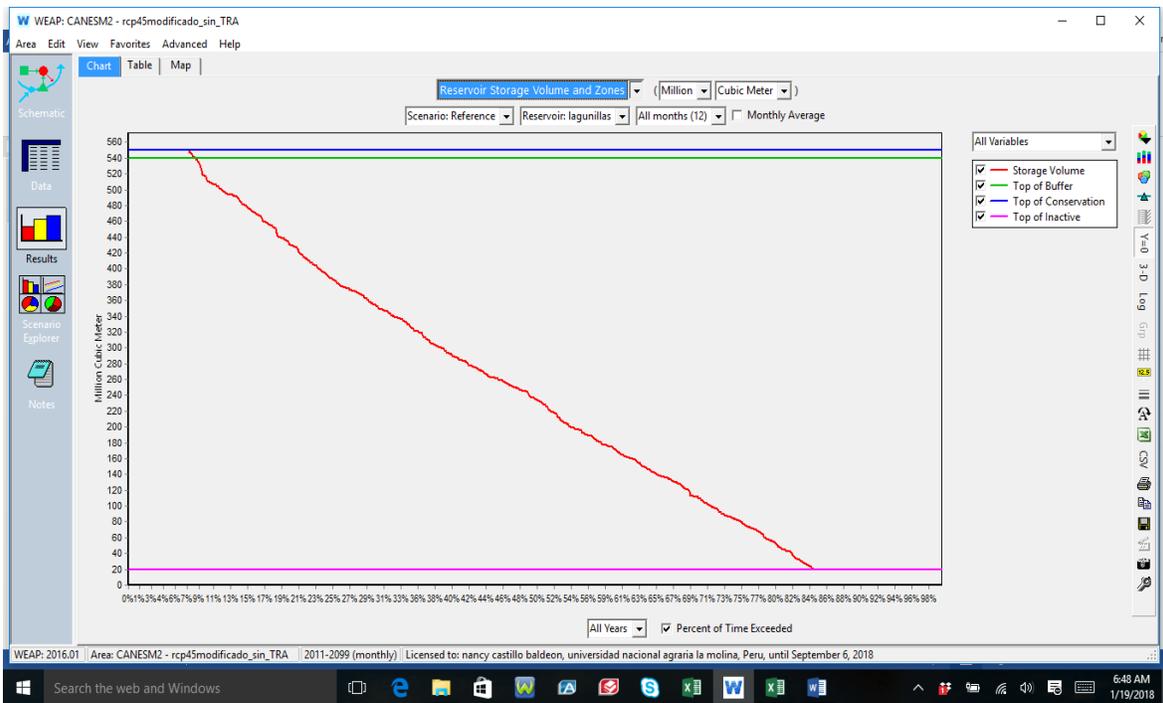


Figura 115: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 8.5

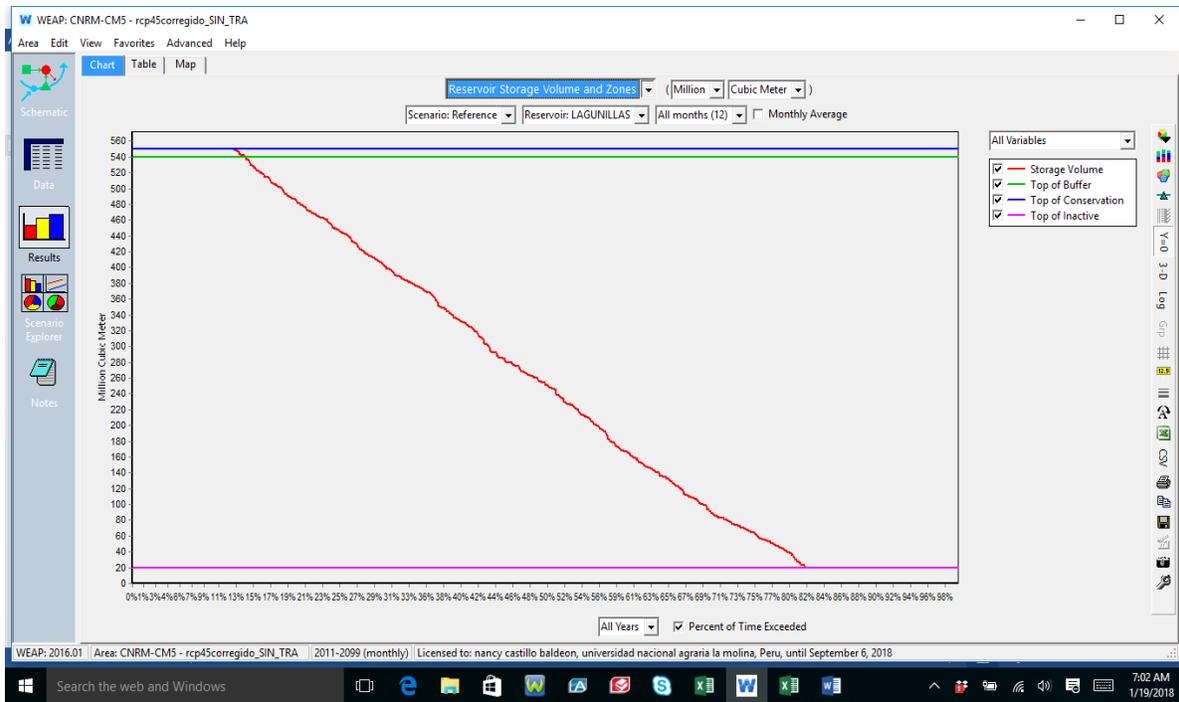


Figura 116: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI4.5



Figura 117: Volúmenes Almacenados operando solo lagunillas y trasvase del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CNRM_CMI8.5

b) Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvase de verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

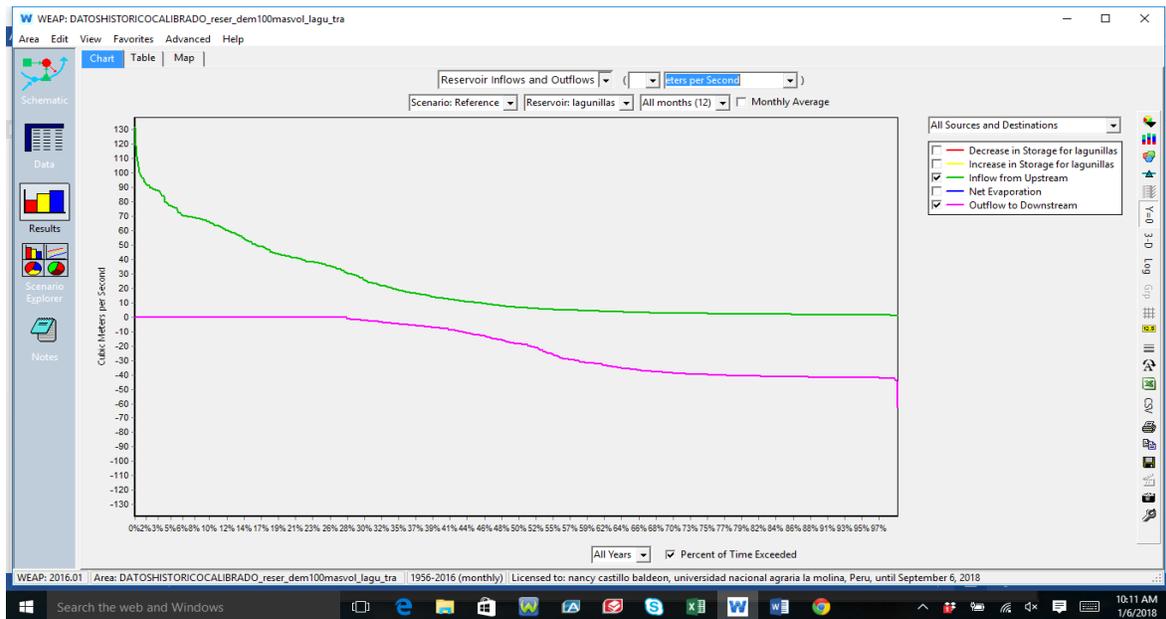


Figura 118: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con información HISTORICA



Figura 119: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con efecto de Cambio Climático CANES4.5

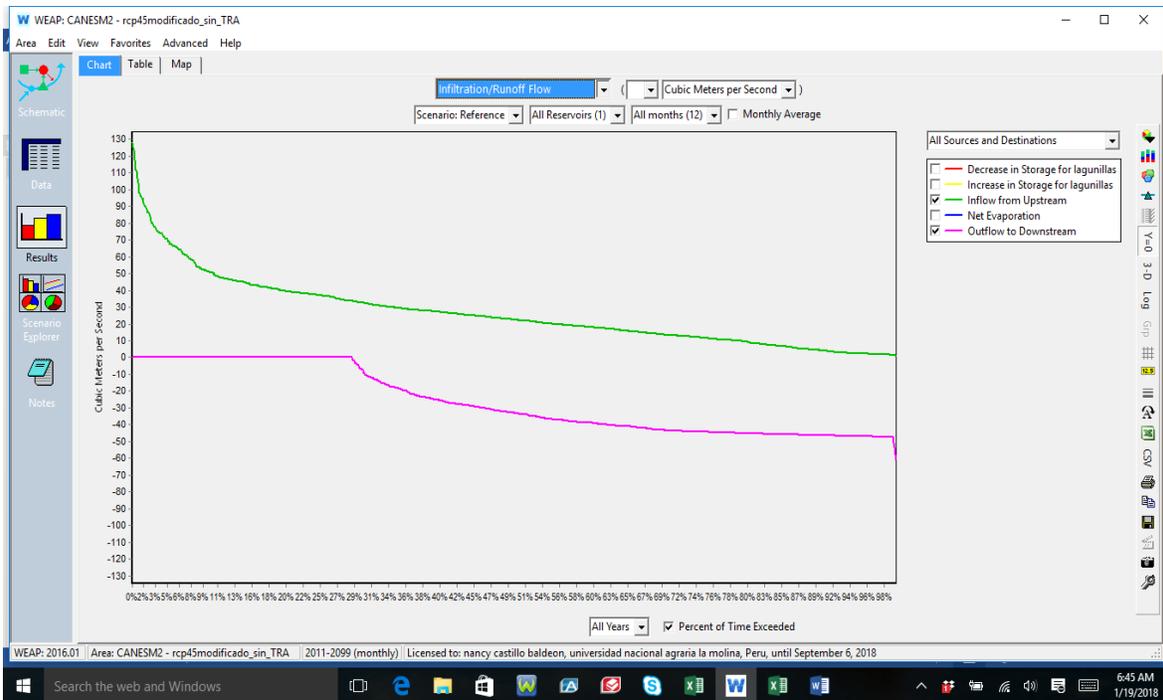


Figura 120: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%), con efecto de Cambio Climático CANES8.5

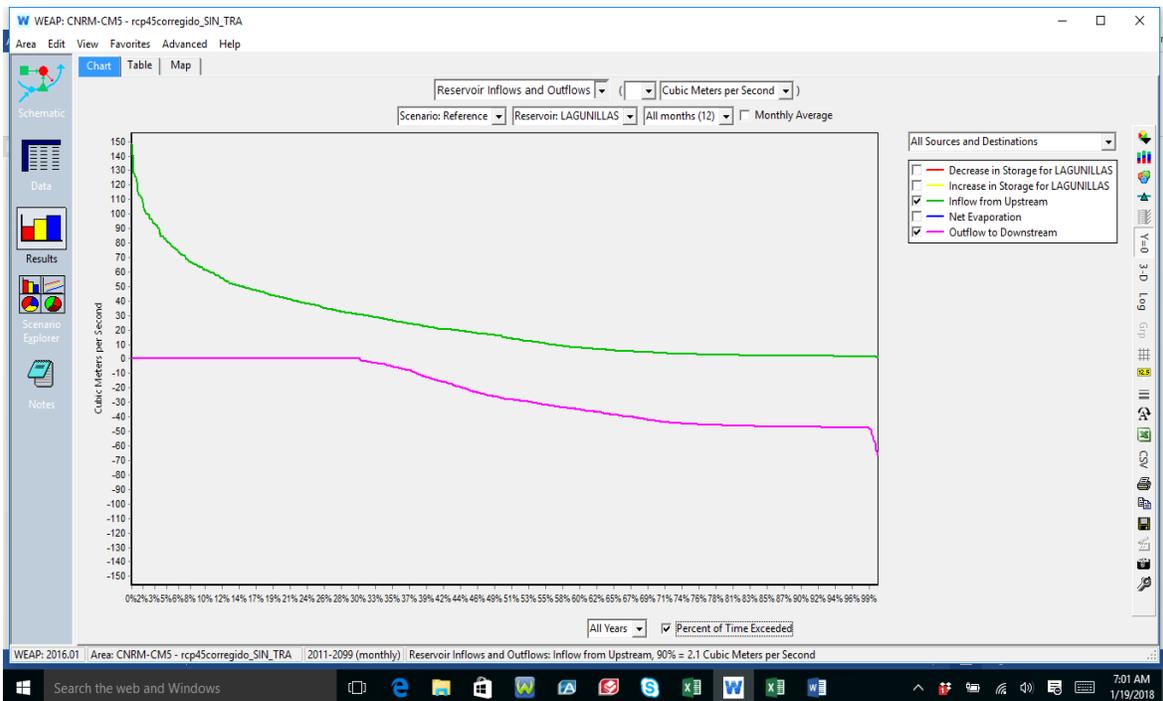


Figura 121: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con efecto de Cambio Climático CNRM_CMI4.5



Figura 122: Curvas de Duración de caudales ingreso y salidas en porcentaje, operando solo lagunillas y trasvasamiento de las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas y con las demandas planteadas (100%) con efecto de Cambio Climatico CNRM_CMI8.5

c) Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas (100%)

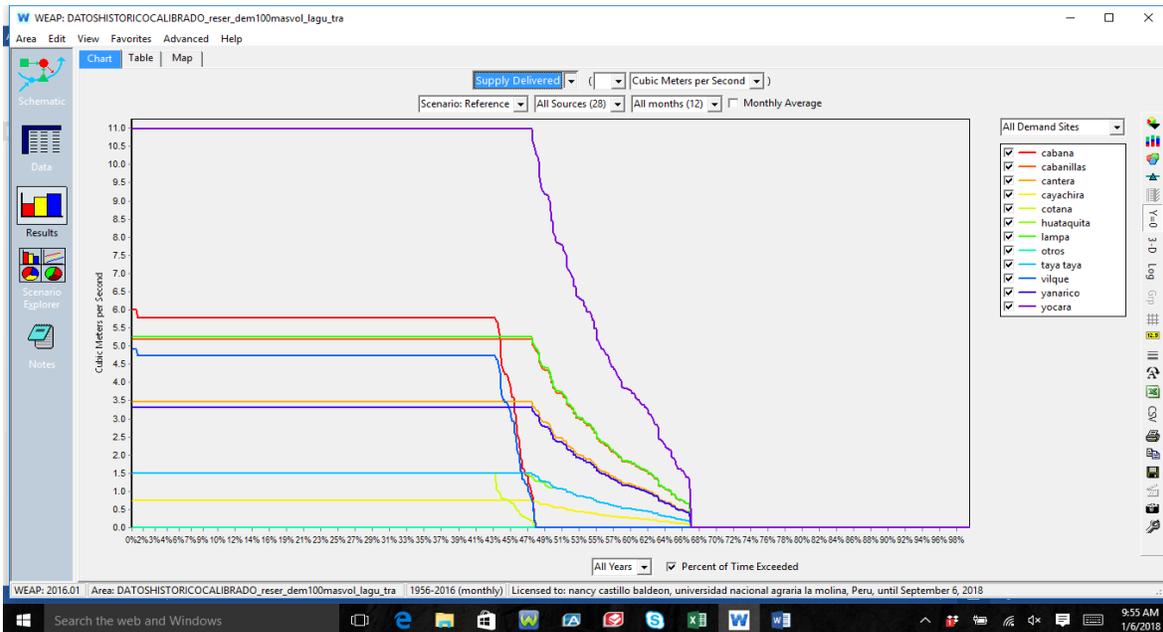


Figura 123: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%. Con información HISTORICO



Figura 124: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%.CANES4.5

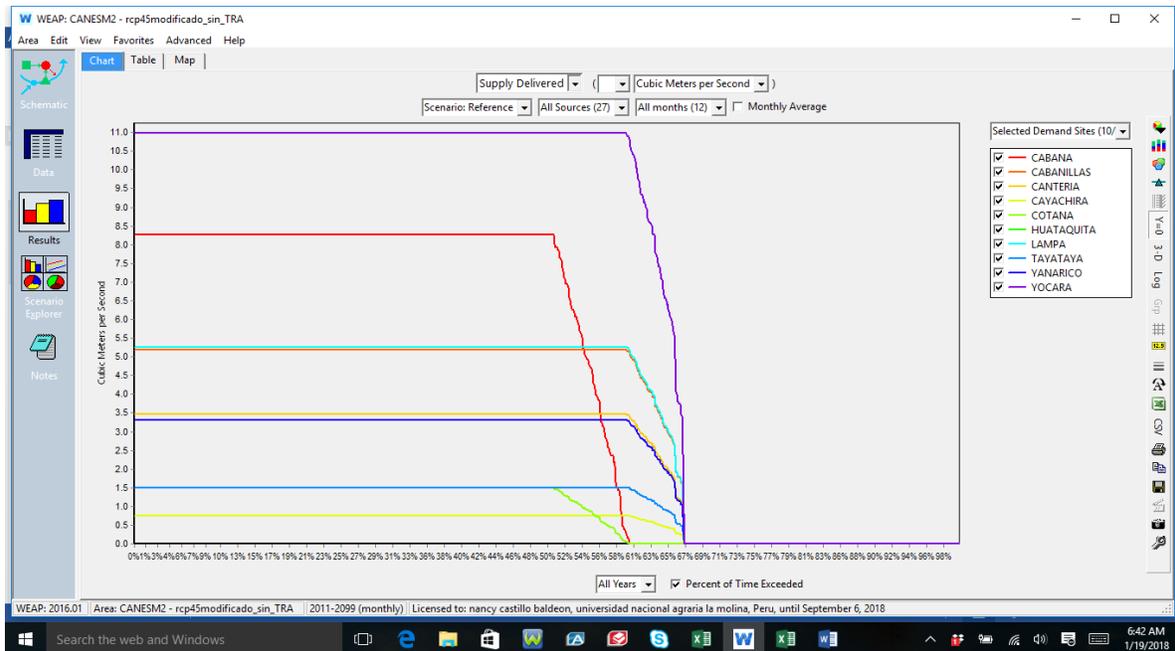


Figura 125: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%. CANES8.5

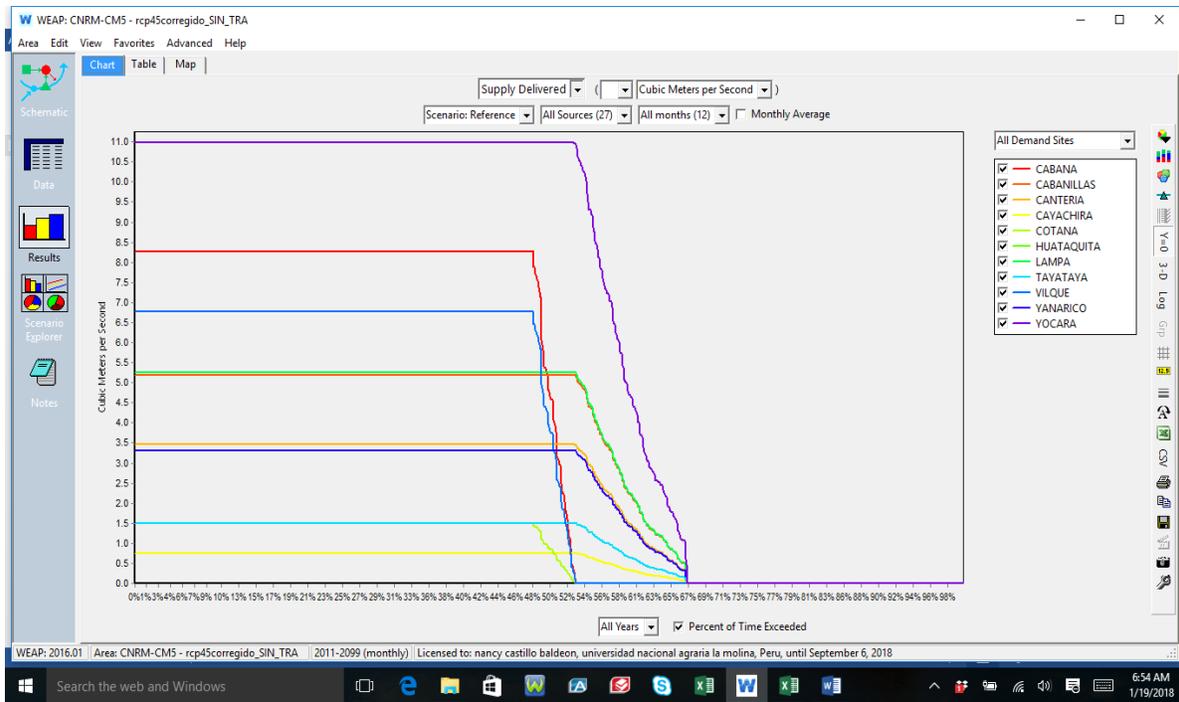


Figura 126: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%. CNRM_CMI4.5

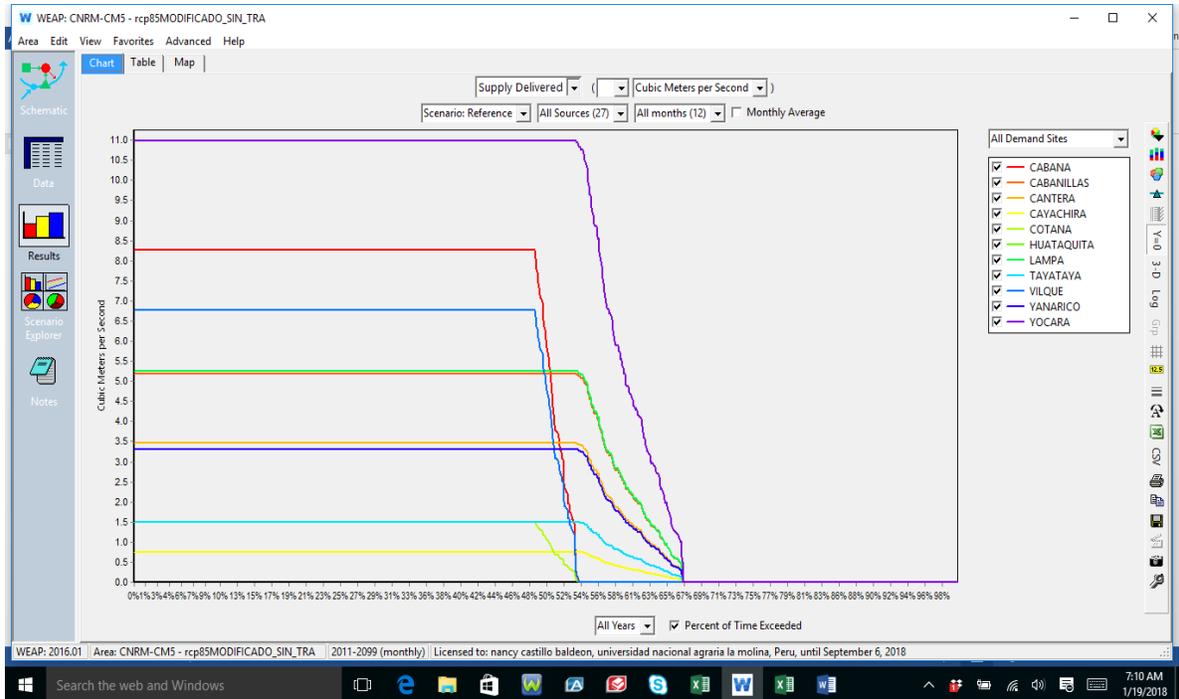


Figura 127: Demandas entregadas satisfechas operando solo lagunillas y trasvase de las aguas del rio verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%. CNRM_CMI8.5

Comentario

En la condición del escenario que los volúmenes almacenados operando la presa de Lagunillas y trasvasando las aguas del Rio Verde a la Presa de Lagunillas con la demandas planteadas al 100%, se tiene que el embalse de Lagunillas presenta hasta un 11% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 540 MM3 va variando linealmente de 13 a 78% y de 78% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3 ver Figura . Se observa además que el escenario con efecto de Cambio Climático CANES4.5, se tiene un 15% de rebose y de un almacenamiento de 30 a 540 MM3 varía de 15 a 92% y de 92 a 100% el almacenamiento queda en 30 MM3. Ver figuras del 106 al 120

Para demandas entregadas operando solo lagunillas con trasvase de las aguas del río verde a lagunillas y con las demandas planteadas al 100%, son satisfechas en promedio de todos los escenarios en un 75%, resaltando siempre el escenario con cambio climático CANES4.5 como un ligero aumento del 85%. Ver figuras del 110 al 129.

9.4.2.3. TERCER ESCENARIO:

Sistema con regulación en lagunillas y las aguas del río verde almacenado en un nuevo reservorio con las demandas al 100% aguas abajo.

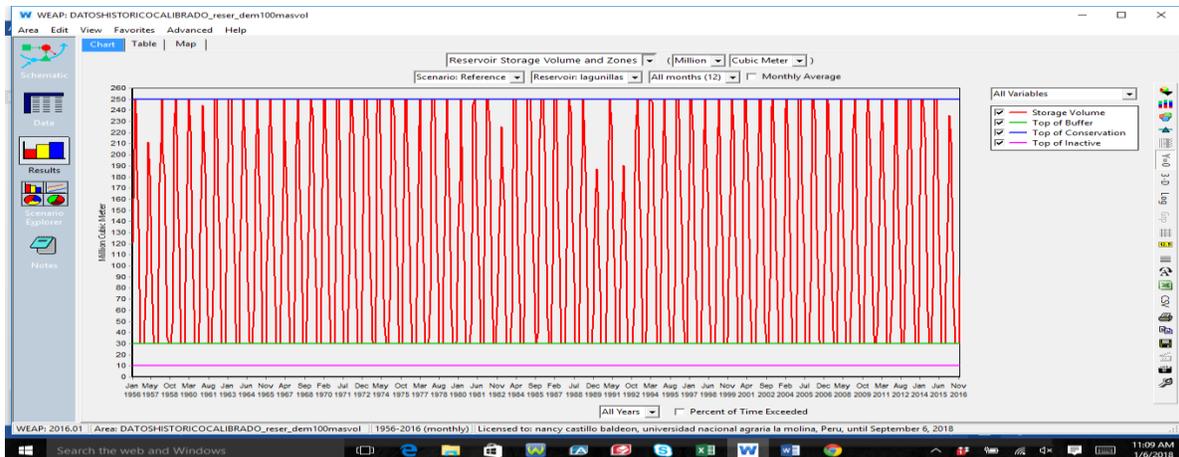


Figura 128: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del río verde y con las demandas planteadas al 100%, con información HISTORICO LAGUNILLAS.

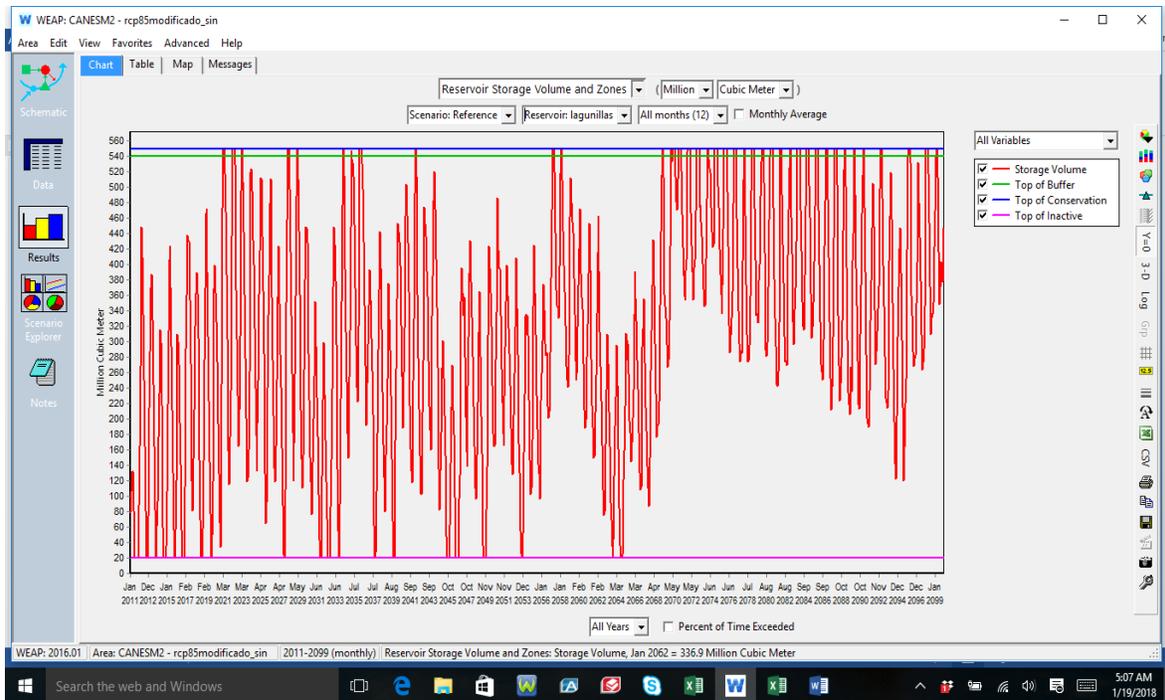


Figura 129: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100% con CANES4.5 LAGUNILLAS

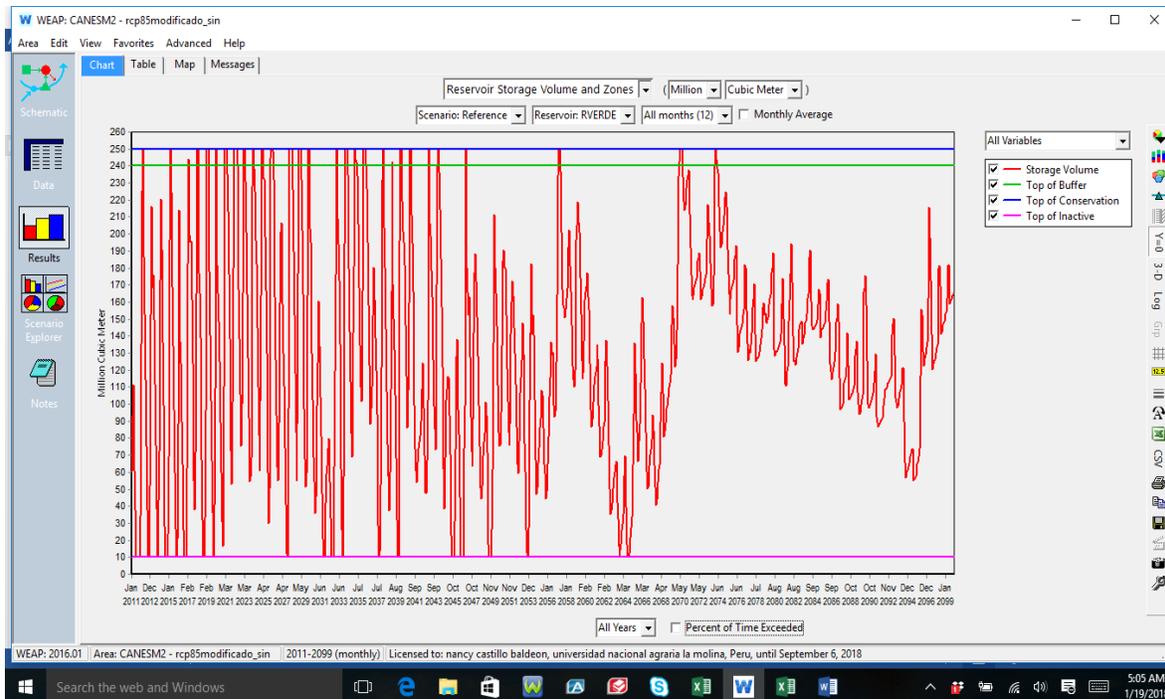


Figura 130: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CANES4.5 RIO VERDE

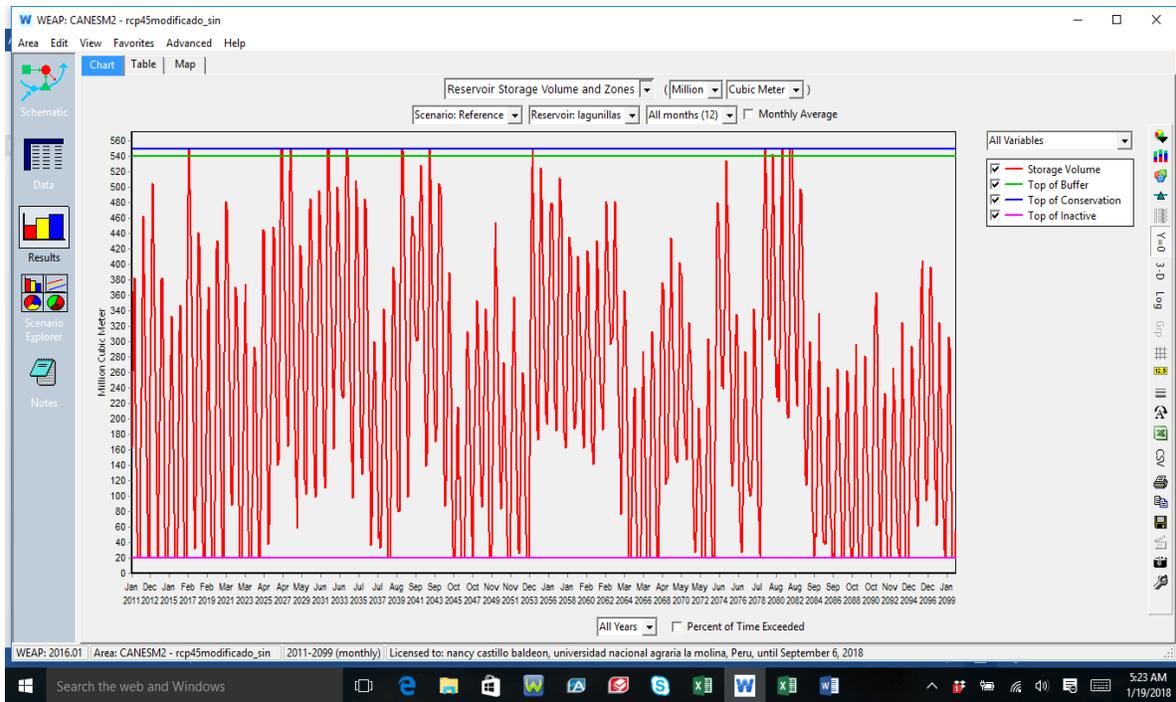


Figura 131: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CANES8.5 LAGUNILLAS

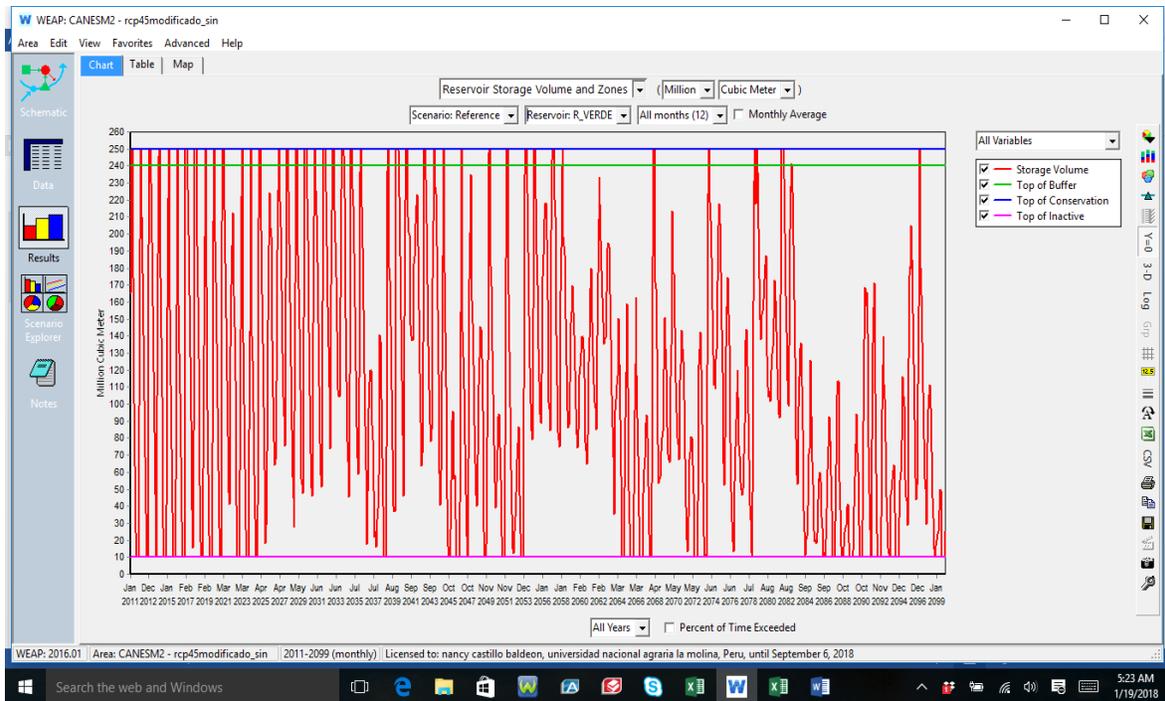


Figura 132: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CANES8.5 RIO VERDE

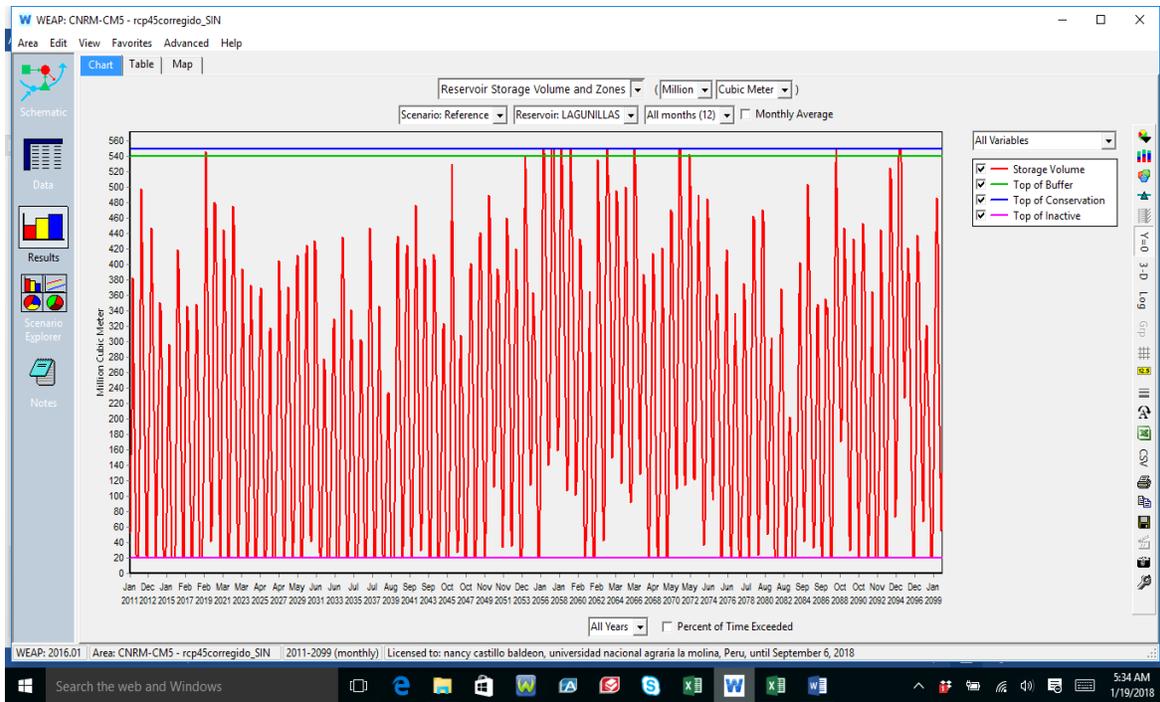


Figura 133: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CNRM_CMI4.5 LAGUNILLAS

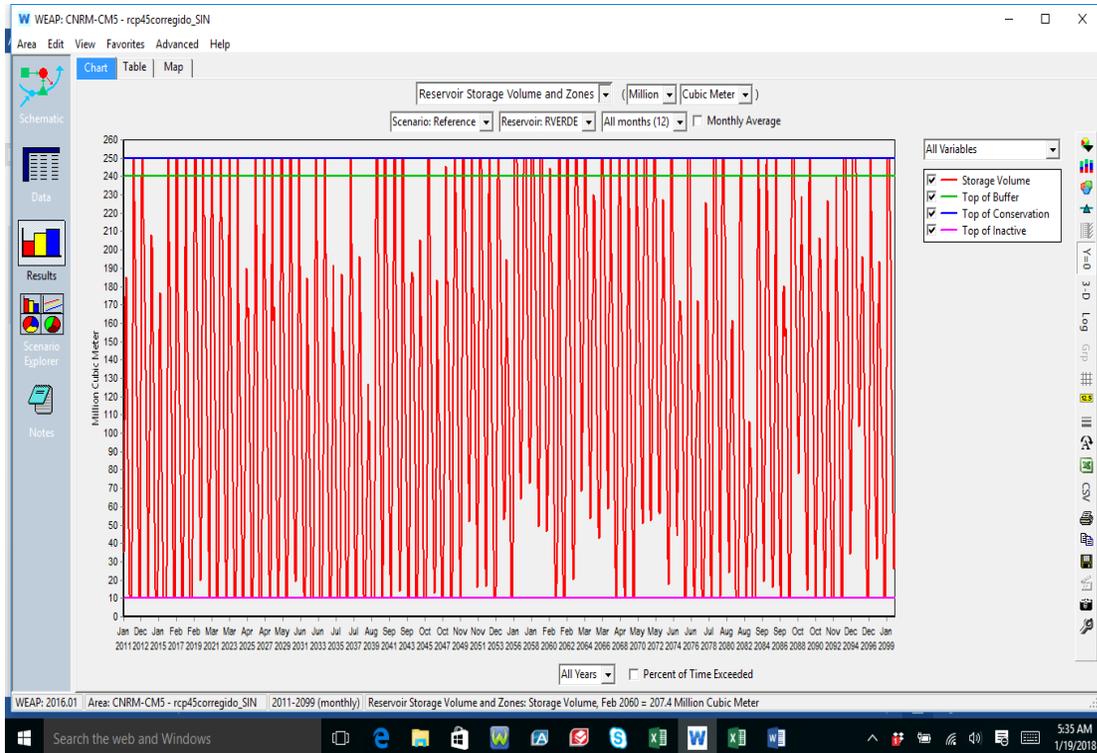


Figura 134: Volúmenes Almacenados operando el reservorio de lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 100%, con CNRM_CMI8.5 RIO VERDE

a) Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)

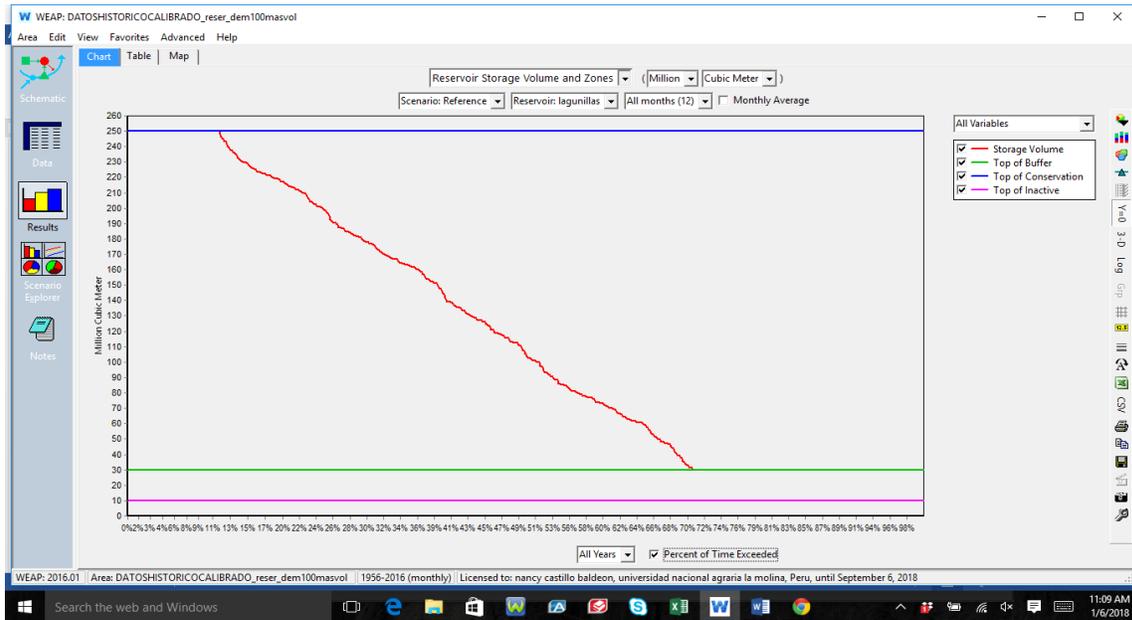


Figura 135: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con información HISTORICO



Figura 136: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES4.5 LAGUNILLAS

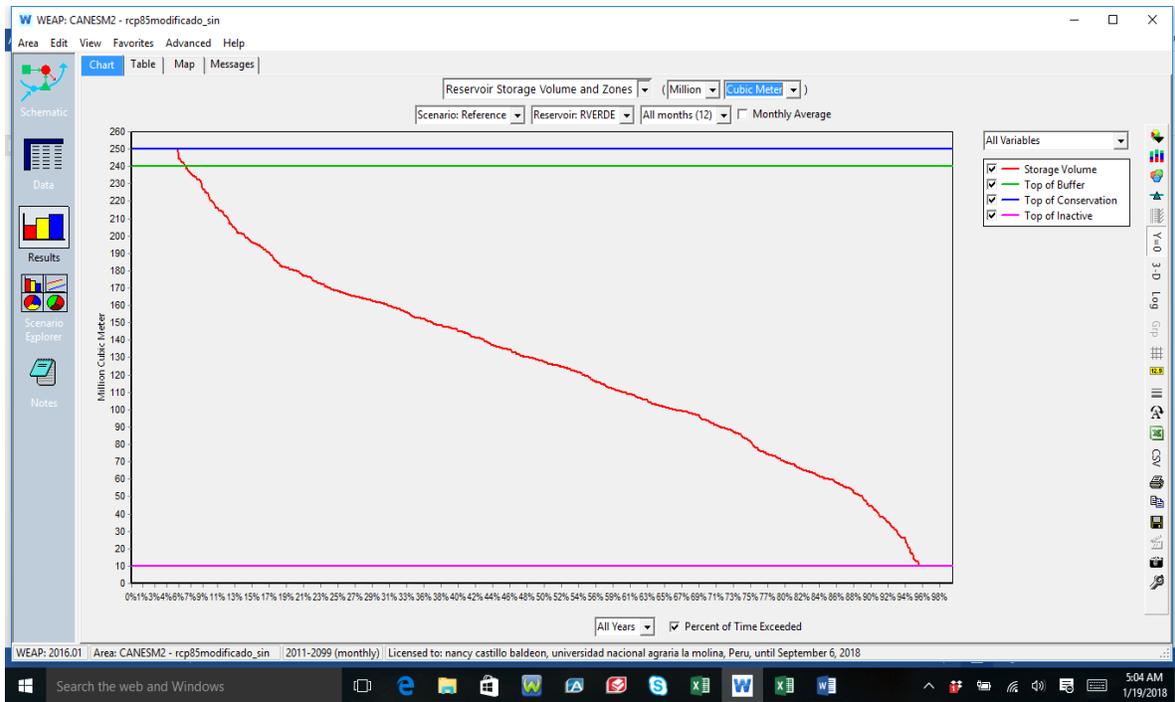


Figura 137: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES4.5 RESERVORIO VERDE

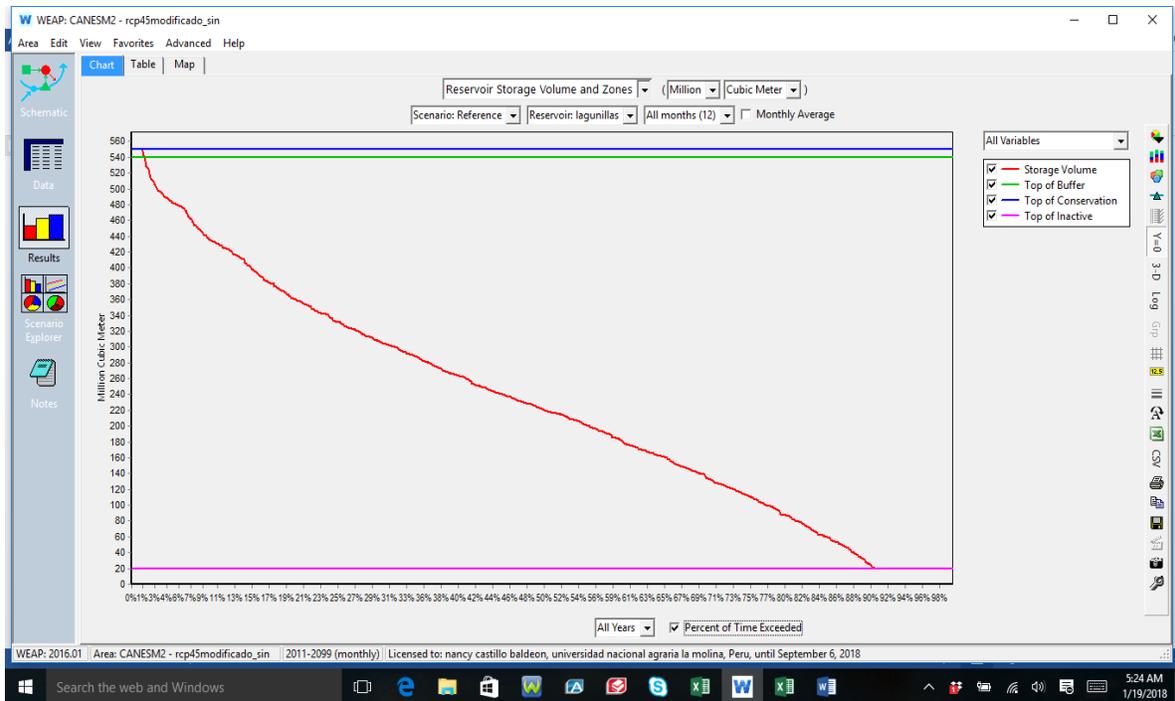


Figura 138: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES8.5 LAGUNILLAS



Figura 139: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES8.5 RESERVORIO VERDE

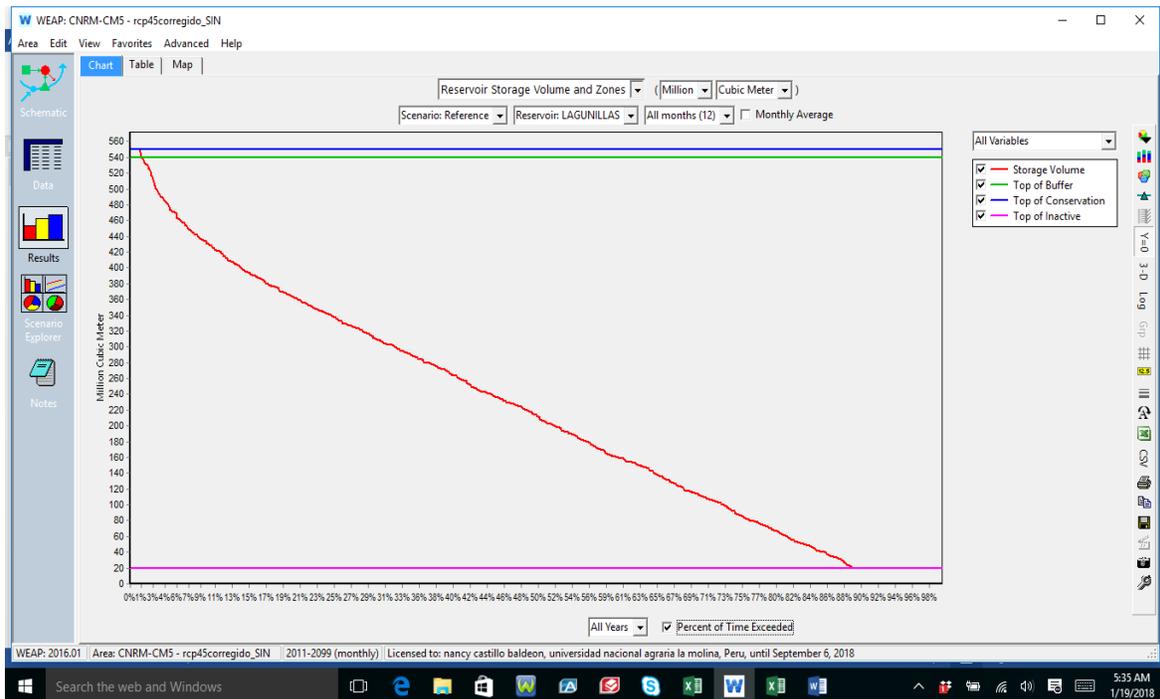


Figura 140: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI4.5 LAGUNILLAS

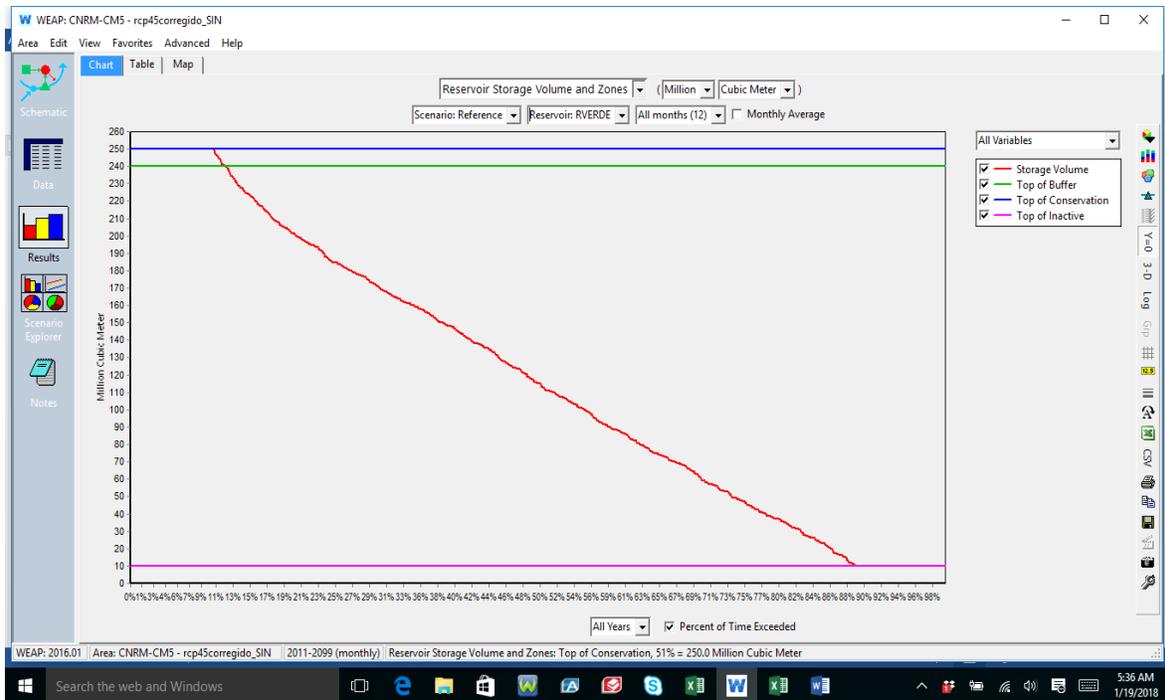


Figura 141: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI4.5 RESERVORIO VERDE



Figura 142: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI8.5 LAGUNILLAS



Figura 143: Volúmenes Almacenados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI8.5 RESERVORIO VERDE

b) Curvas de duración en porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, Operando el reservorio de lagunillas, y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas (100%).



Figura 144: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con información HISTORICO

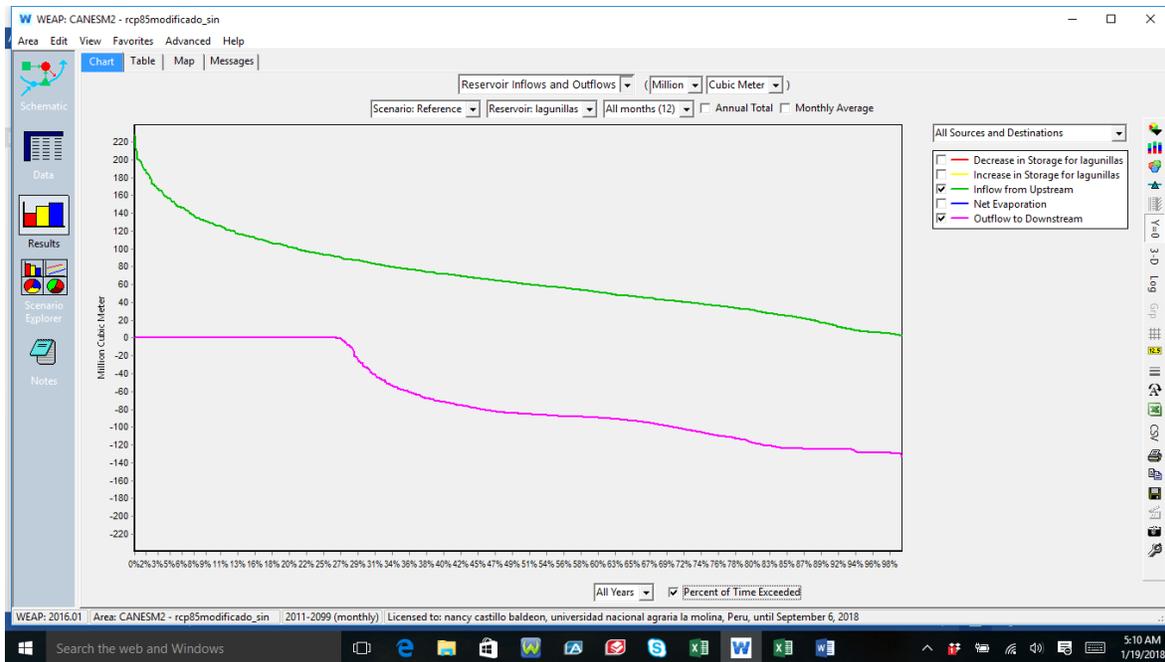


Figura 145: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES4.5 LAGUNILLAS



Figura 146: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES4.5 RESERVORIO VERDE



Figura 147: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES8.5 LAGUNILLAS

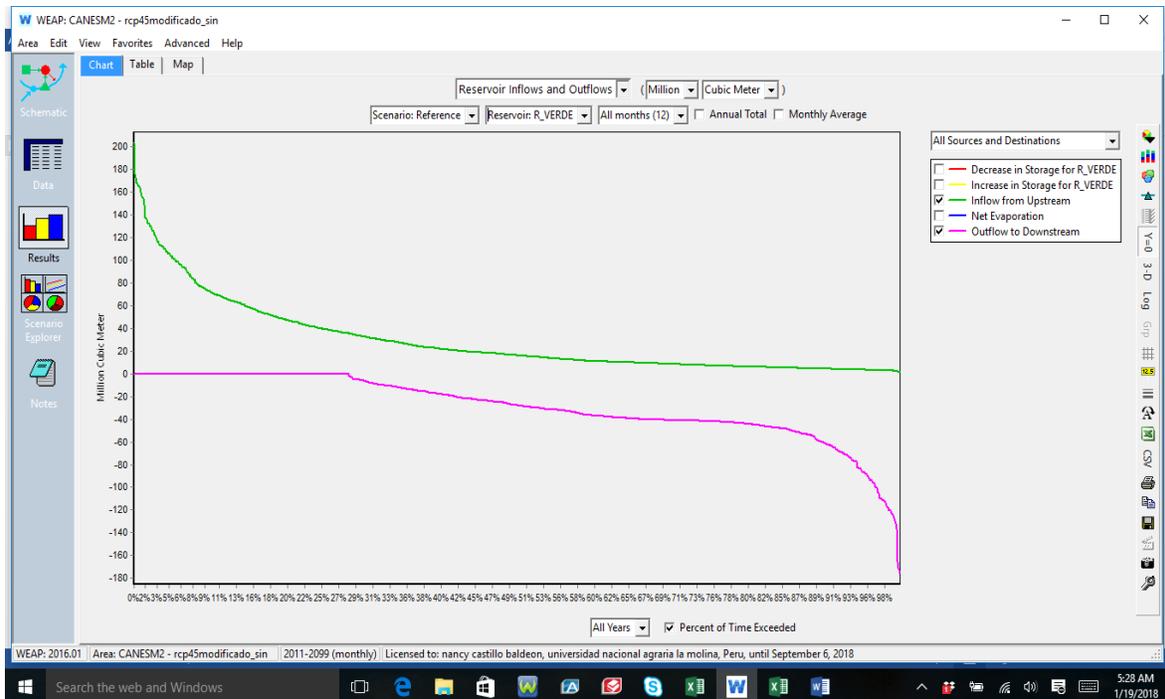


Figura 148: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CANES8.5 RESERVORIO VERDE

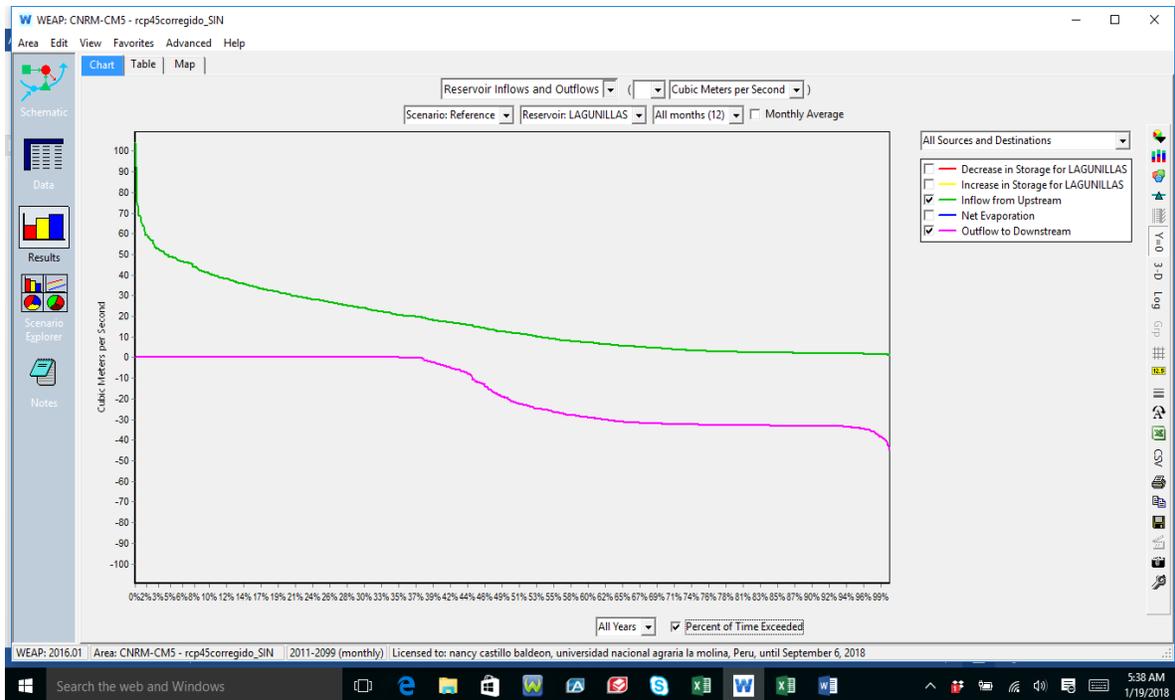


Figura 149: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI4.5 LAGUNILLAS



Figura 150: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI4.5 RESERVORIO VERDE

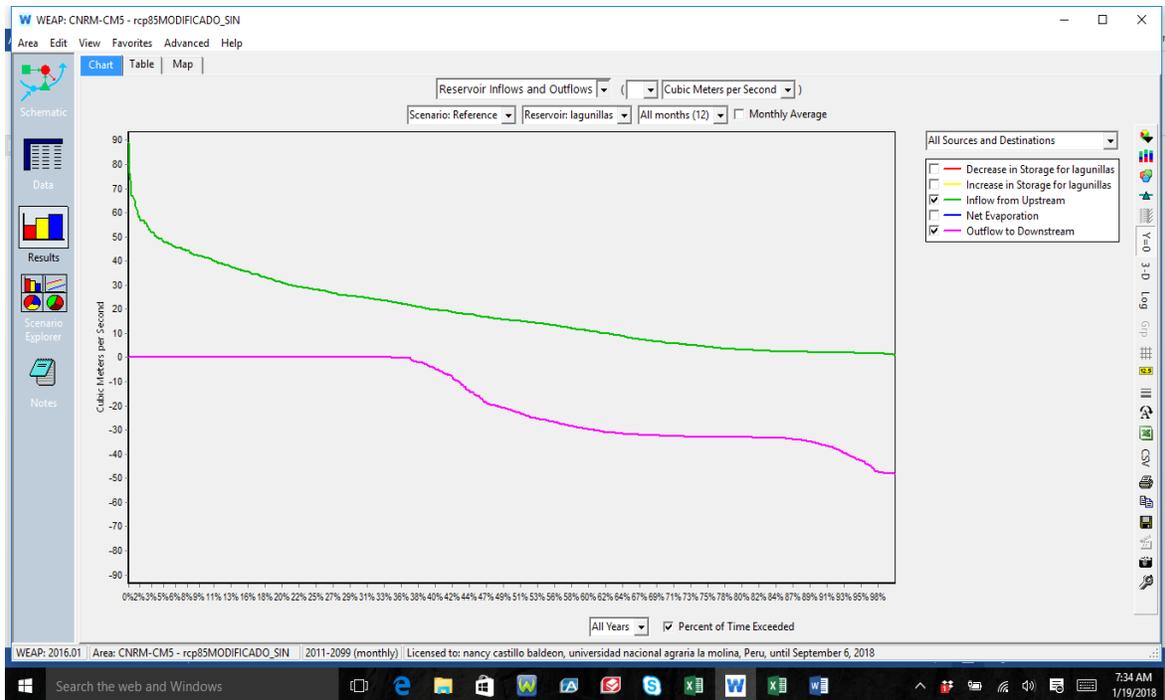


Figura 151: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI8.5 LAGUNILLAS



Figura 152: Porcentajes de caudales ingresados y egresados en lagunillas, operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con CNRM_CMI8.5 RESERVORIO VERDE

d) Demandas entregadas satisfechas operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%)

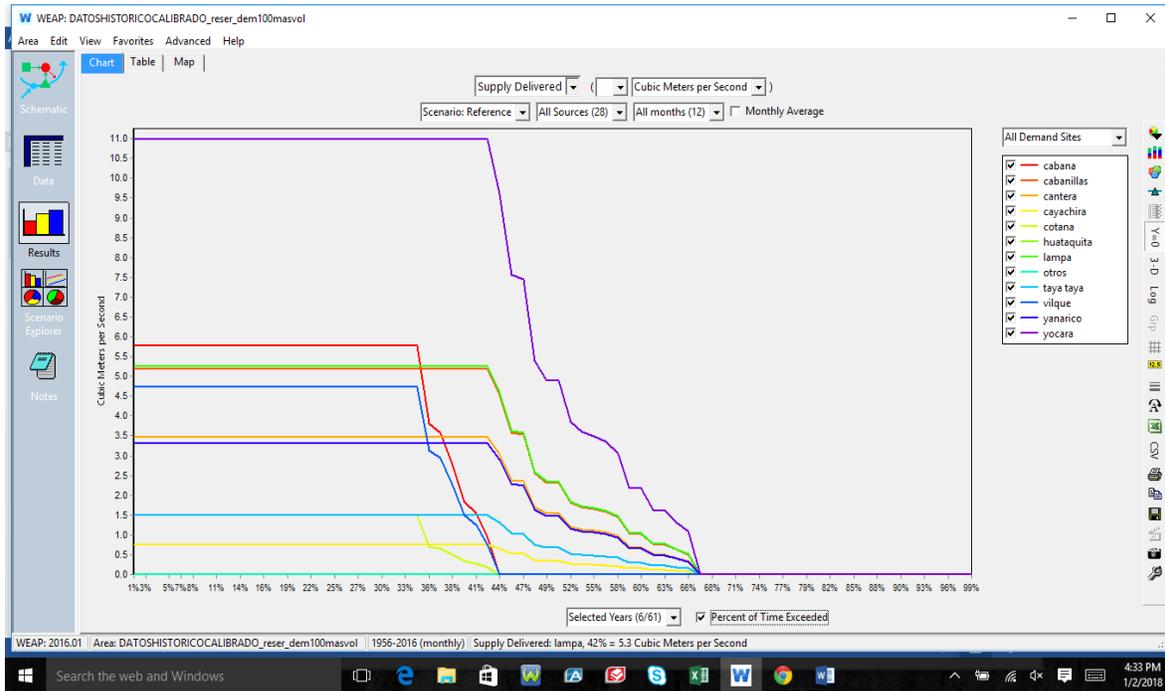


Figura 153: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con información HISTORICO

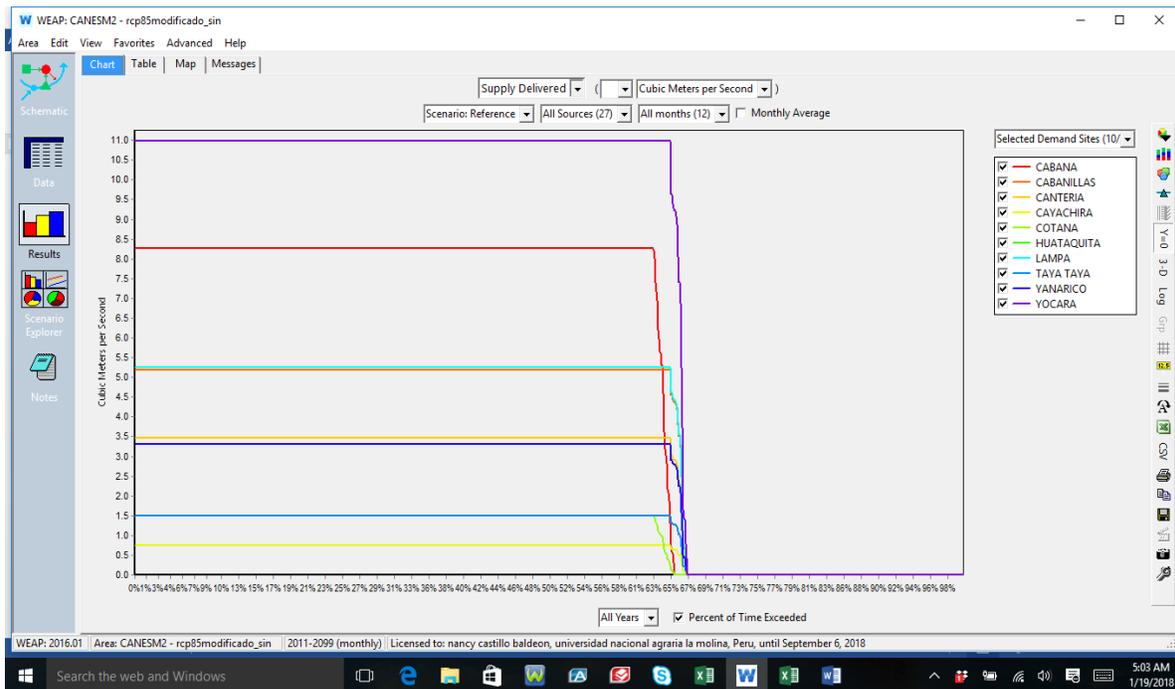


Figura 154: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con Cambio Climático CANES4.5

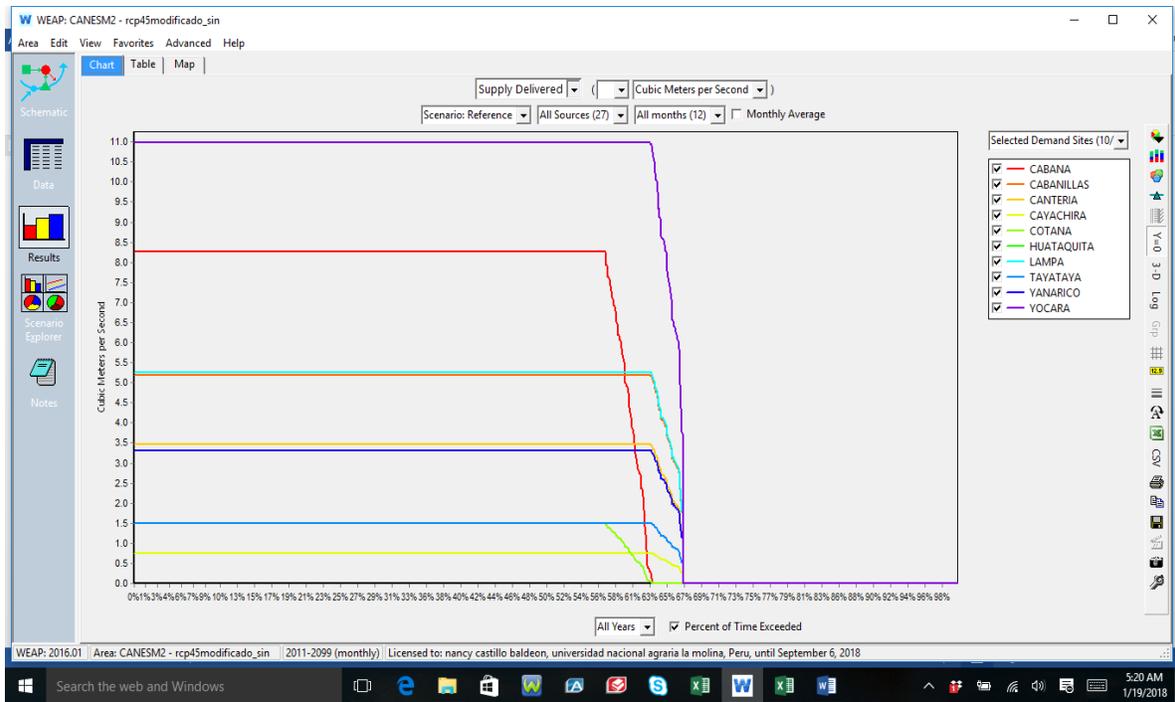


Figura 155: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con Cambio Climático CANES8.5

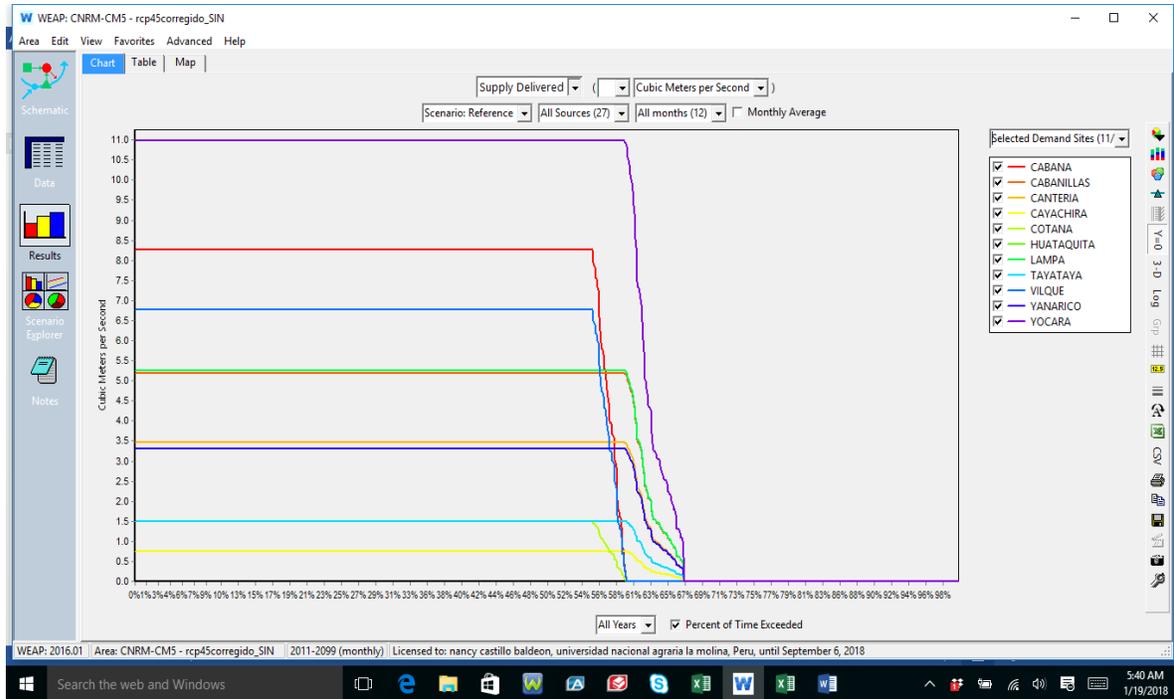


Figura 156: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con Cambio Climático CNRM_CMI4.5

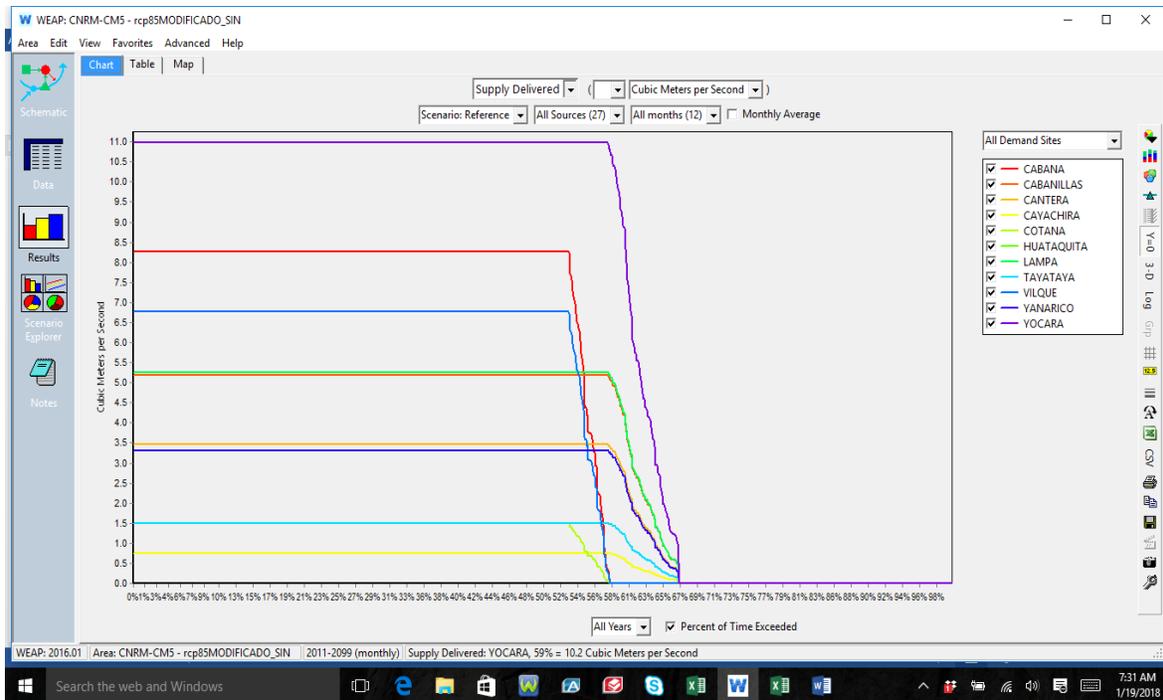


Figura 157: Demandas entregadas satisfechas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (100%), con Cambio Climático CNRM_CMI8.5

Comentario:

Para el tercer escenario con regulación en lagunillas y regulación de las aguas del rio verde con las demandas al 100%. El embalse de Lagunillas y el embalse de rio verde presentan hasta un 13% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 13 a 75% y de 75% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3, Ver figuras de 137 a 145.

De los escenarios con cambio climático y el más resaltante es el de CANES4.5 y CANES8.5, con un rebose de 13% y el almacenamiento varia linealmente de 13% a 98% y con un almacenamiento al 100% en 30MM3. Para demandas entregadas son satisfechas en todos los escenarios con cambio climático en un 80%, resaltando los escenario con cambio climático CANES4.5 y CANES8.5, con un 95%, Ello es debido al represamiento de las aguas del rio verde y a la presa de Lagunillas. Ver figuras de 155 a 159.

9.4.2.4. CUARTO ESCENARIO:

El sistema con regulacion en lagunillas y rio verde regulado con las demandas al 50%

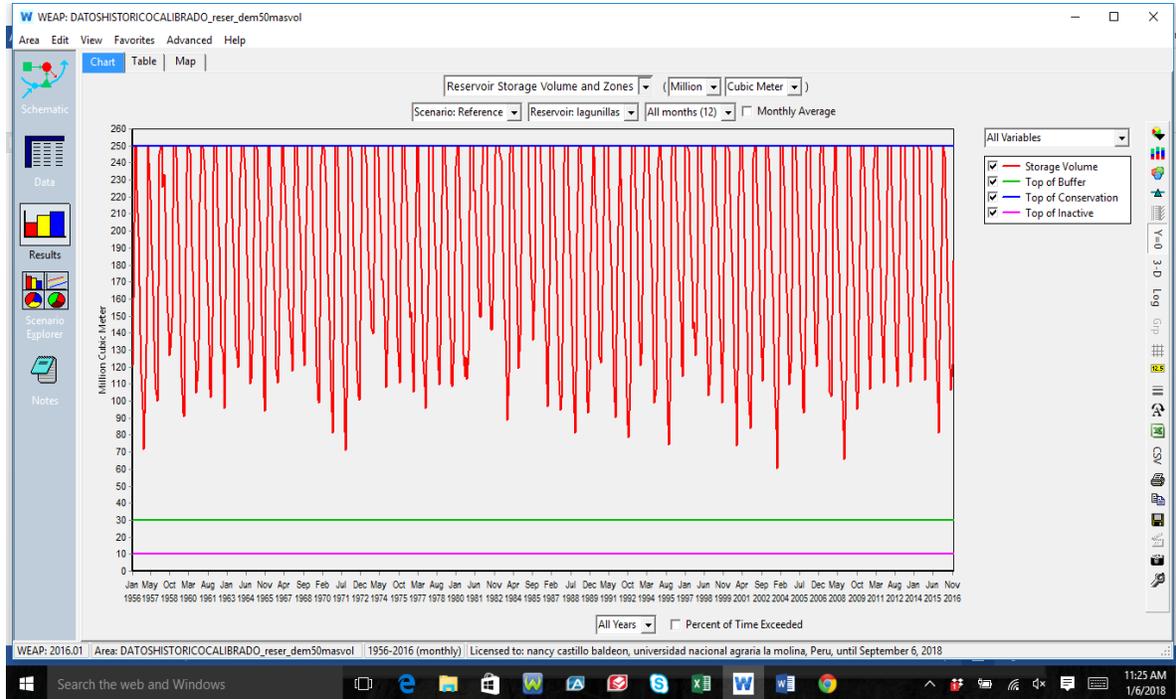


Figura 158: Volúmenes Almacenados con regulación de lagunillas y rio verde y con las demandas planteadas al 50% aguas abajo, del reservorio LAGUNILLAS

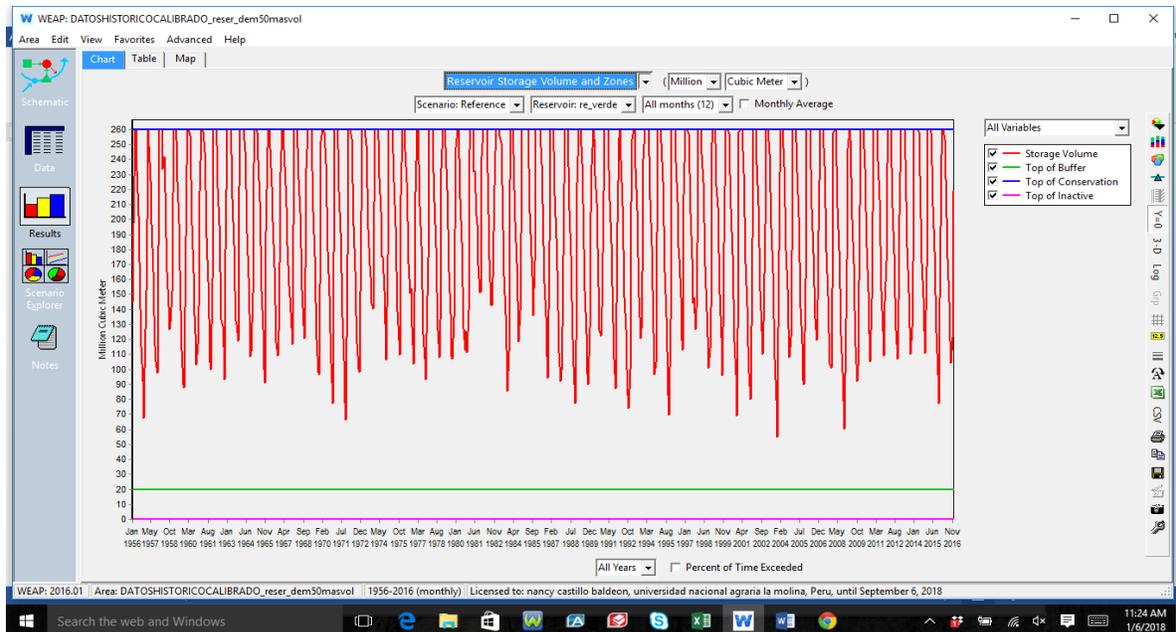


Figura 159: Volúmenes Almacenados con regulación de las aguas del rio verde regulado con las demandas planteadas al 50% aguas abajo, del reservorio verde



Figura 160: Volúmenes Almacenados operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas 50%)



Figura 161: Demandas entregadas Operando lagunillas, y reservorio verde y con las demandas planteadas (50%)

Comentario:

El embalse de Lagunillas presenta hasta un 30% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 30 a 100%. Ver figuras del 160 al 162. Para las demandas entregadas operando el reservorio lagunillas y el reservorio del rio verde y con las demandas planteadas al 50%, estas son satisfechas completamente al 100% tal como se muestran en la Figura N° 163.

9.4.3. PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Modelamiento del sistema bajo 3 escenarios de almacenamiento y demandas planteadas al 100% y 2 escenarios de referencia al 50% con información histórica con: almacenamiento de Lagunillas y aporte del río Verde, con almacenamiento de Lagunillas y trasvasamiento del río verde y con almacenamiento de Lagunillas y almacenamiento del río Verde, obteniéndose lo siguiente:

- Con el sistema de regulación de Lagunillas y río verde no regulado, con las demandas planteadas al 100%, satisfaces solo en un 35%.
- Con el sistema de trasvase del río verde a la Presa de Lagunillas, con las demandas planteadas al 100%, son satisfechas en un 52%.
- En el sistema de regulación de Lagunillas y río verde regulado con demandas planteadas solo al 100%, estas son satisfechas en un 75%.
- Con regulación de Lagunillas y río verde no regulado con demandas al 50%, las demandas planteadas son satisfechas en un 48%.
- Con sistema regulado de Lagunillas y río verde regulado con demandas planteadas al 50%, estas son satisfechas completamente el 100%.

Modelamiento del sistema bajo 3 escenarios de almacenamiento y de demandas planteadas al 100% y 1 escenario de referencia al 50% para los cuatro escenarios de cambio climático: canes45, canes85, cnrm_cmi45, cnrm_cmi85

- Con sistema de regulación de Lagunillas y el río verde no regulado, para demandas planteadas al 100%. Se observa que bajo escenarios de cambio climático, estas solo cubren en más del 65% de las demandas planteadas de los cuales resalta en mayor medida el escenario canes 4.5 con un 75%.
- Con sistema de regulación de Lagunillas y trasvasamiento de las aguas del río verde a la presa de Lagunillas con demandas planteadas al 100%, son satisfechas en promedio de todos los escenarios en un 75%, resaltando siempre el escenario con cambio climático CANES4.5 con un 85%.
- Con sistema de regulación de Lagunillas y aguas del río verde almacenado en reservorio con demandas planteadas al 100%, son satisfechas en todos los escenarios con cambio climático

en un 80%, resaltando los escenarios con cambio climático CANES4.5 y CANES8.5, con un 95%.

- Para las demandas entregadas operando el reservorio lagunillas y el reservorio del río verde y con las demandas planteadas al 50%, estas son satisfechas completamente al 100% tal como se muestran en la Figura N° 163.

X. OPTIMIZACION MEDIANTE REGLAS DE OPERACIÓN APLICANDO WEAP

El objetivo fundamental de la investigación es obtener una política de regla de operación óptima para el Sistema Integral de Lagunillas, con el propósito de lograr una distribución óptima del agua en el tiempo y el espacio de dicho sistema que permita el aprovechamiento y manejo eficiente de los recursos hídricos del sistema. El modelo **WEAP** es uno de los modelos de optimización más importante que utiliza concepciones más simplificadas del sistema para una planificación integrada y análisis de políticas de los recursos hídricos. El programa hace un balance de las aguas entre las fuentes y los usuarios donde concibe la variabilidad espacial y temporal del recurso agua equilibrando las entregas y las demandas, para ello utiliza la Programación Lineal (PL) como técnica de optimización.

Así mismo el modelo WEAP presenta como módulo de análisis lo financiero permitiendo que el usuario investigue comparaciones de costo-beneficio para los proyectos, para lo cual presenta escenarios de política de uso del agua en los que evalúa una amplia gama de opciones de desarrollo y manejo del agua tomando en cuenta los usos de los recursos hídricos. En el modelo cuenta con menú de **“Costo”** y se encuentran una serie de parámetros como **“costo de capital”** anualizado, **“costo de variables de operación y mantenimiento”** por unidad de agua, **“costos fijos de operación y mantenimiento”** anualizado. La variable de **“beneficio”** se puede acceder de una manera similar como las variables de costos, los beneficios que pueden ser modelados en WEAP, son los **“beneficios variables”** o retorno variable y los **“beneficios fijos”** conocidos como los beneficios actuales o de retorno.

10.1. ELABORACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS DE PROYECTOS DEL SISTEMA INTEGRAL DE LAGUNILLAS

Para la elaboración del cuadro de costos y beneficios de los diferentes proyectos de irrigación del Sistema Integral de Lagunillas, se tuvo que recurrir del apoyo de Ingenieros ex alumnos de la UNA Puno y trabajadores y funcionarios actuales de la institución de PRORRIDRE – PUNO,

que nos facilitaron de los expedientes de pre-factibilidad y factibilidad de los 10 sectores de riego que consta el Sistema Integral de Lagunillas. Por exigencia del modelo se convirtió los montos de soles a Dólares según el tipo de cambio según SUNAT. Ver cuadro 27.

PROYECTO	AREA (Ha)	CAUDAL (m ³ /seg)	COSTOS				BENEFICIOS						
			COSTO DE CAPITAL (\$)	COSTO OPERATIVO FIJO (\$)	COSTO OPERACIÓN (\$)	COSTO TOTAL (\$)	FIJO (\$)	POR UNIDAD DE AGUA (\$)	TIR (%)	VAN (\$)	B/C	BENEFICIO TOTAL (\$)	
CABANA - MAÑAZO	VILQUE-MAÑAZO	4,820.0	4.5	10'748,255.48	11'757,815.90	5'845,628.98	18'256,791.52	11'588,807.01	17'757,429.91	0.2	5'828,457.95	1.07	28'267,446.92
	CABANA	5,405.0	5.5	8'797,149.25	8'861,468.20	2'685,145.25	15'247,568.48	9'170,688.42	19'786,946.23	0.16	5'795,959.01	1.15	29'057,624.75
	HUATAQUITA	1,000.0	1	2'820,118.02	2'471,649.64	2'258,816.25	7'860,574.91	2'205,968.76	5'266,721.12	0.12	2'854,402.82	1.1	8'471,689.89
YANARICO	3,174.5	2.2	2'542,645.23	51,109.54	1'246,771.72	4'842,526.59	60,812.78	5'432,041.17	0.16	284,992.99	1.15	5'471,854.95	
CANTERIA	2,077.0	2.2	904,278.67	26,772.50	562,957.68	1,489,801.77	29,677.28	2'804,215.99	0.2	593,186.81	1.91	2'843,992.37	
SANTA LUCIA - CABANILLA - LAMPA	SANTA LUCIA	990.0	0.76	15'982,704.24	5,126.15	925,557.92	15'748,857.60	6,322.64	19'048,826.85	0.12	4'292,984.45	1.21	19'055,149.69
	CABANILLA	1,100.0	2.5	48'791,761.86	21,226.15	551,214.49	49'214,241.70	46,592.99	64'067,920.11	0.15	8'922,516.25	1.3	64'108,514.28
	LAMPA	2,250.0	1.72	26'265,818.02	26,576.22	278,222.61	26'670,616.96	49,166.20	67'791,475.18	0.12	7'225,879.86	1.85	67'846,641.28
YOCARA	4,020.0	2.5	15'192,786.57	261,161.84	1'797,704.59	17'251,653.04	229,518.29	11'887,627.14	0.15	2'891,288.24	1.3	22'427,147.52	
CABANILLA - CHATAPUJO	1,600.0	2.5	5'981,989.57	161,097.77	482,828.52	6'625,926.96	196,429.48	7'887,079.25	0.15	752,127.28	1.22	8'082,508.76	
	28,446.5	28.69											

Cuadro 27: Costos y beneficios de los sectores del sistema integral de Lagunillas en Dólares

10.2. MODELADO DEL SISTEMA PARA 3 ESCENARIOS DE FUNCIONAMIENTO DE ALMACENAMIENTO Y DE DEMANDAS PLANTEADAS AL 100% CON INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO: CANESM2-RCP4.5, CNRM_CMI4.5 E HISTORICO.

El modelamiento del sistema se hizo en primer lugar bajo condiciones reales con información **HISTÓRICA** y bajo la influencia del cambio climático considerando la proyección climática de mayor influencia a **CANESM2-RCP4.5** y **CNRM_CMI4.5**, planteando 3 escenarios de funcionamiento de almacenamiento y demandas asumidas, los cuales son presentados: funcionando solo reservorio de la Presa Lagunillas y rio verde sin reservorio; funcionando reservorio de Lagunillas y trasvasamiento de las aguas del rio Verde a la Presa de Lagunillas y con almacenamiento de la Presas de Lagunillas y Presa del rio Verde.

10.2.1. ESCENARIO FUNCIONANDO SOLO RESERVORIO DE LAGUNILLAS Y RIO VERDE SIN RESERVORIO

10.2.1.1. CURVA DE DURACIÓN DE BENEFICIOS NETOS DE CADA UNO DE LOS SECTORES DE DEMANDA

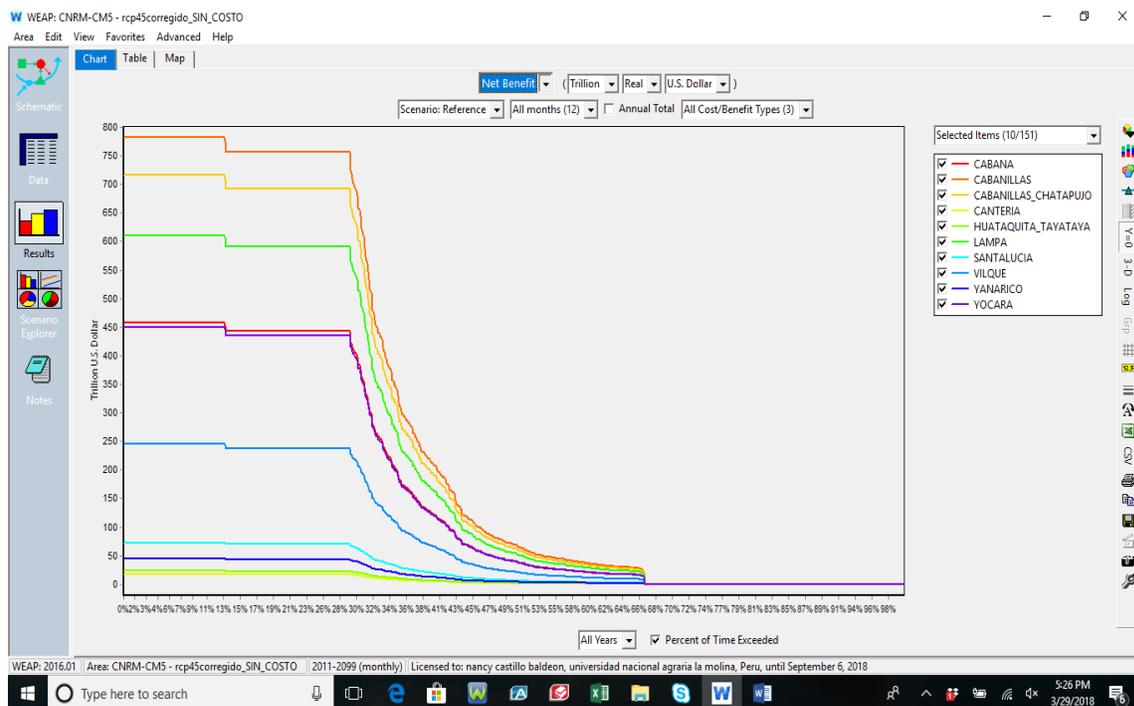


Figura 162: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45

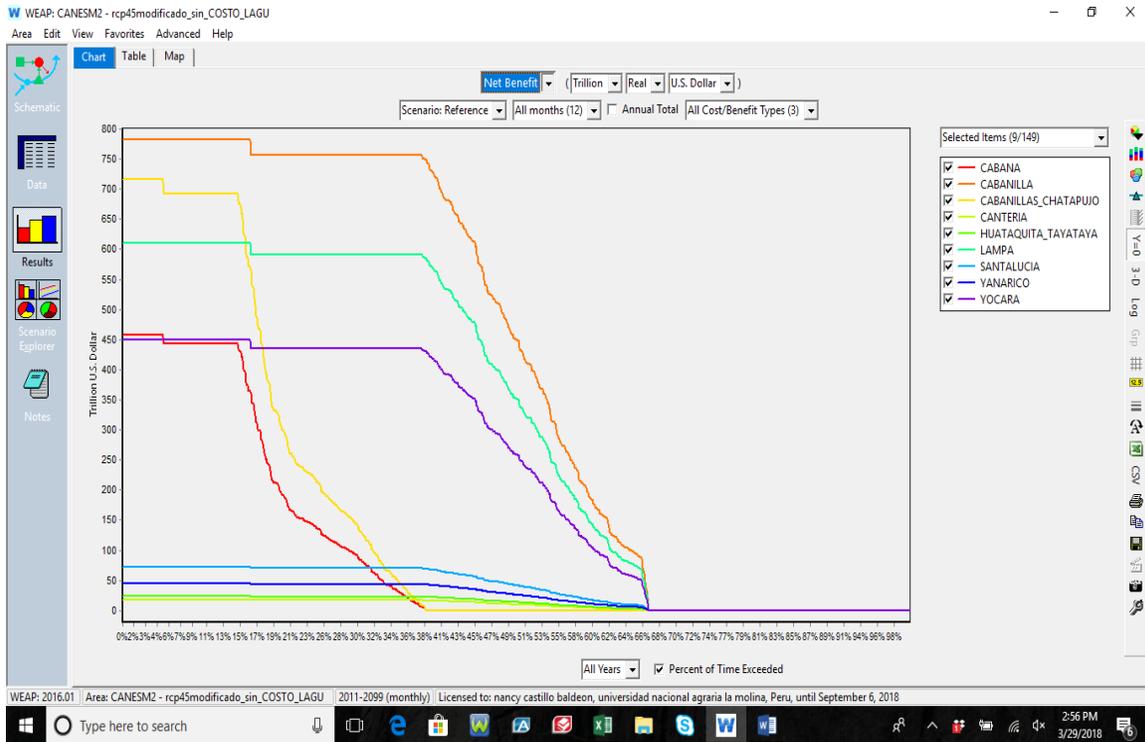


Figura 163: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático canesm2-rcp45

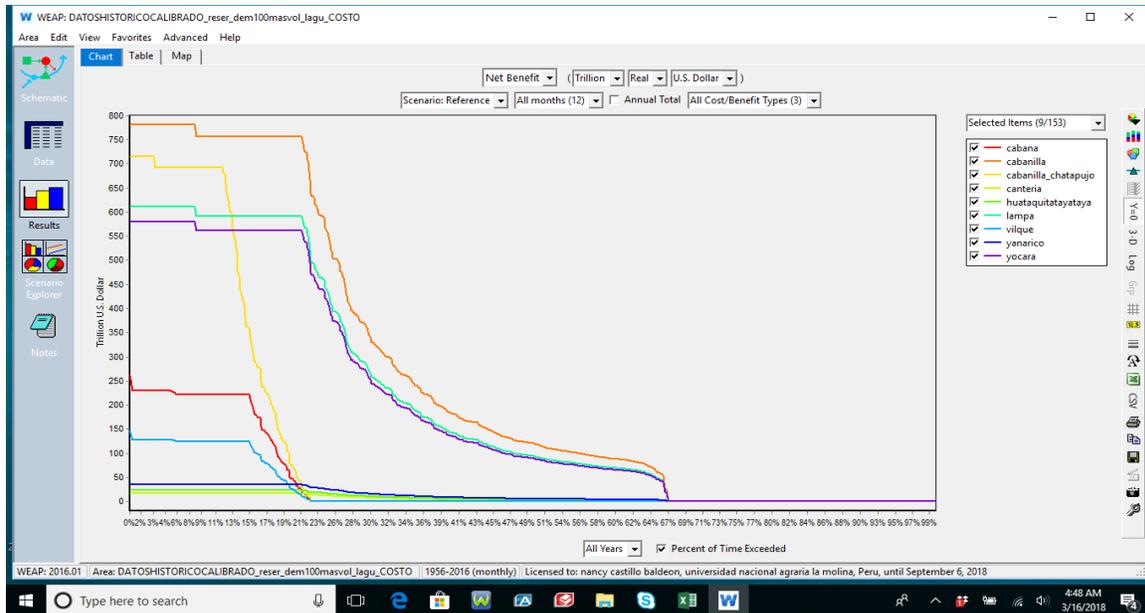


Figura 164: Beneficios netos de los sectores de riego con información HISTORICO

10.2.1.2. BENEFICIOS, COSTO DE CAPITAL, COSTOS OPERATIVOS

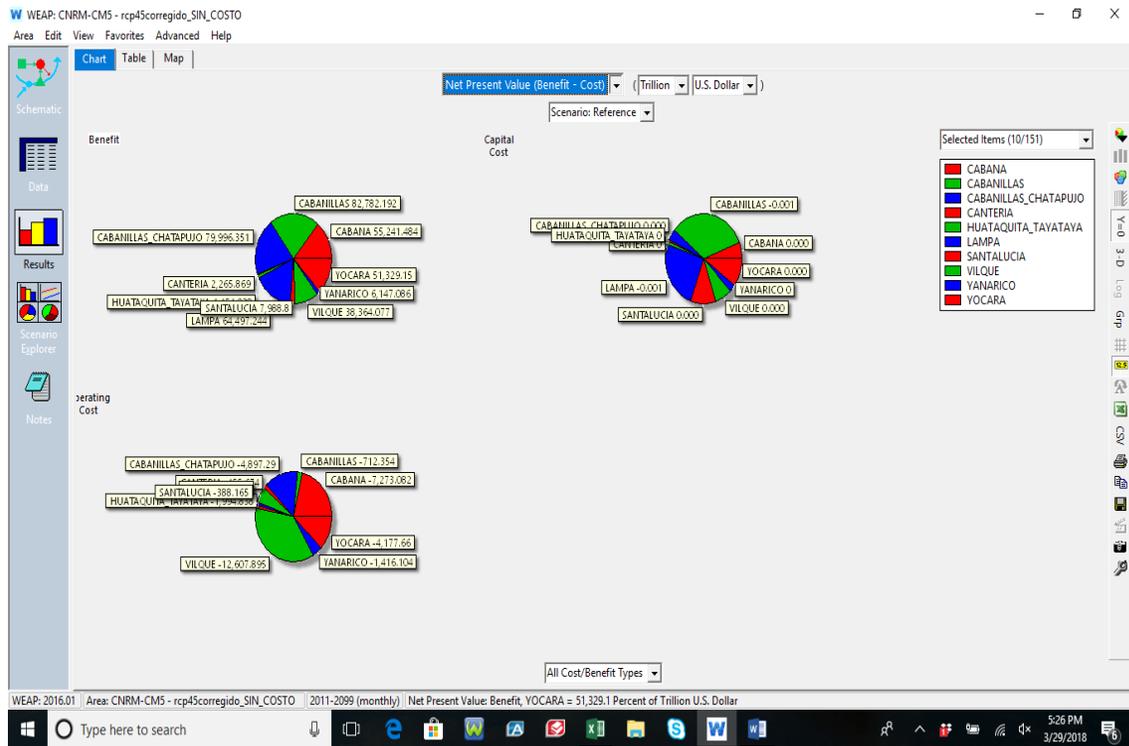


Figura 165: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CNRM_CM5-RCP45

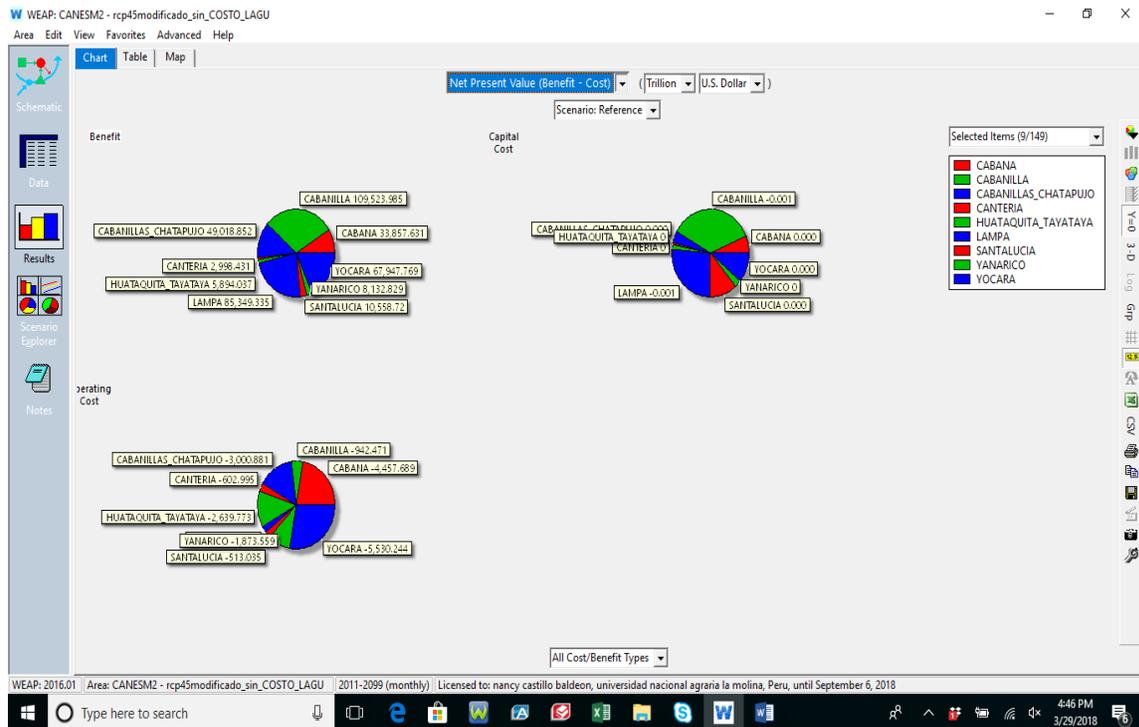


Figura 166: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CANESM2-RCP45

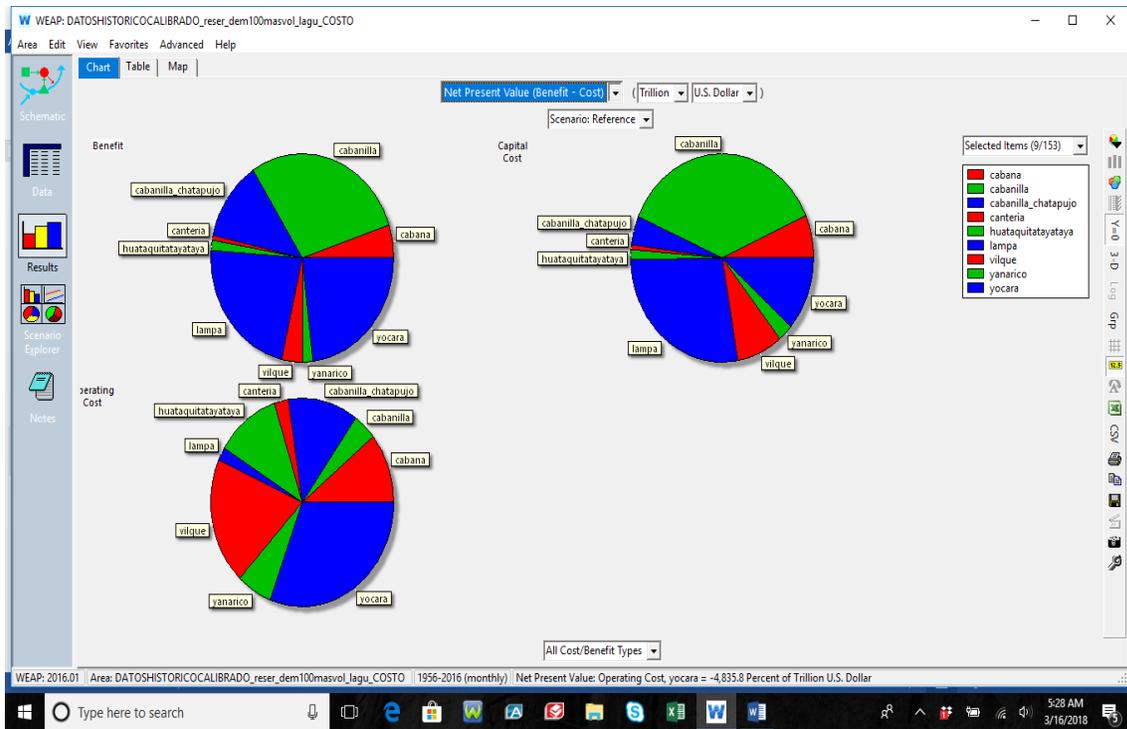


Figura 167: beneficios, costo de capital, costos operativos con información HISTORICO

10.2.1.3. PROMEDIO DEL COSTO DEL AGUA

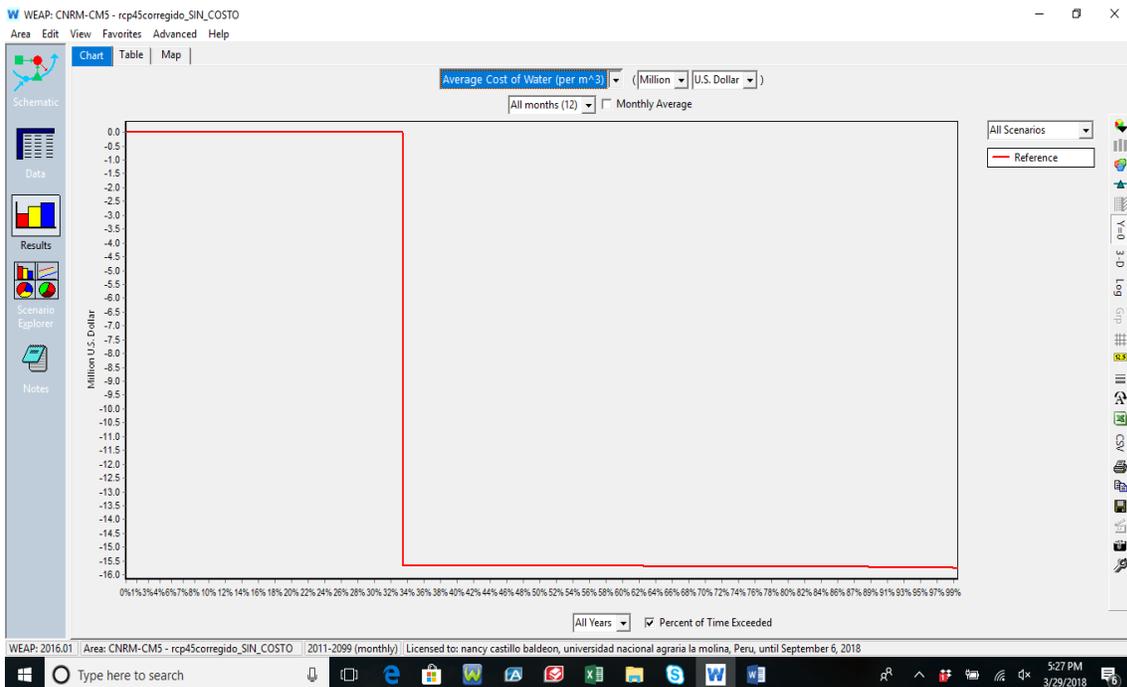


Figura 168: Costo promedio del agua por metro cubico escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45



Figura 169: Costo promedio del agua por metro cubico escenario climático CANESM2-RCP4.5



Figura 170: Costo promedio del agua por metro cubico con información HISTORICO

10.2.1.4. DEMANDA DE AGUA ENTREGADA

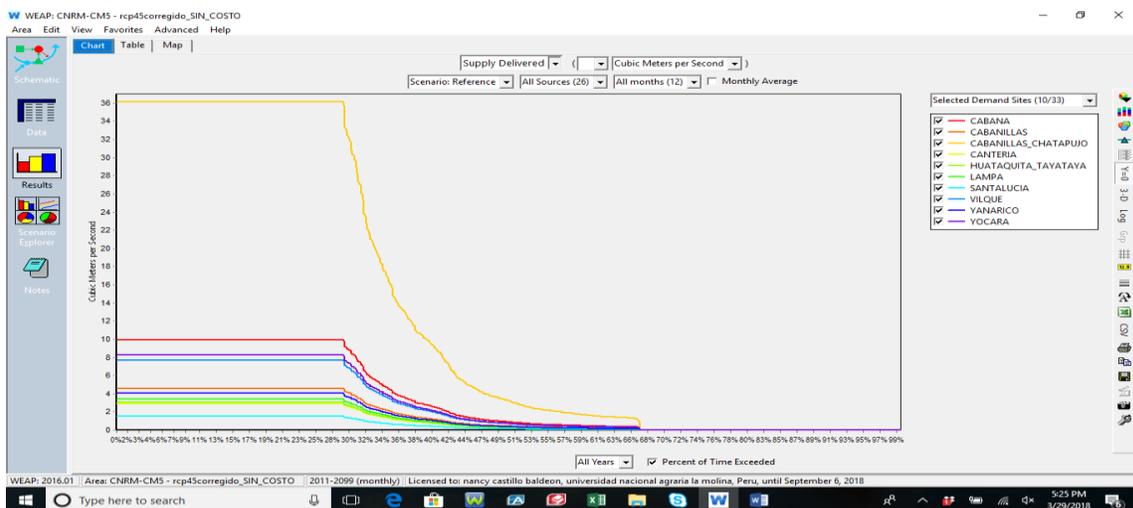


Figura 171: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5

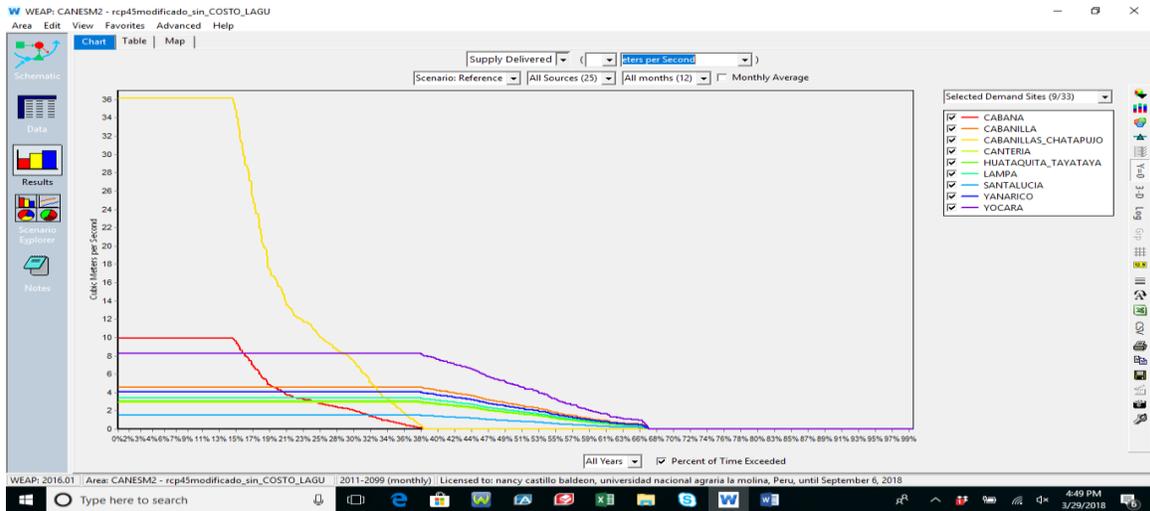


Figura 172: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector, escenario climático CANESM2-RCP4.5

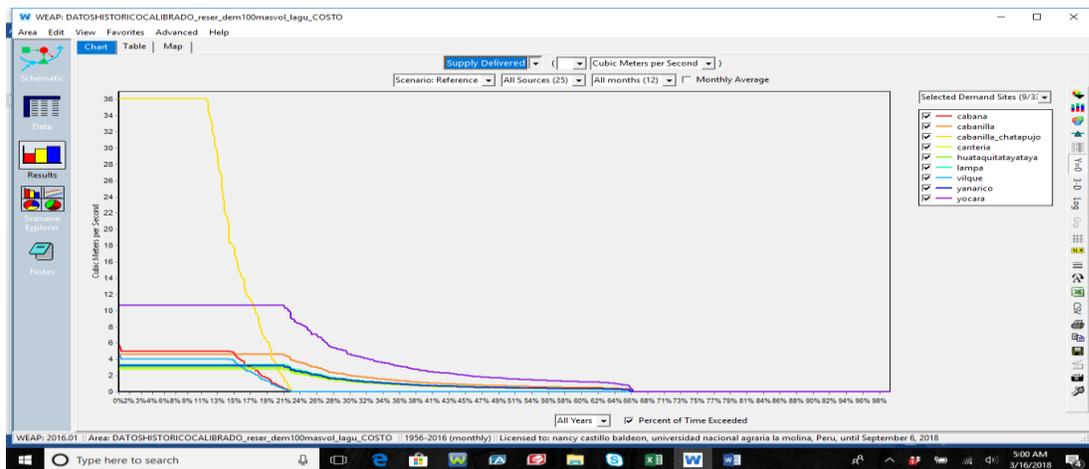


Figura 173: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector con información HISTORICO

10.2.1.5. VOLUMEN DEL RESERVOIRIO LAGUNILLAS

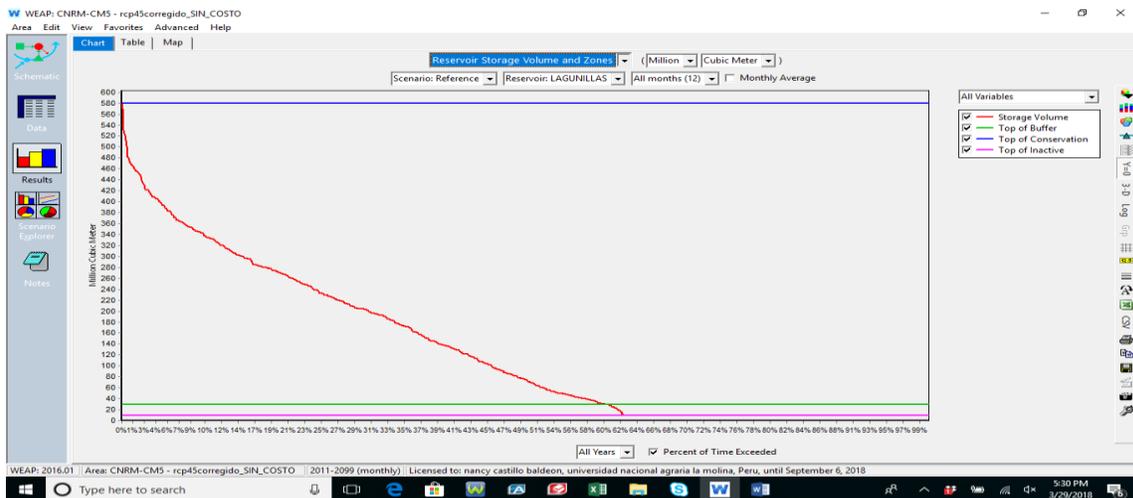


Figura 174: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5



Figura 175: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5

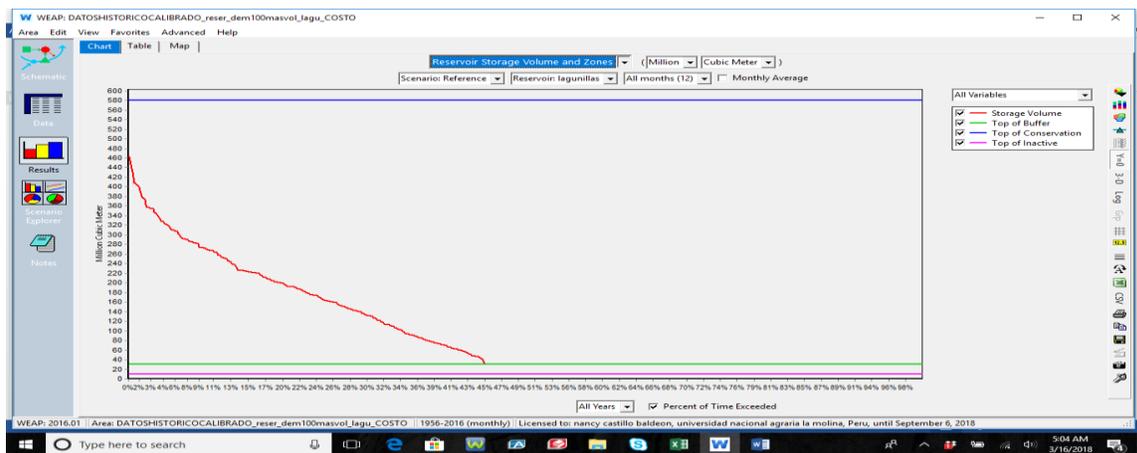


Figura 176: Volumen del reservorio lagunillas con información HISTORICO

10.2.1.6. ENTRADAS Y SALIDAS DEL RESERVORIO

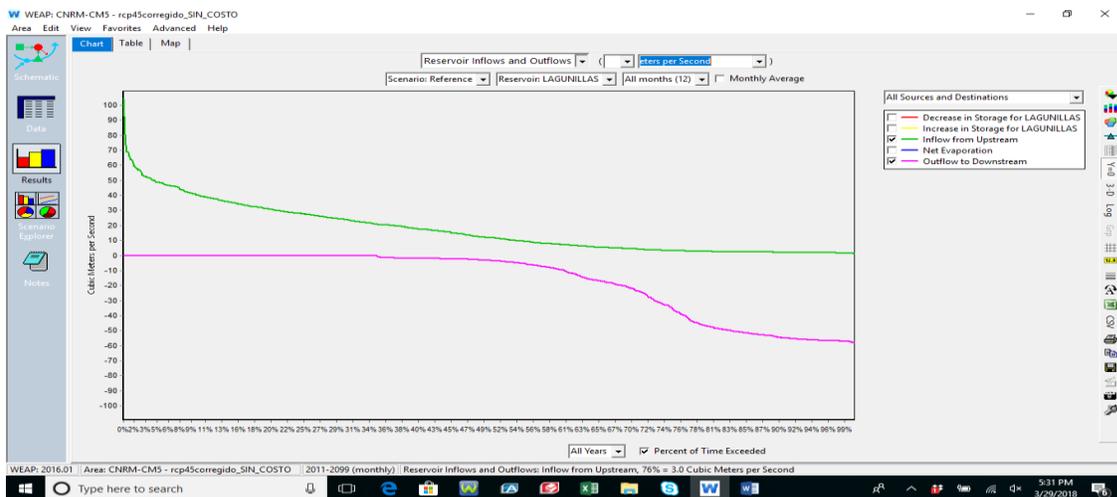


Figura 177: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas, escenario de cambio climatico CNRM_CM5-RCP4.5

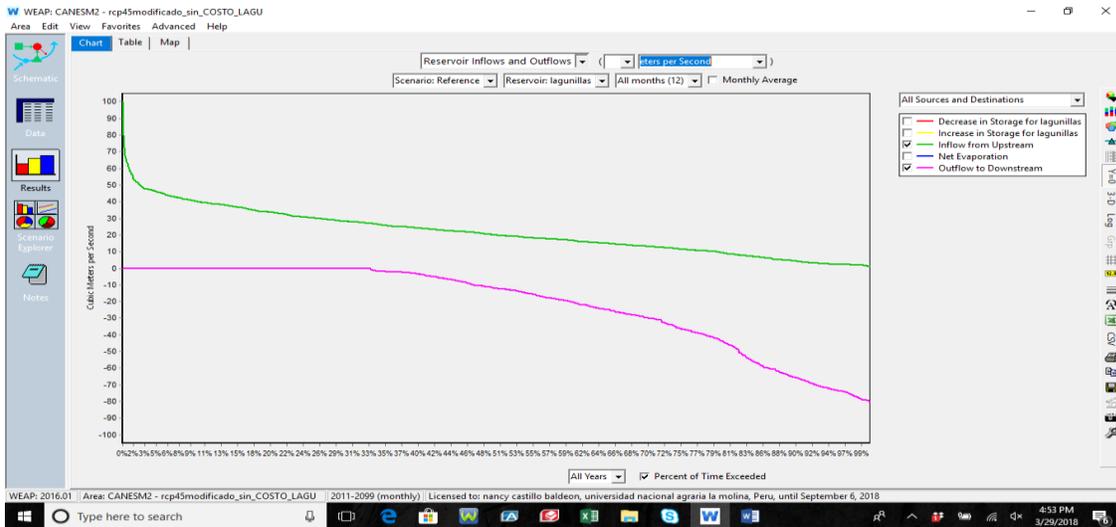


Figura 178: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.



Figura 179: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con información HISTORICO

10.2.2. ESCENARIO FUNCIONANDO RESERVOIRIO DE LAGUNILLAS Y RIO VERDE TRASVASE A LAGUNILLAS

10.2.2.1. CURVA DE DURACIÓN DE BENEFICIOS NETOS DE CADA UNO DE LOS PUNTOS DE DEMANDA



Figura 180: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45



Figura 181 : beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático CANESM2-RCP45

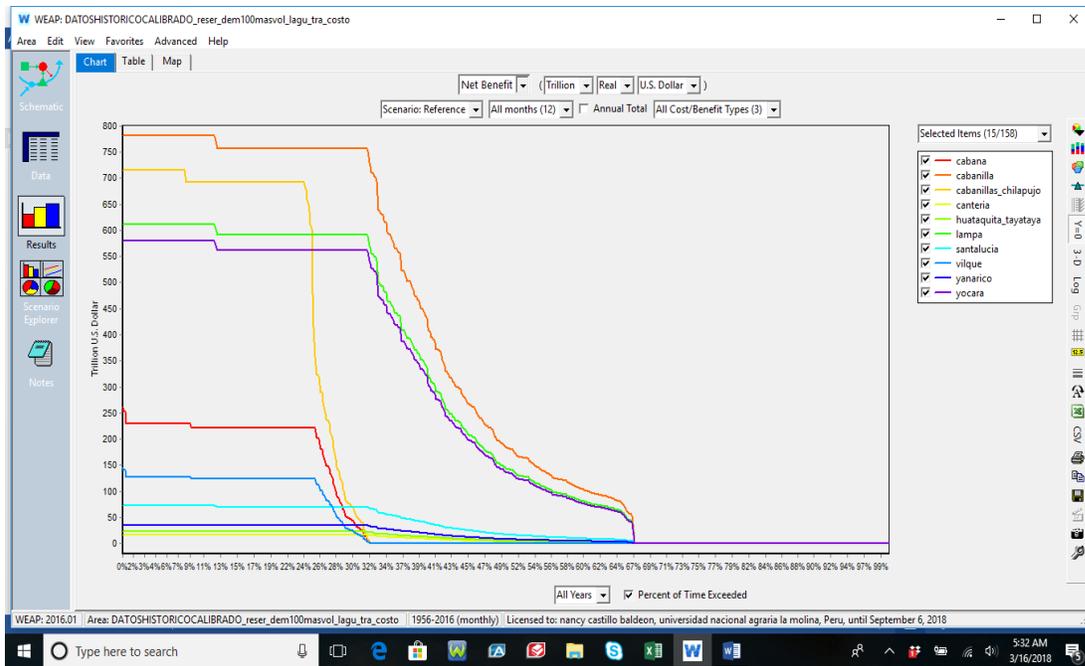


Figura 182: beneficios netos de los sectores de riego con información HISTORICO

10.2.2.2. BENEFICIOS, COSTO DE CAPITAL, COSTOS OPERATIVOS

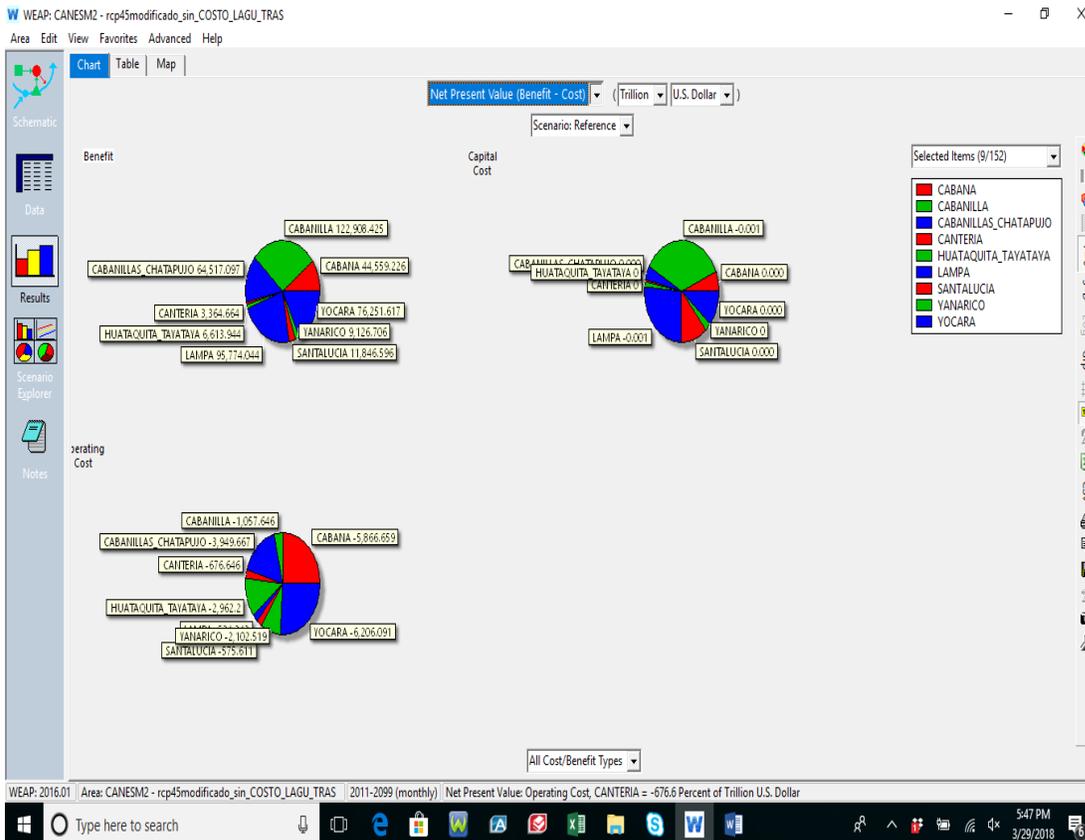


Figura 183: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CNRM_CM5-RCP45

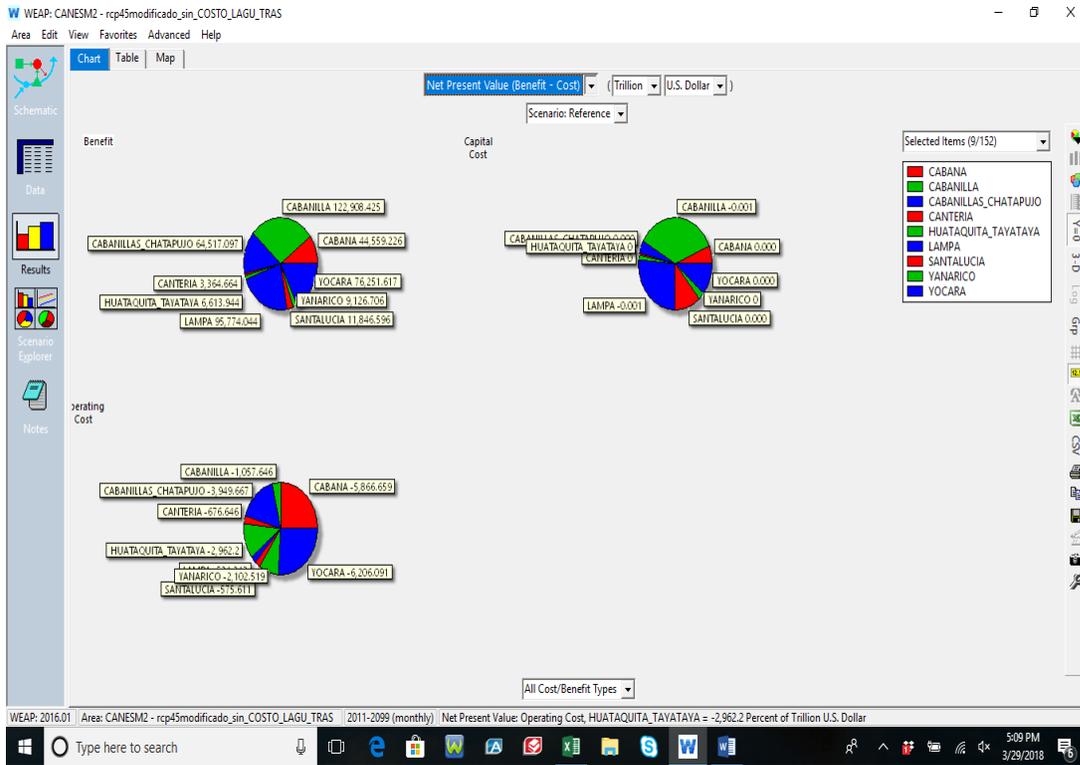


Figura 184: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CANESM2-RCP45

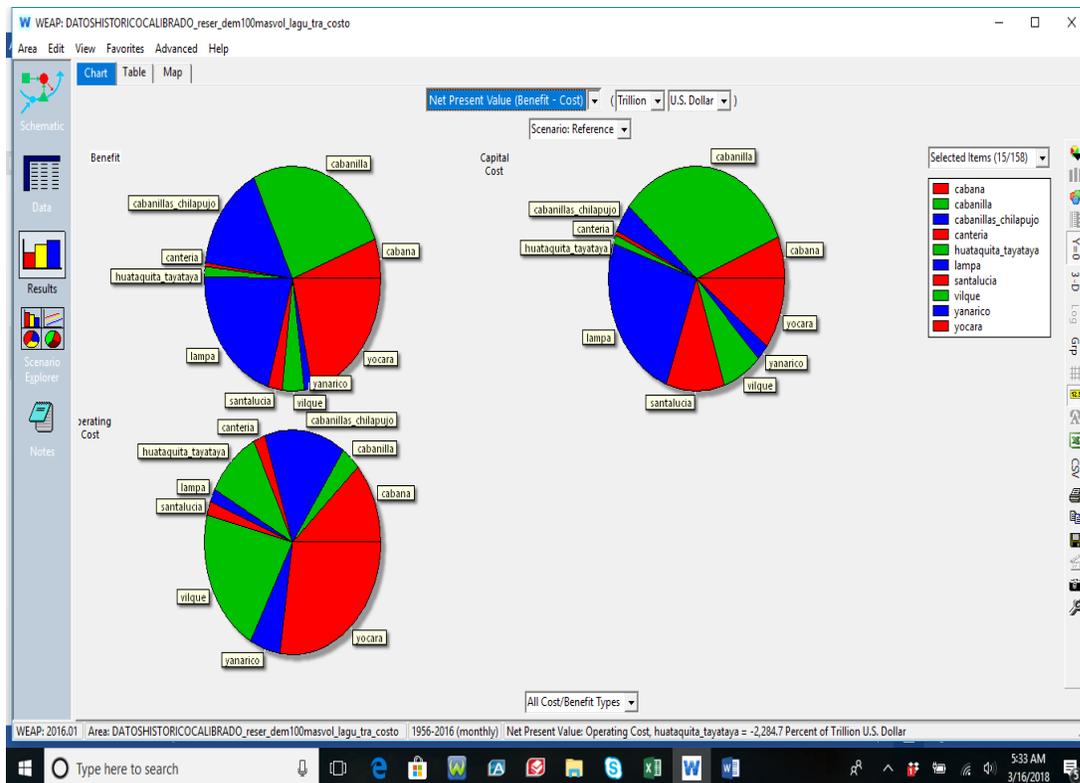


Figura 185: beneficios, costo de capital, costos operativos con información HISTORICO

10.2.2.3. PROMEDIO DEL COSTO DEL AGUA



Figura 186: Costo promedio del agua por metro cubico escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45

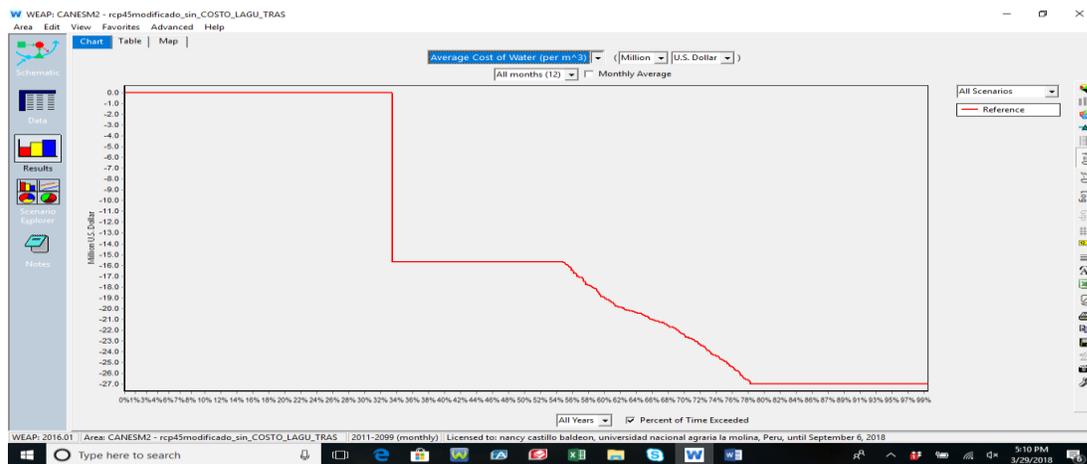


Figura 187: Costo promedio del agua por metro cubico escenario climático CANESM2-RCP4.5

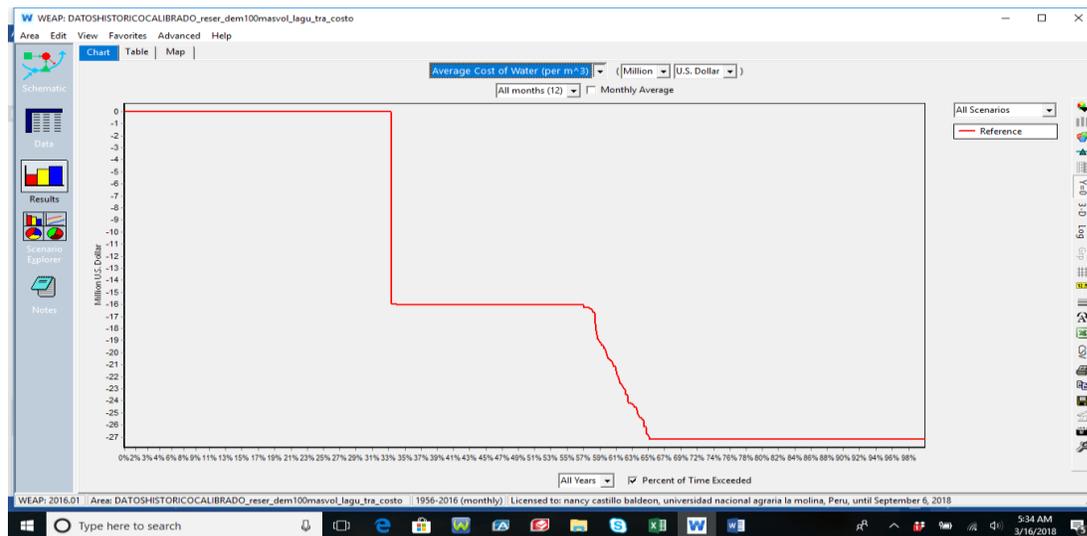


Figura 188: Costo promedio del agua por metro cubico con información HISTORICO

10.2.2.4. DEMANDA DE AGUA ENTREGADA

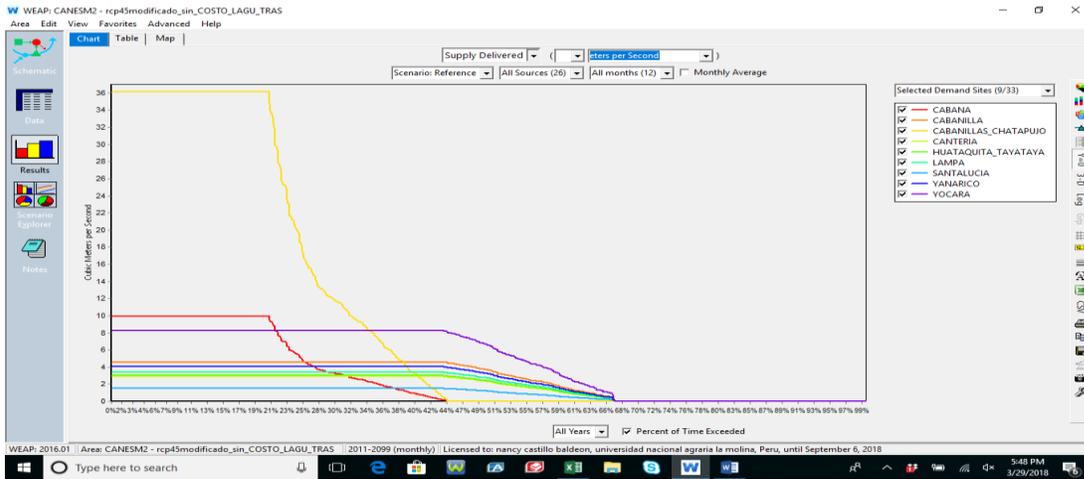


Figura 189: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5

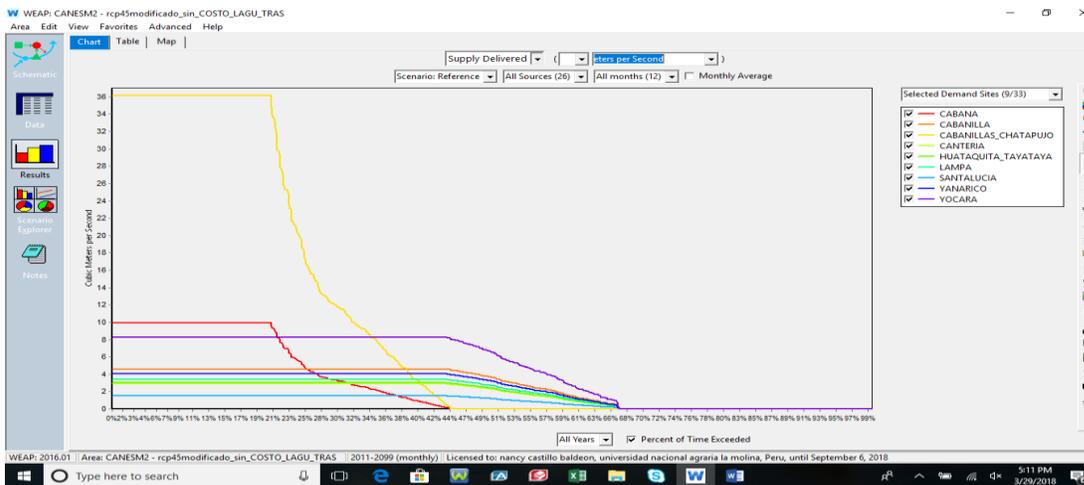


Figura 190: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector, escenario climático CANESM2-RCP4.5

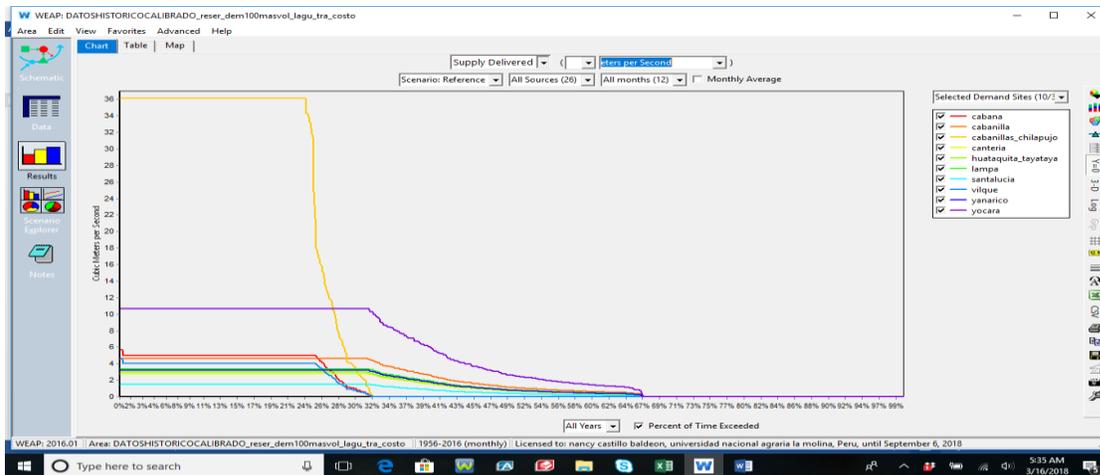


Figura 191: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector con información HISTORICO

10.2.2.5. VOLUMEN DEL RESERVOIRIO LAGUNILLAS



Figura 192: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5

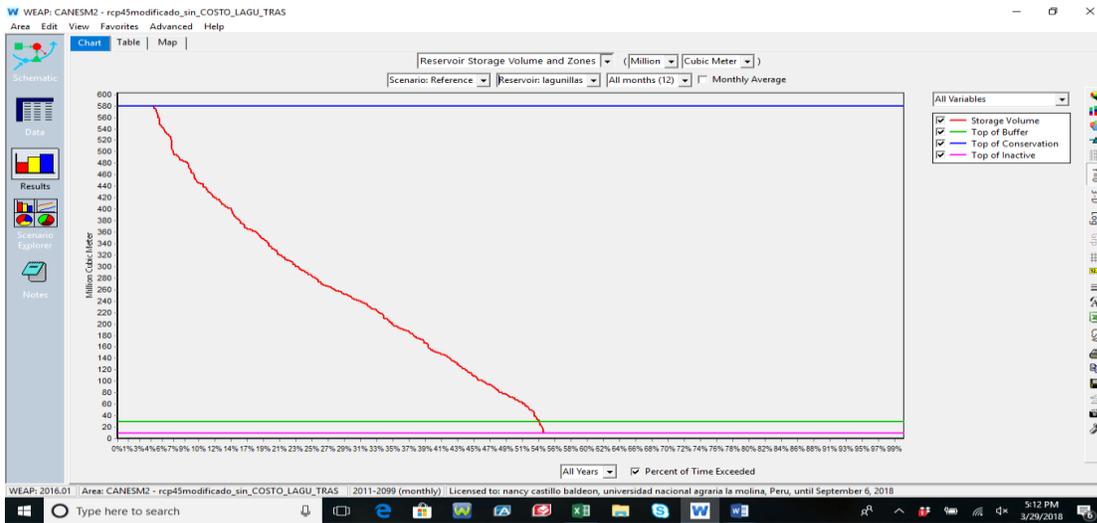


Figura 193: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5



Figura 194: Volumen del reservorio lagunillas con información HISTORICO

10.2.2.6. ENTRADAS Y SALIDAS DEL RESERVORIO

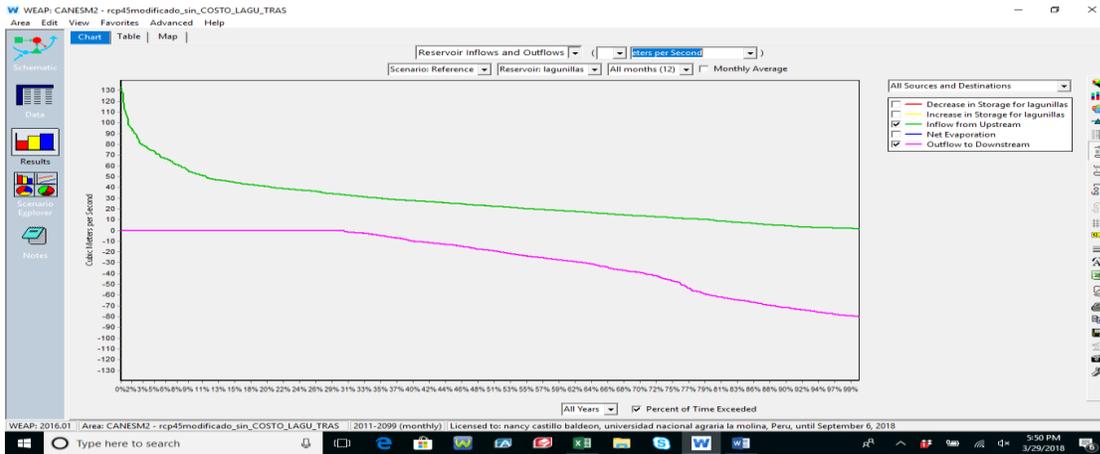


Figura 195: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas, escenario de cambio climatico CNRM_CM5-RCP4.5

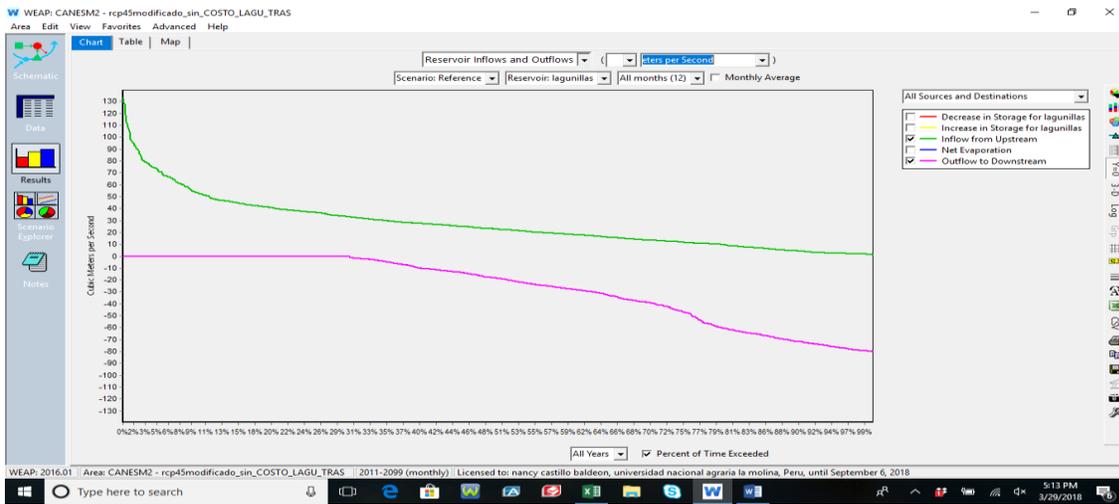


Figura 196: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5

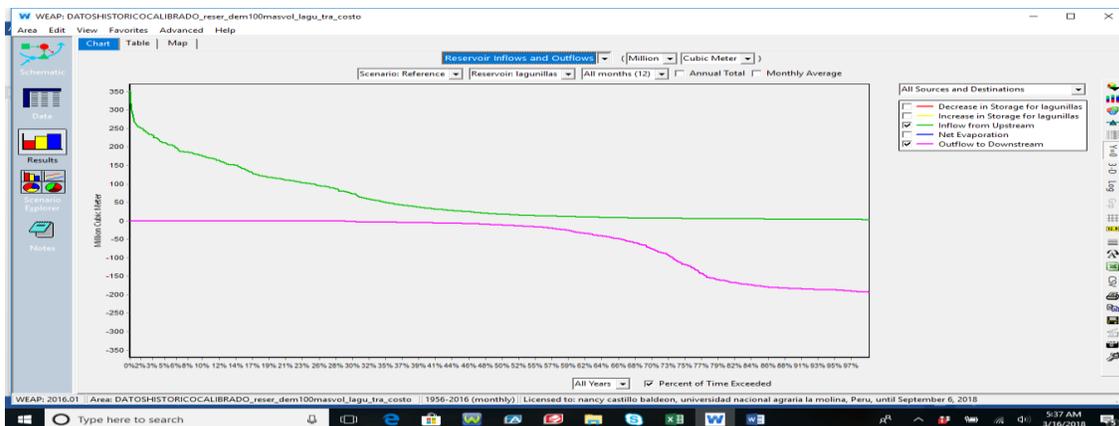


Figura 197: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con información HISTORICO

10.2.3. ESCENARIO FUNCIONANDO RESERVOIRIO DE LAGUNILLAS Y RIO VERDE CON RESERVOIRIO

10.2.3.1. CURVA DE DURACIÓN DE BENEFICIOS NETOS DE CADA UNO DE LOS PUNTOS DE DEMANDA

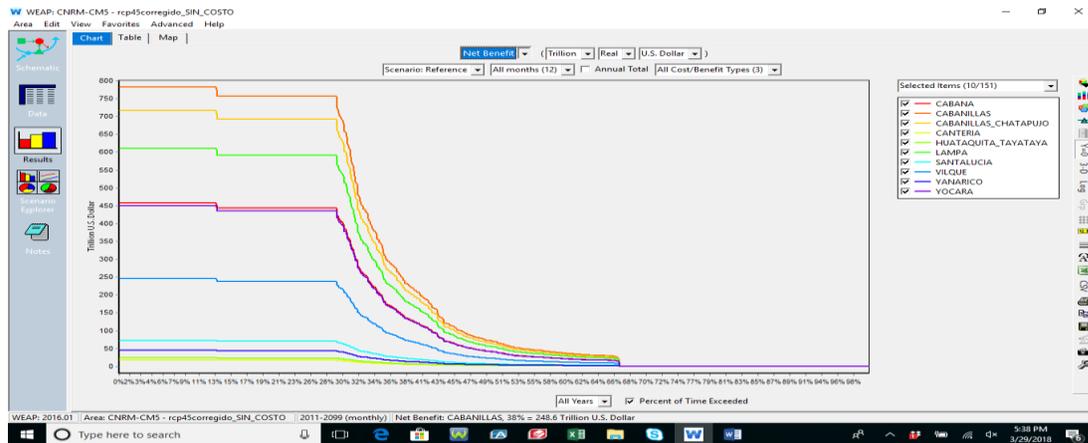


Figura 198: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45

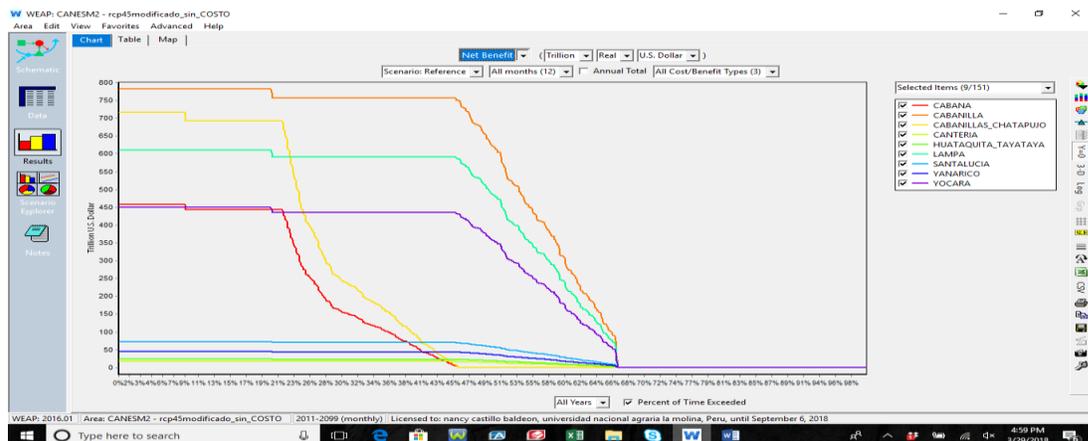


Figura 199: beneficios netos de los sectores de riego escenario de cambio climático canesm2-rcp45

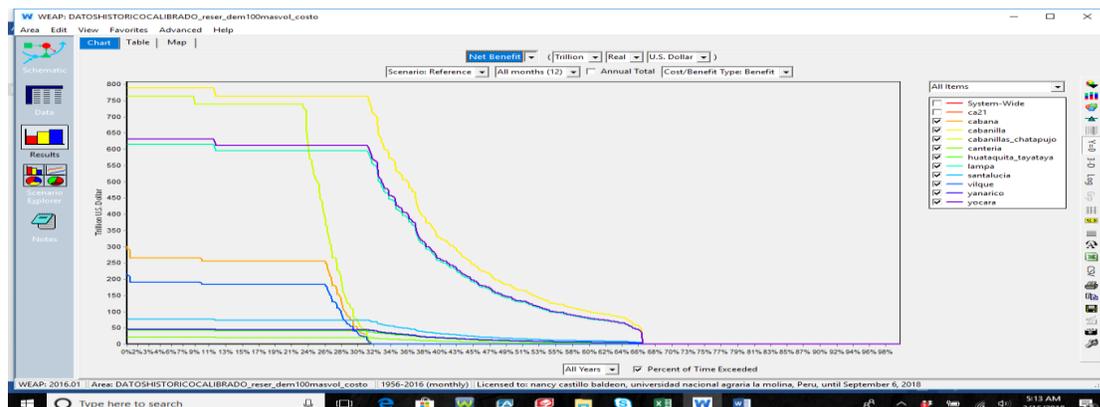


Figura 200: Beneficios netos de los sectores de riego con información HISTORICO

10.2.3.2. BENEFICIOS, COSTO DE CAPITAL, COSTOS OPERATIVOS

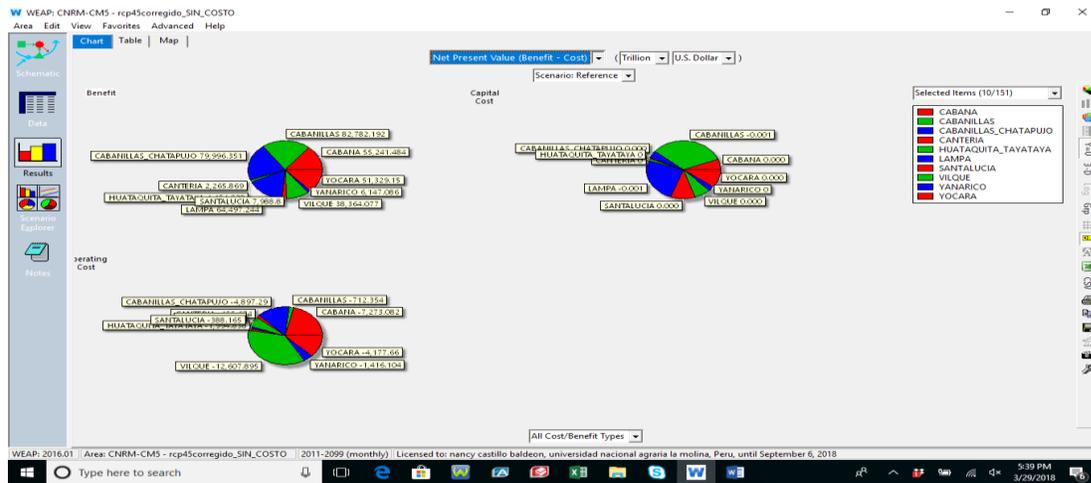


Figura 201: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CNRM_CM5-RCP45

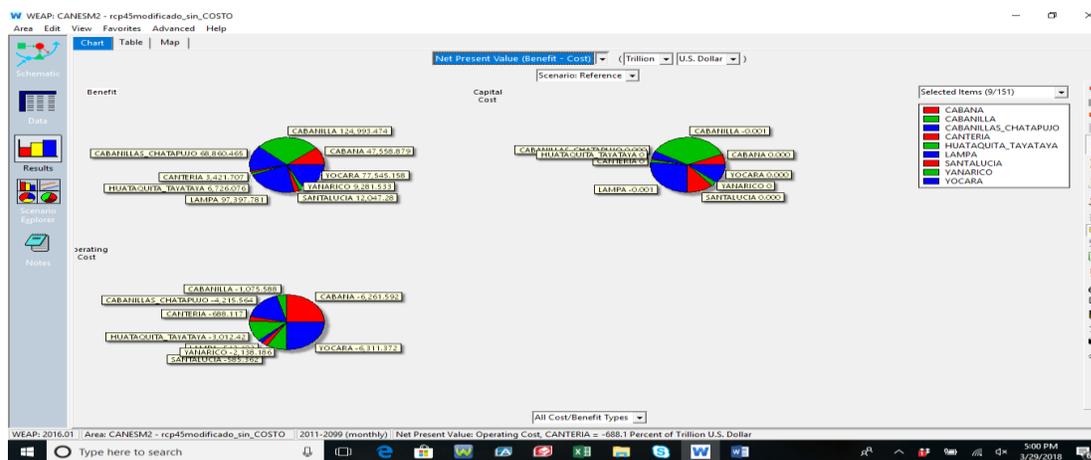


Figura 202: beneficios, costo de capital, costos operativos escenario de cambio climatico CANESM2-RCP45

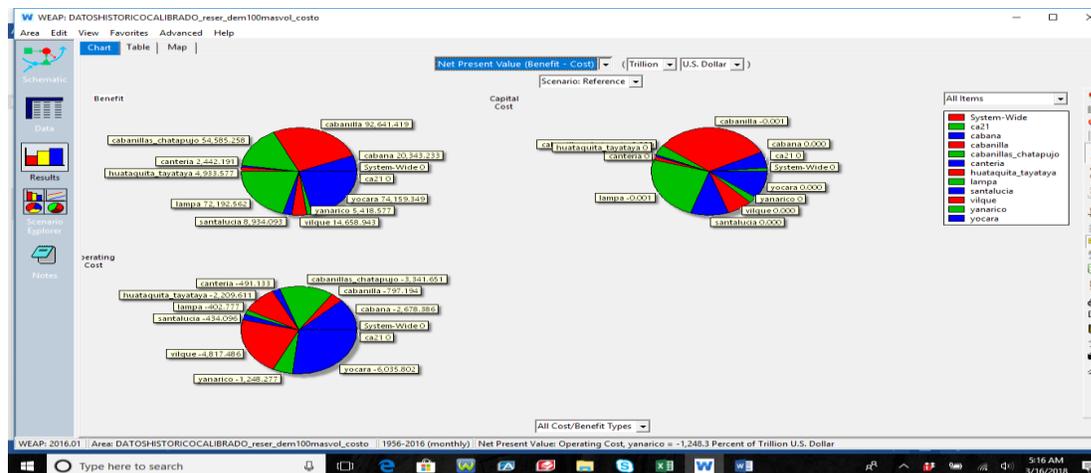


Figura 203: beneficios, costo de capital, costos operativos con información HISTORICO

10.2.3.3. PROMEDIO DEL COSTO DEL AGUA

La persistencia se ha incrementado respecto al caso- a3 en la que el solamente opera el reservorio de lagunillas

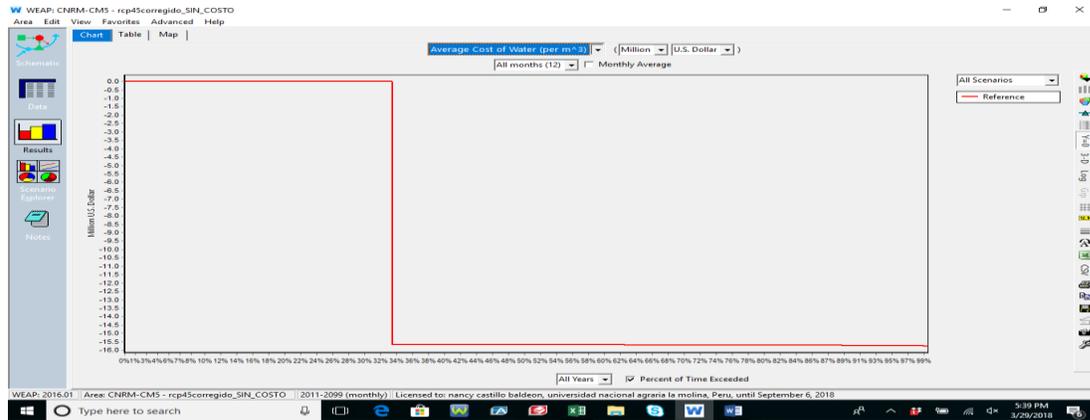


Figura 204: Costo promedio del agua por metro cubico escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP45



Figura 205: Costo promedio del agua por metro cubico escenario climático CANESM2-RCP4.5

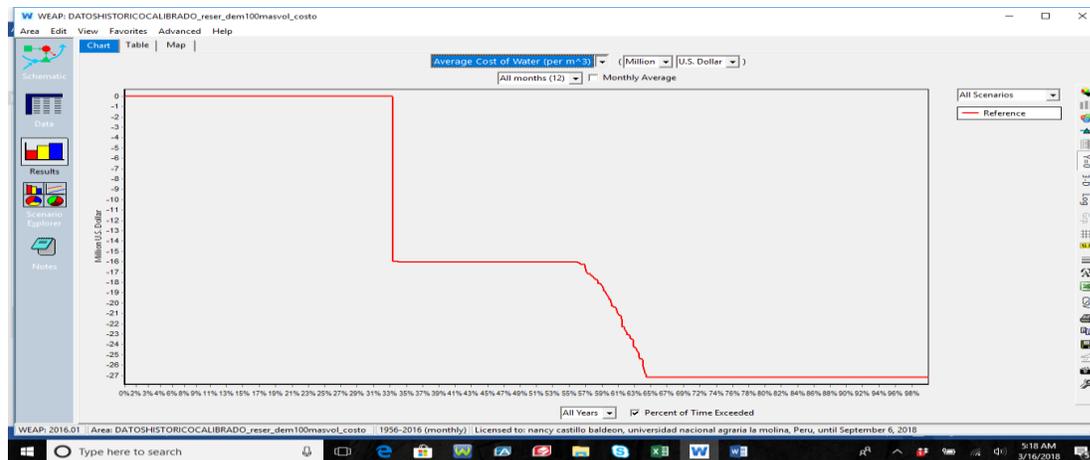


Figura 206: Costo promedio del agua por metro cubico con información HISTORICO

10.2.3.4. DEMANDA DE AGUA ENTREGADA

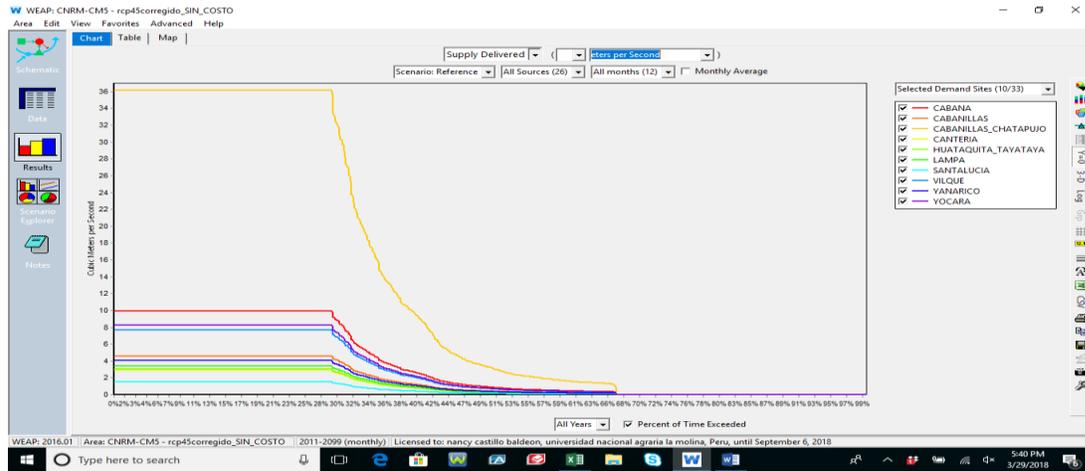


Figura 207: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5

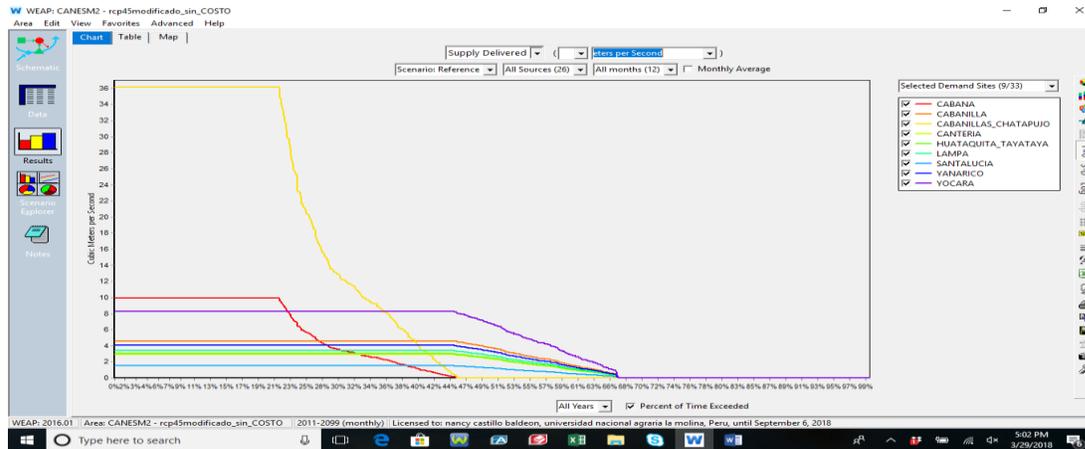


Figura 208: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector, escenario climático CANESM2-RCP4.5

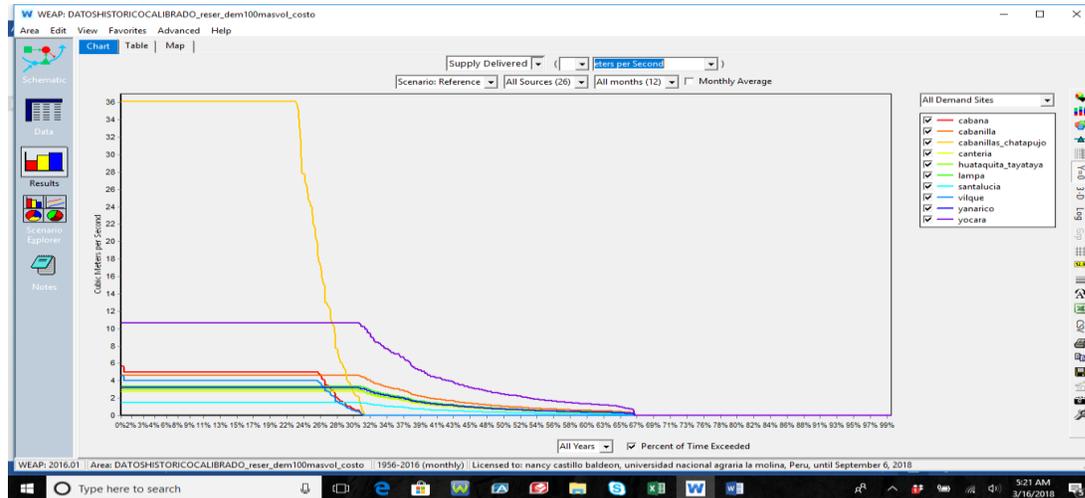


Figura 209: Porcentaje (%) de demanda cubierta por sector con información HISTORICO

10.2.3.5. VOLUMEN DEL RESERVOIRIO LAGUNILLAS Y RIO VERDE



Figura 210: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5

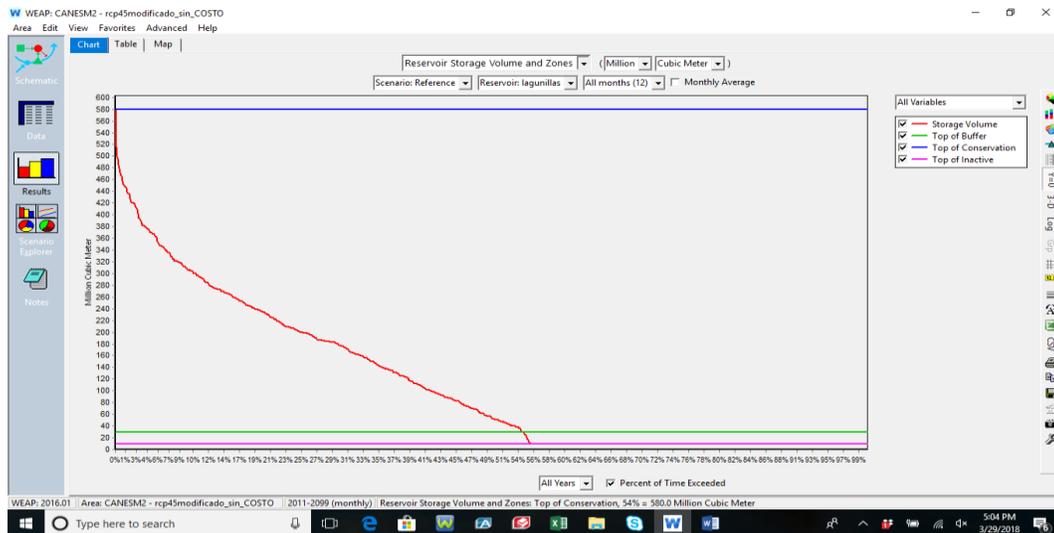


Figura 211: Volumen del reservorio lagunillas, escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5



Figura 212: Volumen del reservorio lagunillas con información HISTORICO



Figura 213: Volumen del reservorio rio Verde, escenario de cambio climático CNRM_CM5-RCP4.5



Figura 214: Volumen del reservorio rio verde, escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5



Figura 215: Volumen del reservorio rio verde con información HISTORICO

10.2.3.6. ENTRADAS Y SALIDAS DEL RESERVOIRIO

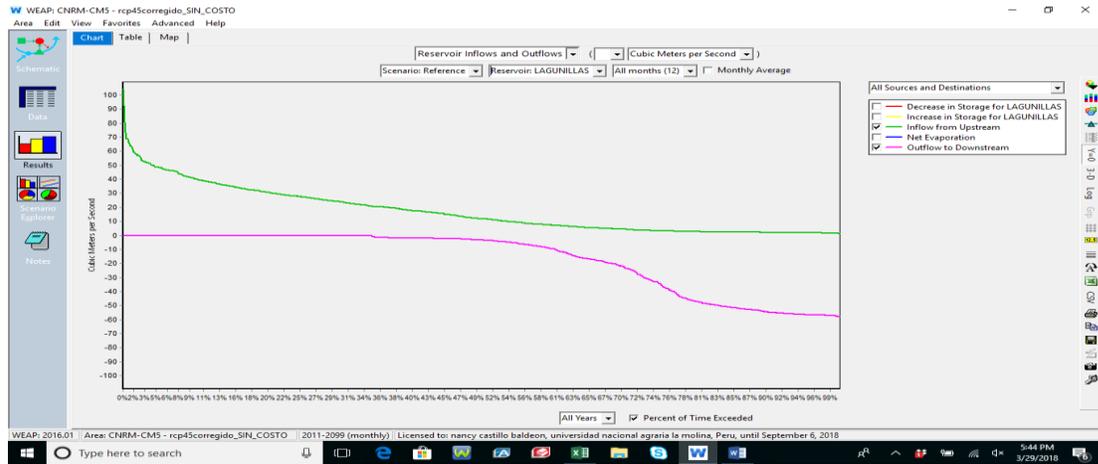


Figura 216: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas, escenario de cambio climaticoCNRM_CM5-RCP4.5

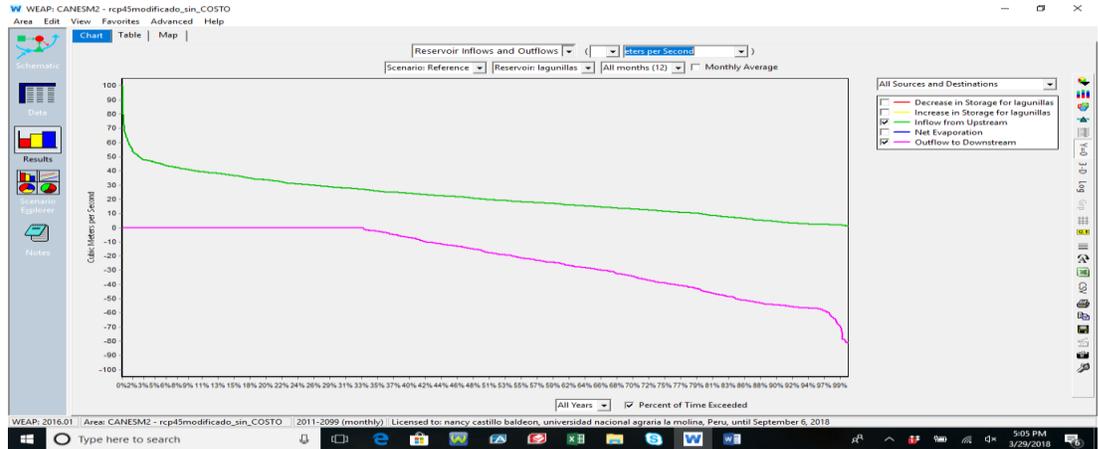


Figura 217: Entradas y salidas del reservorio Lagunillas con escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5



Figura 218: Entradas y salidas del reservorio lagunillas con información HISTORICO



Figura 219: Entradas y salidas del reservorio rio verde, escenario de cambio climatico CNRM_CM5-RCP4.5



Figura 220: Entradas y salidas del reservorio rio verde con escenario de cambio climático CANESM2-RCP4.5



Figura 221: Entradas y salidas del reservorio rio verde con información HISTORICO

Comentario:

I. PRIMER ESCENARIO:

Escenario funcionando reservorio de lagunillas y rio verde sin reservorio.

1.1 Se observa que el Proyecto Cabanillas presenta los más altos beneficios netos tanto con información histórico así como los escenarios de cambio climático de 30 % en CNRM_CM5_RCP4.5 y destacando el CANESM2_RCP 4.5 con un 40 %. Los más bajos beneficios se encuentra el proyecto Canteria.

1.2 En cuanto a los costos operativos con información histórica se encuentra los proyectos de Yacora y Vilque con los escenarios de cambio climático CANESM2_RCP 4.5 el mayor costo operativo es Yacora y el menor Yanarico; con el escenario o CNRM_CM5_RCP4.5 el de mayor costo operativo se muestra el proyecto Vilque y el menor Cabanillas.

En costos de capital tanto con información histórica así como los escenarios climáticos tiene el mayor costo de capital los proyectos Cabanillas y Lampa. Los menores Yanarico y Cantería. Los costos del agua con información histórica asi como con los escenarios climáticos a un 34 % de persistencia los costos son altos, luego disminuyen los costos de 34 % a 55 % con información histórica y con CANESM2_RCP 4.5 disminuye hasta un 72 % mientras que con CNRM_CM5_RCP 4.5 de 34 % el costo es cero.

1.3 La demanda de agua entregada con información histórica asi como los de cambio climático es mayor en el proyecto Cabanillas en un 15 a 30 % de persistencia

1.4 Los volúmenes del reservorio lagunillas.

ESCENARIOS	VOLUMEN INICIAL (millones de m3)	% DE VACIADO
Información Histórica	450.0	45%
CANESM2_RCP 4.5	480.0	47%
CNRM_CM5_RCP4.5	530.0	62%

1.5 Los ingresos del reservorio se mantiene constante mientras que la salida del agua del reservorio se presenta así:

ESCENARIOS	CAUDAL (m3 / sg)	PERSISTENCIA (%)
Información Histórica	20.0	75%
CANESM2_RCP 4.5	40.0	75%
CNRM_CM5_RCP4.5	50.0	75%

II SEGUNDO ESCENARIO

Escenario funcionando reservorio de Lagunillas y con trasvase del rio verde a Lagunillas.

2.1 Los beneficios netos con respecto al primer escenario este aumentaron en un 10 % de persistencia para una información histórica se tiene un 32 % con CANESM2_RCP 4.5 es de 45% y con CNRM_CM5_RCP 4.5 es de 50 % de persistencia por lo que los beneficios netos más altos siempre es el proyecto Cabanillas y el menor Cantería.

2.2 Los costos operativos son altos para los proyectos de Cabana y Yocara y el menor Cauterio. En cuanto a los costos de capital son mayores para Cabanillas y Lampa. Los menores costos para Cantería y Yanarico.

2.3 Los costos son altos, tanto con información histórica como los de cambio climático son iguales como el del primer escenario en un 34 % de persistencia. Luego, disminuyen de 34 % a 54 % para luego se hace o de costo con información histórica a 65 % y con los de cambio climático o sus costos son 0 % a parte del 75 % de persistencia.

2.4 La demanda de agua entregada tanto con información histórica como de cambio climático aumenta en un 10 % con respecto al primer escenario.

2.5 Los volúmenes del reservorio de Lagunillas con trasvasamiento de las aguas del rio verde al reservorio Lagunillas , se tiene en los tres escenarios de operación un rebose del 10 % después de llenar 580 millones de metros cúbicos y un varía linealmente 10 % a 55 % para luego mantener un nivel 35 millones de metros cúbicos.

2.6 De igual manera que el primer escenario los caudales de ingresos son constantes, mientras que los de salida de agua del reservorio la disponibilidad al 75 % se tiene un incremento del 5 m³/seg con respecto al primer escenario es decir de 25,45 y 55 m³/seg.

III TERCER ESCENARIO

Escenario de funcionamiento del reservorio de Lagunillas y rio verde con reservorio se tiene.

3.1 Los beneficios netos son mayores para el proyecto Cabanillas con un incremento del 10 % con respecto al segundo escenario tanto con información histórica y los de cambio climático. El menor beneficio es el proyecto Cauteria.

3.2 Los costos operativos son mayores para los proyectos de Cabana y Yacora . Los de menor costo operativo el proyecto Yauarico.

3.3 Los costos son altos siempre hasta un 34 % y luego disminuye el costo de 34 % a 68 % para luego tener 0 % de costo en los tres escenarios de operación.

3.4 La demanda de agua entregada va de 26 % a 30 % con incremento del 10 % con respecto al segundo escenario.

3.5 Los volúmenes del reservorio del rio verde tiene un rebose del 15 % de persistencia hasta un 55 % a 68 % variando linealmente y posterior se mantiene con 25 millones de metros cúbicos.

3.6 El aporte del reservorio es de 22 m³ / seg con información histórica y con cambio climático es de 25 a 28 m³ / seg. Esto se suma los aportes de Lagunillas que es de 20 m³/seg, 40 y 50 m³/seg.

XI. CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO

La calibración y validación del modelo hidrológico exigió realizar comparaciones entre los caudales simulados y/o generados por la WEAP y la serie de caudales mensuales observados, correspondientes a un registro de 25 años entre 1969 y 1993. En la figura 43 puede apreciarse que el ajuste entre datos simulados y observados es muy bueno, existiendo una representación adecuada de la estacionalidad de los datos de precipitaciones de la Cuenca del río Cabanillas

Indices estadísticos de calibración	
Indice	Valor
Nash	0.998562
Pearson correlation coeff	0.8619
Kling-gupta Efficiency	0.466195
Bias Score	0.979
RRMSE	0.758395
Relative Volume Bias	0.0123
Normalized Peak Error	0.145

Cuadro 28: Valores de índices estadísticos de calibración

11.1. CALIBRACIÓN GRÁFICA VISUAL.

La calibración visual se evalúa a través de la comparación de las gráficas de los caudales medios mensuales generados por la WEAP y los caudales medios mensuales observados, tal como se muestra en la figura N° 43.

La curva de los caudales generados se aproxima y tienden a presentar el mismo comportamiento de la curva de caudales observados, lo cual se realiza la aceptación de esta evaluación gráfico visual.

11.2. MÉTODO ERROR MEDIO CUADRÁTICO – RMSE.

$$RMSE = \frac{100}{\bar{Q}_o} \sqrt{\frac{\sum(Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{n}}$$

Utilizando el método de error cuadrático se tiene como resultado de 0.758395, en porcentaje 75.8 %, que lo ubica como insatisfactorio de acuerdo a la tabla N° 1, que se ubica en el rango $0.70 > RSR$.

11.3. MÉTODO DE LA EFICIENCIA DE NASH – SUTCLIFFE.

$$Ef = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2}$$

El valor obtenido por el método de Nash es de 0.998562, por lo que es una calibración válida y de acuerdo a la tabla N° 1, se ubica con un rendimiento de Muy Bueno porque este se encuentra entre los valores de $0.75 < E \leq 1$.

11.4. BIAS NORMALIZADO (NBI)

Un menor porcentaje de bias revelará una mejor correspondencia entre datos observados y simulados. Un bias positivo indicará sobreestimación y uno negativo subestimación de caudales. En general, un valor de NBI menor al 15 por ciento denotará un ajuste satisfactorio (Moriasi et al., 2007)

$$NBI = \frac{100}{\bar{Q}_o} (\bar{Q}_s - \bar{Q}_o)$$

El valor obtenido por el método de Bias normalizado es de 0.979 nos indica un modelo de sobrestimación.

11.5. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON (R)

Expresa una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias; es decir, la evaluación de registros entre dos o más estaciones. Se puede definir como el índice utilizado para medir el grado de relación de dos variables cuantitativas (Vargas Sabadías, 1995). Si la ecuación que mejor relaciona dichas variables es la de una recta, decimos que existe una correlación lineal. La correlación de Pearson se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Un valor obtenido es de 0.817 que expresa una relación lineal por ser un valor más cercano a 1 que revelará un mayor ajuste entre los datos observados y simulados.

11.6. ERROR EN VOLUMEN (EV)

En la modelación hidrológica, es un indicador de la diferencia en el balance hídrico. Su valor se representa en porcentaje y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ev = \frac{V^{obs} - V^{sim}}{V^{sim}} \times 100$$

El valor obtenido en el coeficiente de Error en Volumen es de 0.012 es decir de 1.2 % que de acuerdo a la tabla del cuadro 1 se ubica con un rendimiento de Muy Bueno porque es < 10%.

Finalmente, las pruebas de significancia estadísticas F y T, con intervalos de confianza del 95 por ciento, ($F_c(1.10) < F_t(1.30) < T_t(1.96)$ y $F_c(1.22) < F_t(1.34)$, $T_c(0.19) < T_t(1.96)$ en los periodos mensuales de calibración y validación, respectivamente), demostraron que no existe evidencia estadística para rechazar las hipótesis nulas (H_0) de igualdad de medias y varianzas entre los datos observados y simulados.

XII. CONCLUSIONES

- Aplicando la metodología propuesta y el modelo hidrológico WEAP considerando el impacto con datos históricos y del Cambio Climático para diferentes escenarios se logró establecer que para satisfacer las demandas planteadas de 30,000 has, de cultivos, agua potable para las ciudades de Juliaca, Lampa y Puno, agua para uso industrial y minero y agua ecológico, se debe operar la presa de Lagunillas y la presa del Rio Verde y con la optimización con reglas de operación estas se satisfacen con el trasvasamiento de las aguas del rio verde a la presa de lagunillas.
- Los resultados del efecto del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica que los caudales anuales y mensuales tienen una variación y/o diferencia mayor de los seis escenarios en términos del caudal en el promedio anual, estacional y mensual que el promedio del periodo histórico de los ríos Verde y Cerrillos, considerando al MPI4.5 y MPI8.5 el de mayor variación.
- Aplicando la metodología propuesta y el modelo hidrológico WEAP, con solo la información histórica se satisface en 60% y considerando el impacto del Cambio Climático se determinó que solo se satisface en un promedio del 75%, destacando el CANESM2-RPC 4.5 en un 85%. Por lo tanto, la disponibilidad hídrica para las 30,000 Has de agua potable; para las ciudades de Juliaca, Lampa y Puno; y para el uso industrial minero y el caudal ecológico del sistema integral de Lagunillas, se requiere el uso de presa de Lagunillas y el represamiento del rio Verde.
- El cambio climático tiene un efecto positivo de un incremento del 15 a 20 % de aportación sobre la disponibilidad hídrica para el Sistema Integral de Lagunillas, en todos los escenarios, destacando el de CANESM24.5 y CANESM28.5.

- La simulación del funcionamiento de los vasos de almacenamiento aplicando las reglas de operación propuestas, muestra que además de incrementarse la eficiencia del uso del agua en los vasos, se mantienen de manera más uniforme los niveles de volumen almacenado en las presas y se mantienen de manera más uniforme los niveles de volumen almacenado en las presas de Lagunillas y Rio Verde. Así mismo con la optimización se logra satisfacer las demandas planteadas al 100% de funcionamiento con el escenario de trasvasamiento y funcionando las dos presas de Lagunillas y rio verde. En cuanto a las curvas de duración de beneficios netos de cada uno de los puntos de demanda Cabanilla presenta los más altos beneficios netos y los de Cantería los beneficios netos más bajos
- La calibración y validación del modelo hidrológico exigió realizar comparaciones entre los caudales simulados y/o generados por la WEAP y la serie de caudales mensuales observados, correspondientes a un registro de 25 años entre 1969 y 1993, puede apreciarse que el ajuste entre datos simulados y observados es muy bueno, existiendo una representación adecuada de la estacionalidad de los datos de precipitaciones de la Cuenca del río Cabanillas.

XIII. RECOMENDACIONES

♣ Con el fin de mejorar el estudio, se recomienda la evaluación de la demanda futura en la cuenca del río Cabanillas para generar un contraste más claro referente a la disponibilidad hídrica de la cuenca a través de un proceso de comparación con la oferta proyectada.

♣ El modelo hidrológico WEAP ha sido un modelo con un “Muy buen” ajuste para la cuenca del río Cabanillas reflejando la capacidad suficiente de simular la cuenca de estudio y sus características en toda su extensión, por lo que se recomienda su aplicación en otras cuencas de estudio.

♣ De acuerdo con los posibles incrementos de la oferta hídrica que se puedan dar a futuro y considerando las características geográficas y fisiográficas de la cuenca del río Cabanillas, se deberá plantear una estrategia de adaptación al cambio climático coordinado entre los gobiernos regionales y locales para lograr la sensibilización de la comunidad alcanzando niveles de aprovechamiento eficiente del recurso hídrico y medidas contra eventuales desastres naturales;

XIV. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. **Akhtar, N., J. Brauch, B. Ahrens (2017):** Climate Modeling over the Mediterranean Sea: Impact of Resolution and Ocean Coupling. *Clim. Dyn.* DOI 10.1007/s00382-017-3570-8.
2. **Andonianina Andrianarivony (2016),** "Modelisation hydrologique par WEAP21 pour un gestion integree des ressources en eau: Cas du bassin versant de la Lokoho (Nord-est de Madagascar)," Masters Thesis, Universite d'Antananarivo.
3. **Autoridad Nacional del Agua. (2017).** Reporte de Síntesis - Comentarios Consolidados sobre el Taller de Prueba Piloto sobre los Indicadores de Gobernanza del Agua de la OCDE. Escala Nacional: PERÚ. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
4. **Autoridad Nacional del Agua. (2017).** Síntesis del Informe Final del Proyecto Monitoreo Integrado de las Metas del ODS 6 Relacionadas con Agua y Saneamiento (GEMI). Lima: Autoridad Nacional del Agua.
5. **Barcikowska, M., F. Feser, W. Zhang, W. Mei (2017):** Changes in intense Tropical Cyclone Activity for the Western North Pacific during the last decades derived from a Regional Climate Model Simulation. *Clim. Dyn.*, pp 1-19, DOI: 10.1007/s00382-016-3420-0.
6. **Bonaventura L. (2014).** An introduction to semi-Lagrangian methods for geophysical scale flows. Consultado el 20 de Diciembre del 2014. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.1752&rep=rep1&type=pdf>

7. **Bonaventura L. (2014).** An introduction to semi-Lagrangian methods for geophysical scale flows. Consultado el 20 de Diciembre del 2014. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.1752&rep=rep1&type=pdf>
8. **Boer, G. J., and V. Arora, 2013:** Feedbacks in emissions-driven and concentration-driven global carbon budgets. *J. Climate*, 26, 3326–3341.
9. **Brisson E., C. Brendel, S. Herzog, B. Ahrens (2017):** Lagrangian evaluation of convective shower characteristics in a convection permitting model. *Met.Z.* Accepted
10. **Equipo Técnico Regional de Agua y Saneamiento. (2016).** Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de Organización Panamericana de Salud: <http://www.paho.org/blogs/etras/wpcontent/uploads/2017/06/Informe-ODS-07-02-2016-vestras.pdf>.
11. **FANG H., YANG J., CHEN Y y ZAMMIT C. (2015).** Comparing bias correction methods in downscaling Meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. Consultado el 5 de Julio del 2015. Disponible en <http://www.hydrology-earth-syst-sci.net/19/2547/2015/hess-19-2547-2015.html>
12. **Héctor Angarita, Albertus J. Wickel, Jack Sieber, John Chavarro, Javier A. Maldonado-Ocampo, Guido A. Herrera-R, Juliana Delgado and David Purkey(2017),** "Large-scale impacts of hydropower development on the Mompós Depression wetlands, Colombia," *Hydrology and Earth System Sciences*, doi:10.5194/hess-2017-544.
13. **HINGRAY B., PICOUET, C., MUSY, A. (2014).** *Hydrology: A science for engineers.* CRC Press. FR. 88-90.
14. **Ibrahim Alameddine, Abbas Fayyad, Majdi Abou Najm and Mutasem El-Fadel, (2018)** "Sustainability Of Basin Level Development Under A Changing Climate" *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 13, No. 3, pp. 394-405.

15. **Jonathan M. Winter, Charles A. Young, Vishal K. Mehta, Alex C. Ruane, Marzieh Azarderakhsh, Aaron Davitt, Kyle McDonald, Van R. Haden, and**
16. **Cynthia Rosenzweig (2017)**, "Integrating water supply constraints into irrigated agricultural simulations of California," *Environmental Modelling & Software*, Vol. 96, pp. 335-346.
17. **L. F. Duque and R. F. Vazquez (2017)**, "WEAP21 based modelling under climate change considerations for a semi-arid region in southern-central Chile," *Maskana*, Vol. 8, No. 2,
18. **María Fernanda Jaramillo, Alberto Galvis, Marisa Escobar, Laura Forni, David Purkey, Jack Sieber, Gabriel Lozano, Cesar Rodriguez, Juan Castaño and Carlos Sabas (2016)**, "Integración de los modelos WEAP y QUAL2K para la simulación de la calidad agua de fuentes superficiales. Caso de estudio: Cuenco del Río la Vieja, Colombia," *Aqua-LAC*, Vol. 8, No. 2, pp. 14-24, September 2016.
19. Memoria del Gobierno (2016 – 2017). Presidencia del Consejo de Ministros. • Autoridad Nacional del Agua. (2016). Planificación Hídrica en el Perú. http://www.ana.gob.pe/sites/default/publication/files/planificacion_hidrica_en_el_peru.pdf
20. Muhammad Abrar Faiz, Dong Liu, Qiang Fu, Muhammad Uzair, Muhammad Imran Khan, Faisal Baig, Tianxiao Li and Song Cui, (2017) "Stream flow variability and drought severity in the Songhua River Basin, Northeast China," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pp. 1-18.
21. Narges Zohrabi, Behzad Navidi Nassaj and Ali Shahbazi (2017), "Effects of surface irrigation efficiency improvement on water resources system indices," 23rd International Congress on Irrigation and Drainage, 8-14 October 2017, Mexico City, Mexico.
22. Sooyeon Yi (2016), "Current and Prospective Water Management in the Apurimac River Basin, Peru. ," A Modeling Approach, Master of Science, Hydrologic Sciences, University of California, Davis.

23. Taru Olsson, Matti Kämäräinen, Darwin Santos, Teija Seitola, Heikki Tuomenvirta, Riina Haavisto and Waldo Lavado-Casimiro (2017), "Downscaling climate projections for the Peruvian coastal Chancay- Huaral Basin to support river discharge modeling with WEAP," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 13, pp. 26-42.
24. Xingjun Hong, Shenglian Gua, Le Wang, Guang Yang, Dedi Liu, Haijin Guo and Jun Wang (2016), "Evaluating Water Supply Risk in the Middle and Lower Reaches of Hanjiang River Basin Based on an Integrated Optimal Water Resources Allocation Model," *Water*, Vol. 8, No. 9, p. 364, August 2016.

Enero del 2018

ANEXOS

ANEXO I

Información de los escenarios para Puno regionalizados de 3 modelos globales (CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y 2 escenarios de emisión (un escenario intermedio: RCP 4.5; y un escenario pesimista: RCP 8.5)

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
dic-05	36.97	12.64	388.36	493.68	36.48	382.67	345.91	372.15
ene-06	13.54	38.3	537.26	462.43	80.41	497.64	351.42	319.96
feb-06	142.75	72.91	468.71	427.88	102.65	393.96	296.88	274.98
mar-06	60.45	48.73	503.06	373.76	95.73	416.5	201.79	339.98
abr-06	7.2	13.22	302.28	294.81	9.77	197.74	180.2	223.83
may-06	9.62	8.24	155.1	45.57	13.01	46.66	57.64	102.76
jun-06	7.23	0.67	5.77	31.26	0.1	0.55	53.07	26.42
jul-06	16.31	16.7	93.24	39.94	14.21	59.25	82.32	48.26
ago-06	0.66	0.46	123.09	69.74	0.28	7.42	138.63	44.17
sep-06	2.9	2.76	145.78	122.49	1.91	18.15	195.52	78.59
oct-06	2.15	2.74	294.49	239.23	12.97	184.49	223.31	159.42
nov-06	14.06	2.91	384.24	367.04	2.43	274.63	278.31	268.73
dic-06	21.58	17.33	481.37	447.53	5.85	394.04	304.19	331.53
ene-07	26.67	6.19	452.92	431.96	25.89	373.38	274.62	313.32
feb-07	69.61	15.48	476.31	375.96	44.27	454.04	246.31	322.76
mar-07	40.28	31.68	467.79	248.76	50.1	313.07	176.92	271.75
abr-07	14.68	96.72	320.37	250.38	81.73	198.72	162.95	227.22
may-07	27.44	32.41	208.57	69.7	20.54	103.42	59.34	114.54
jun-07	12.09	6.88	70.58	19.87	6.67	24.21	37.88	43.48
jul-07	3.83	4.29	106.53	17.77	2.8	14.89	40.69	37.42
ago-07	16.61	7.32	131.07	60.13	2.86	37.85	74.84	52.59
sep-07	2.84	3.58	383.7	174.51	1.92	255.1	168.98	97.1
oct-07	5.98	14.41	254.38	334.92	3.07	165.49	350.84	181.59
nov-07	19.73	46.68	465.11	441.91	84.77	443.56	319.39	214.63
dic-07	10	2.02	317.51	344.25	37.14	215.4	279.91	240.37
ene-08	7.99	15.16	536.73	526.55	93.52	556.88	417.32	385.61
feb-08	11.34	21.12	524.2	457.7	92.77	481.37	303.52	374.68
mar-08	47.36	112.75	547.62	342.76	127.38	476.88	190.37	327.26
abr-08	5.29	13.52	297.73	192.85	4.05	169.77	98.85	180.09
may-08	1.44	1.32	112.13	72.82	0.79	59.31	47.6	88.56
jun-08	1.64	0.29	34.02	22.99	0.03	2.5	42.85	39.96
jul-08	6.87	0.67	70.28	15.66		26.55	36.08	47.11

ago-08	0.29	2.92	212.41	50.6	0.15	19.35	74.66	62.65
sep-08	2.78	0.53	143.65	156.99	0.12	8.88	216.93	85.95
oct-08	3.35	3.05	335.07	382.09	2.97	252.72	282.81	222.77
nov-08	5.53	4.18	318.27	347.24	7.09	197.79	303.87	198.23
dic-08	12.8	6.2	395.17	368.45	4.75	286.65	289.87	194.58
ene-09	21.66	119.88	575.5	482.89	168.77	545	309.96	325.86
feb-09	19.73	25.8	472.79	438.39	117.88	444.57	371.26	366.29
mar-09	10.01	51.51	440.18	327.05	87.16	252.48	216.61	216.37
abr-09	7.74	2.81	267.5	125.88	1.84	82.87	67.81	145.85
may-09	1.69	0.34	128.3	29.5	0.06	35.2	40.23	71.21
jun-09	2.6	0.22	15.11	30.64	0.05	1.14	61.95	32.94
jul-09	20.72	0.43	24.3	26.01	1.74	1.92	73.85	47.64
ago-09	1.29	1.09	172.01	63.73	0.53	57.51	69.72	52.44
sep-09	4.08	1.6	178.91	110.4	0.65	82.41	106.93	95.57
oct-09	5.67	8.28	448.81	280.98	6.26	361.34	189	198.04
nov-09	17.55	21.83	452.29	386.19	68.3	397.28	271.41	239.23
dic-09	5.99	9.6	529.73	393.01	57.1	504.56	259.83	250.81
ene-10	41.79	73.56	556.62	415.6	162.28	521.17	261.13	329.56
feb-10	27.14	37.51	458	403.62	90.54	470.91	280.37	265.84
mar-10	170.95	117.01	520.44	414.64	84.2	487.94	247.29	311.04
abr-10	7.21	9.47	381.69	237.79	21.22	298.62	127.3	202.22
may-10	1.19	1.27	156.76	116.25	9.62	69.79	82.01	171.24
jun-10	8.66	1.55	59.98	18.59	1.18	36.84	32.73	46.39
jul-10	1.35	17.78	89.62	24.3	23.73	26	43.69	52.89
ago-10	1.12	1.28	156.42	41.45	0.65	44.64	53.47	48.2
sep-10	5.71	0.39	182.96	182.17	13.25	86.06	137.85	108.78
oct-10	4.42	7.65	234.18	297.95	5.1	143.64	290.96	144.24
nov-10	7.54	8.21	378	296.84	3.08	278.67	258.85	208.81
dic-10	13.95	18.05	514.4	447.16	23.56	418.56	327.68	355.5
ene-11	9.93	23.37	590.03	441.62	31.44	512.89	285.31	313.37
feb-11	22.09	74.93	572.19	452.56	211.8	560.75	334.69	297.34
mar-11	55.79	35.04	464.85	425.11	138.66	497.77	320.19	289.19
abr-11	4.73	22.53	369.07	212.24	34.63	276.5	129.24	193.88
may-11	0.33	0.14	117.7	62	0.06	28.94	64.22	89.23
jun-11	3.35	0.54	35.72	29.36	0.56	4.13	57.54	39.77
jul-11	2.41	0.87	69.64	11.21	0.41	11.8	29.22	38.52
ago-11	0.52	1.02	169.99	46.21	0.45	29.36	50.74	84.03
sep-11	1.63	0.84	298.82	177.73	1.17	97.51	127.1	119.41
oct-11	1.89	1.35	232.73	351.59	0.14	180.17	319.88	203.29
nov-11	3.82	6.55	262.25	393.85	8.87	193.42	402.92	207.22
dic-11	2.68	17.42	545.04	476.37	14.79	536.96	294.63	381.81
ene-12	4.65	34.14	483.84	301.78	54.33	351.49	181.92	254.52
feb-12	14.61	19.74	450.97	467.59	34.6	424.91	320.73	335.82
mar-12	44.44	110.03	542.69	429.46	121.25	506.87	284	349.03

abr-12	39.26	46.87	329.21	231.66	68.08	197.37	110.03	222.97
may-12	4.4	0.92	191.43	128.83	1.66	74.81	104.18	181.82
jun-12	7.39	0.53	54.1	57.92	0.25	1.42	117.55	39.11
jul-12	5.14	0.3	44.95	31.96	0.04	7.2	56.8	44.52
ago-12	5.68	0.34	196.82	22.08	0.08	24.79	45.91	41.45
sep-12	1.95	2.43	229.62	264.54	3.26	129.53	204.6	179
oct-12	7.11	12.55	517.88	382.82	3.81	411.85	186.8	218.4
nov-12	6.77	3.48	475.24	297.96	10.74	357.55	154.62	270
dic-12	17.47	11.29	573.71	348.12	88.15	425.57	187.69	276.85
ene-13	31.37	17.48	559.87	412.01	72.7	494.65	319.74	281.49
feb-13	6.72	26.58	459.95	350.29	89.48	443.36	235.34	305.35
mar-13	32.51	15.41	519.34	316.93	81.7	424.21	190.71	325.37
abr-13	87.94	108.73	441.43	157.28	120.85	266.42	48.45	194.78
may-13	7.69	20.4	161.66	53.81	15.86	41.64	43.77	138.31
jun-13	5.18	2.32	57.34	44.75	2.94	19.95	46.29	64.26
jul-13	16.69	0.92	38.04	53.31	0.36	1.36	69.5	42.98
ago-13	4.99	0.5	223.79	33.54	3.38	29.55	47.75	42.76
sep-13	2.02	1.13	303.09	137.92	0.18	139.47	131.2	110.73
oct-13	10.56	34.31	315.37	410.57	9.82	285.91	302.14	245.71
nov-13	14.83	17.62	596.96	319.21	18.02	425.73	180.7	221.71
dic-13	14.83	11.7	434.15	461.44	30.77	339.15	363.56	332.48
ene-14	7.8	10.08	478.53	473.65	73.68	426.04	300.08	362.72
feb-14	13.51	17.59	557.33	369.76	135.37	534.93	231.23	302.63
mar-14	43.33	4.6	474.11	310.03	15.32	360.6	143.57	312.95
abr-14	67.78	74.21	352.23	246.76	57.98	227.66	117.78	236.63
may-14	5.1	7.02	133.65	50.55	1.45	13.88	33.86	117.39
jun-14	2.46	0.84	45.94	19.3	0.45	17.29	34.81	36.04
jul-14	2.67	1.85	80.18	29.94	1.03	41.49	53.16	48.84
ago-14	0.88	9.25	213.08	28.65	0.63	105.15	52.95	43.66
sep-14	3.96	15.04	203.91	153.12	9.48	76.29	162.44	113.09
oct-14	8.96	11.18	480.82	209.05	18.04	298.97	100.67	167.76
nov-14	12.37	8.62	288.45	376.23	7.73	238.22	330.11	248.36
dic-14	3.37	9.42	409.28	480.47	36.51	311.49	354.6	326.24
ene-15	6.06	7.12	323.56	429.29	21.48	293.89	383.98	253.34
feb-15	12.59	7.1	444.79	349	49.08	361.48	215.53	297.6
mar-15	42.56	61.75	527.79	290.79	97.85	315.52	157.34	286.44
abr-15	6.66	8.56	352.28	205.55	11.97	195.34	76.78	243.88
may-15	6.69	0.3	65.71	44.37	0.24	6.35	56.58	60.2
jun-15	9.75	2.71	84.41	25.78	2.1	20.54	41.72	52.25
jul-15	12.52	1.17	73.35	34.35	0.48	26.64	66.5	68.95
ago-15	1.94	3.52	190.86	40.69	11.28	20.24	35.85	45.61
sep-15	2.14	2.41	302.88	185.9	1.58	199.79	166.36	131.74
oct-15	10.47	0.74	284.97	198.86	0.64	180.49	199.54	162.91
nov-15	8.65	12.72	415.97	378.97	16.62	291.15	222.29	322.85

dic-15	17.98	4.91	407.32	408.87	3.2	354.17	269.74	299.64
ene-16	22.16	9.75	543.09	411.99	22.36	468.73	267.77	279.31
feb-16	7.84	45.75	549	498.08	109.95	490.86	357.41	386.19
mar-16	9.34	20.32	464.2	393.81	166.43	390.46	296.71	282.78
abr-16	31.96	51.42	350.33	202.92	51.7	156.97	65.94	220.07
may-16	12.23	6.46	177.94	69.11	1.9	125.56	54.52	135.34
jun-16	3.74	1.11	39.14	12.96	0.57	10.36	34.91	36.9
jul-16	7.73	0.94	56.7	21.38	1.07	27.6	42.88	62.33
ago-16	4.16	2.88	222.03	21.77	1.43	83.11	50.66	46.58
sep-16	1.61	5.15	306.54	119.02	11.91	88.02	134.24	88.45
oct-16	9.95	1.55	272.05	234.71	0.76	81.68	256.17	153.93
nov-16	5.24	3.13	400.18	332.26	0.36	289.53	192.02	258.44
dic-16	22.43	13.37	453.47	397.39	4.48	342.27	265.46	308.69
ene-17	3.13	28.14	562.08	407.22	92.16	484.67	234.54	392.92
feb-17	41.13	3.56	423.97	306.48	76.65	347.71	179.98	240.05
mar-17	4.29	18.07	476.17	429.62	7.2	384.18	273.73	354.5
abr-17	2.66	19.29	306.73	220.65	6.86	185.53	143.34	247.26
may-17	6.52	33.24	111.57	46.3	22.05	50.66	41.66	75.73
jun-17	26.55	7.2	45.63	25.69	4.58	14.92	61.6	41.84
jul-17	6.58	0.39	61.79	24.82	0.45	22.93	32.75	40.84
ago-17	4.47	1.88	189.95	71.63	0.38	58.39	65.94	74.35
sep-17	2.1	4.25	282.55	236.26	3.09	162.1	174.16	170.04
oct-17	4.21	11.18	273.41	394.78	7.68	218.67	343.52	268.17
nov-17	7.44	42.7	420.08	405.95	59.93	345.04	322.12	297.55
dic-17	4.51	21.23	484.08	498.29	9.89	498.67	338.35	385.73
ene-18	34.21	24.2	471.64	535.26	100.68	444.81	410.56	386.85
feb-18	22.62	36.23	474.56	458.02	77.04	432.38	368.19	282.9
mar-18	19.5	82.55	401.83	403.09	174.77	396.51	266.34	345.44
abr-18	25.2	54.93	337.68	193.24	49.17	185.35	113.32	215.05
may-18	1.23	0.37	111.72	30.21	0.2	43.87	42.21	88.3
jun-18	6.6	0.26	90.3	20.14	0.13	2.85	35.32	34.75
jul-18	1.65	0.07	37.79	20.98	0.06	5.49	69.75	27.52
ago-18	3.07	2.62	209.47	52.54	2.72	49.52	85.88	44.98
sep-18	5.33	3	277.05	149.65	4.48	202.06	124.37	149.97
oct-18	1.94	2.69	203.29	331.07	2.05	176.14	257.81	207.32
nov-18	5.81	16.63	428.67	402.37	9.9	299.73	304.83	226.1
dic-18	4.06	13.28	465.31	367.01	14.91	445.98	244.7	269.04
ene-19	2.89	16.86	493.08	450.03	10.72	408.25	305.62	329.46
feb-19	47.05	69.63	505.1	472.1	132.96	515.51	364.1	380.06
mar-19	1.68	17.36	345.74	382.35	46.21	211.22	284.21	239.42
abr-19	9.06	26.47	358.96	243.3	46.34	220.79	95.65	243.91
may-19	23.31	4.96	112.23	59.07	2.46	4.9	50.72	68.24
jun-19	10.69	4.45	133.19	36.86	1.99	20.77	38.17	73.2
jul-19	2.56	0.6	77.21	35.71	1.09	1	67.22	38.44

ago-19	1.52	0.31	141.29	62.47	0.07	30.43	83.37	56.21
sep-19	18.71	5.2	311.96	130.66	8.63	181.63	95.48	120.41
oct-19	4.62	1.41	350.96	297.42	0.35	269.89	189.83	200.09
nov-19	9.78	11.99	439.97	437.98	3.13	409.45	281.13	230.16
dic-19	2.13	11.84	507.38	469.78	13.07	440.89	261.41	297.8
ene-20	10.67	8.27	484.17	486.66	66.84	483.49	359.15	415.68
feb-20	24.43	70.33	529.16	426.53	160.81	506.46	317.87	342.5
mar-20	2.86	10.39	486.91	371.89	74.51	435.42	239.17	290.97
abr-20	2.99	6.27	345.64	172.03	5.48	180.16	104.12	179.94
may-20	4.61	0.33	153.27	83.28	0.05	47.23	59.54	99.4
jun-20	27.53	1.55	58.9	25.59	0.9	0.85	43.4	70.55
jul-20	0.81	1.37	173.68	6.29	0.76	39.46	14.73	30.29
ago-20	1.06	0.25	142.09	67.19	0.04	16.46	104.19	52.93
sep-20	8.09	2.22	212.58	155.44	1.97	91.38	150.87	125.05
oct-20	4.42	7.39	243.94	278.58	1.4	157.95	250.77	163.31
nov-20	5.91	8.36	404.91	348.31	22.87	350.27	195.63	327.81
dic-20	8.93	19.43	426.17	360.51	16.21	376.05	262.96	204.63
ene-21	3.48	16.68	485.91	573.07	42.21	478.61	423.38	471.1
feb-21	8.53	9.13	508.15	390.36	116.91	494.48	313.98	329.65
mar-21	8.59	26.02	488.53	410.05	66.06	456.27	194.83	342.7
abr-21	47.52	60.79	378.46	140.06	37.06	182.77	57.83	158.79
may-21	4.53	3.17	160.09	98.16	4.18	84.39	115.41	109.52
jun-21	5.81	0.23	23.2	21.27	0.1	1.28	39.64	43.76
jul-21	8.56	0.6	31.91	43.28	0.35	8.34	91.45	43.92
ago-21	1.2	1.18	142.73	57.94	0.25	40.63	108.94	81.34
sep-21	7.35	2.16	295.14	115.28	0.63	149.03	114.22	94.76
oct-21	7.76	1.28	243.12	300.38	5.84	113.12	279.55	161.91
nov-21	10.6	8.95	344.77	413.24	7.73	314.37	284.8	320.09
dic-21	13.86	24.73	427.18	407.61	21.1	369.26	240.09	263.41
ene-22	13.95	34.11	518.26	532.67	75.38	471.1	412.54	368.93
feb-22	90.67	79.79	451.77	439.55	185.57	482.93	401.02	322.67
mar-22	94.94	70.88	481.77	313.8	51.04	355.72	165.5	283.9
abr-22	37.06	8.82	340.03	198.74	23.58	195.18	101.22	220.6
may-22	25.49	15.16	166.57	44.74	6.65	14.1	38.91	106.59
jun-22	1.98	0.11	40.61	31.73	0.16	1.92	71.5	40.16
jul-22	3.31	0.05	19.57	25.88	0.12	0.65	72	30.11
ago-22	7.5	2.28	230.19	11.26	1.69	84.5	32.19	31.94
sep-22	1.11	0.24	254.8	184.49	0.17	109.9	163.6	54.03
oct-22	13.26	25.41	291.91	277.96	38.99	148.53	292.53	131.51
nov-22	11.53	3.19	407.67	290.33	2.45	292.15	192.08	283.47
dic-22	4.71	8.52	513.99	455.34	50.05	489.51	312.22	325.96
ene-23	3.21	1.22	504.09	324.77	0.81	385.75	165.83	335.87
feb-23	39.71	40.45	429.33	426.02	161.89	434.7	298.13	347.79
mar-23	42.97	96.51	505.56	363.88	163.77	478.38	294.44	309.55

abr-23	6.9	55.33	369.41	207.3	68.98	263.18	83.11	216.69
may-23	4.85	2.37	160.19	37.67	0.94	52.88	58.81	60.54
jun-23	5.1	1.07	43.72	14.73	0.56	0.52	31.69	30.75
jul-23	0.47	0.01	7	35.88	0	0.37	68.83	45.55
ago-23	7.25	5.36	222.54	21.15	5.69	27.24	40.33	52.23
sep-23	20.5	9	231.6	138.96	12.41	151.24	122.45	140.72
oct-23	8.02	5.22	203.89	313.35	9.44	158.66	345.87	206.5
nov-23	11.76	3.18	438.89	309.81	0.56	310.62	168.52	312.66
dic-23	9.43	5.45	457.71	330.63	4.79	407.43	241.72	265.36
ene-24	19.06	7.2	510.77	465.19	51.69	441.43	277.68	364.45
feb-24	1.27	12.65	511.72	489.68	7.29	581.04	361.16	451.13
mar-24	7.05	27.9	417.69	482.67	24.09	436.33	308.66	296.85
abr-24	18.09	30.52	355.89	203.46	10.58	245.58	130	231.45
may-24	3.49	0.12	104.78	66.32	2.24	46.19	82.61	79.22
jun-24	3.07	0.2	64.44	23.35	0.12	18.27	46.29	39.4
jul-24	23.23	3.36	95.65	23	3.48	54.44	44.87	69.19
ago-24	7.53	0.5	184.5	94.03	0.25	55.05	105.43	71.24
sep-24	0.67	0.75	175.25	136.14	0.07	68.81	172.58	82.57
oct-24	4.21	11.42	279.43	357.36	12.01	230.07	322.33	226.38
nov-24	3.67	12.84	487.1	372.42	7.77	354.47	220.62	246.13
dic-24	4.9	7.35	537.86	365.97	38.15	440.76	225.86	268.77
ene-25	4.09	8.13	587.69	483.8	35.81	511.1	289.65	404.23
feb-25	34.34	55.68	454.29	428.35	56.87	450.06	307.24	309.41
mar-25	32.83	42.7	519.69	443.87	100.47	454.13	255.09	365.57
abr-25	11.02	44.68	400.51	162.43	98.45	204.52	76.01	185.06
may-25	3.91	0.13	113.82	52.03	0.34	9.28	73.42	73.16
jun-25	3.86	0.13	40.26	30.44	0.1	1.77	52.48	32.64
jul-25	4.45	0.63	63.51	23.2	0.54	14.36	50.52	45.72
ago-25	5.25	0.63	238.07	42.67	0.24	65.33	53.99	62.85
sep-25	0.85	1.33	365.31	190.09	0.25	185.12	171.42	122.04
oct-25	3.79	0.25	223.28	311.15	0.06	58.22	325.45	164.23
nov-25	7.18	6.29	481.17	323.06	4.59	429.01	179.38	303.78
dic-25	8.74	20.34	512.35	408.19	13.4	427.5	284.56	266.9
ene-26	4.8	11.4	563.85	536.37	133.97	554.63	410.07	467.13
feb-26	4.69	14.79	450.92	375.9	43.64	336.53	248.61	288.72
mar-26	15.24	22.48	505.48	380.41	50.94	490.17	234.84	287.68
abr-26	34.37	20.88	296.86	195.45	42.6	127.2	129.33	158.62
may-26	25.09	5.07	177.81	121.47	15.66	88.51	68.27	123.41
jun-26	5.6	0.7	7.78	45.51	0.63	4.78	56.71	46.79
jul-26	7.38	3.92	101.76	55.29	4.39	51.31	75.03	44.83
ago-26	7.27	23.86	155.73	61.09	15.78	59.52	84.99	71.51
sep-26	3.85	3.52	165.26	127.44	3.75	50.95	223.5	115.46
oct-26	8.42	4.52	335.86	258.05	4.09	178.87	176.52	182.75
nov-26	14.65	20.91	486.66	417.15	8	413.55	246.94	257.94

dic-26	11.63	24.25	353.4	420.63	26.59	277.11	361.67	262.74
ene-27	3.65	22.34	515.87	466.14	39.1	381.68	409.88	312.16
feb-27	7.91	14.1	397.36	318.04	66.97	344.11	246.06	310.59
mar-27	36.69	8.53	419.57	349.27	24.05	313.55	227.81	297.25
abr-27	21.39	21.35	280.6	186.44	38.93	139.01	65.87	162.65
may-27	3.34	0.58	150.93	65.12	0.8	43.13	38.94	120.09
jun-27	22.63	31.43	103.67	46.75	7.33	62.96	70.37	87.46
jul-27	2.43	0.08	15.74	42	0.01	1.77	81.59	61.01
ago-27	2.16	1.67	156.07	60.08	1.31	61.18	124.71	72.86
sep-27	2.76	2.03	293.32	143.79	0.79	90.18	110.22	115.27
oct-27	12.57	0.71	415.45	214.49	0.47	196.04	202.5	146.35
nov-27	5.75	7.01	547.31	379.28	18.75	444.46	197.78	267.92
dic-27	43.18	16.01	485.94	441.73	79.67	441.83	341.22	343.7
ene-28	26.2	9.34	438.34	427.49	7.94	381.27	363.03	312.9
feb-28	9.2	4.8	422.1	399	32.29	395.08	331.29	351.81
mar-28	88.87	94.71	502.81	384.05	164.31	382.41	179.32	331.58
abr-28	4.72	3.8	324.57	203.44	0.8	165.03	78.08	199.09
may-28	28.39	3.57	191.09	42.24	14.02	66.83	37.42	109.01
jun-28	14.62	3.51	65.41	23.44	7.05	35.83	33.07	47
jul-28	2.93	0.3	60.44	31.18	0.09	12.41	48.46	52.32
ago-28	2.16	0.34	191.76	82.16	0.33	35.22	102.21	106.16
sep-28	1.68	1.42	334.85	152.74	0.17	147.52	113.01	138.81
oct-28	10.14	4.94	315.61	287.52	5.52	165.94	201.17	238.78
nov-28	9.93	3.42	210.45	349.13	14.82	116.25	345.87	203.69
dic-28	4.03	9.87	460.48	461.35	5.3	423.34	363.92	357.98
ene-29	7.65	2.7	475.6	349.03	3.54	462.47	234.66	272.19
feb-29	11.16	6.09	534.02	362.98	106.69	435.06	188.59	350.39
mar-29	15.04	4.58	414.49	341.62	13.35	355.87	192.42	289.56
abr-29	10.9	1.21	231.73	253.72	3.48	122.12	157.82	173.7
may-29	5.33	2.83	117.49	41.1	0.54	7.59	45.56	59.4
jun-29	4.61	1.51	56.91	21.13	0.42	6.48	53.81	55.67
jul-29	1.84	1.88	21.51	31.64	0.82	1.86	71.56	37.84
ago-29	4.35	0.21	111.24	43.03	0.13	16.67	72.55	57.13
sep-29	2.93	1.71	155.35	169.65	0.74	51.87	215.46	114.52
oct-29	6.56	9.01	454.18	258.66	1.96	285.78	148.78	142.24
nov-29	9.19	2.21	376.58	386.64	2.48	273.39	241.37	303.18
dic-29	14.49	8.9	581.5	404.24	17.14	538.82	240.03	359.85
ene-30	19.67	13.9	472.88	518.63	65.96	488.2	380	373.15
feb-30	21.05	12.68	452.03	357.23	44.11	397.45	235.78	271.89
mar-30	22.05	66.96	542.07	401.36	154.06	459.78	249.93	284.17
abr-30	7.71	7.66	353.47	164.1	10.8	270.5	106.16	206.57
may-30	1.65	0.04	90.21	51.78	0.02	4.19	49.18	59.87
jun-30	10.17	1.14	4.51	17.32	0.69	3.03	29.25	37.04
jul-30	9.4	2.3	88.31	28.18	2.39	46.12	44.6	67.39

ago-30	4.37	4.48	194.44	85.53	2.13	30.71	123.59	70.28
sep-30	6.39	0.48	174.34	119.59	0.42	101.4	169.43	106.67
oct-30	2.74	17.37	415.6	296.78	2.12	271.12	231.24	287.84
nov-30	6.43	4.18	439.71	332.79	4.89	300.45	176.52	235.12
dic-30	3.51	5.52	453.05	387.23	2.82	437.26	256.44	348.42
ene-31	24.56	6.28	514.79	409.51	16.05	440.25	262.79	398.18
feb-31	1.84	9.71	535.63	421.93	64.77	515.15	211.32	359.24
mar-31	1.43	6.14	437.9	480.69	4.59	433.56	251.27	408.64
abr-31	6.75	0.83	311.57	163.32	0.69	133.17	59.79	201.3
may-31	10.21	0.57	131.21	43.55	0.3	31.13	52.82	64.36
jun-31	5.91	3.08	69.8	17.51	3.23	22.29	31.81	31.98
jul-31	1.32	0.18	113.8	32.09	0.19	8.8	47.46	41.89
ago-31	5.01	0.13	60.45	83.16	0.15	17.56	100.4	46.97
sep-31	8.56	3.35	364.53	144.99	2.18	185.75	122.22	58.72
oct-31	9.57	1.85	332.43	284.12	0.85	181.7	255.19	149.88
nov-31	10.98	1.36	497.97	267.48	13.7	331.15	123.36	201.07
dic-31	8.68	6.65	554.51	431.86	9.34	466.99	313.19	321.56
ene-32	7.95	6.53	516.79	319.03	4.68	388.99	205.35	287.97
feb-32	8.79	13.55	566.5	430.44	31.04	573.04	255.66	362.15
mar-32	70.63	88.97	522.65	411.38	180.33	512.77	351.98	316.24
abr-32	1.94	1.24	298.45	159.35	0.98	116.36	91.96	186.4
may-32	7.15	10.65	256.49	80.78	21.26	102.35	75.82	168.31
jun-32	1.77	0.6	130.1	20.52	0.54	50.61	35.44	54.74
jul-32	4.99	0.12	54.09	27.29	0.07	7.7	50.97	53.34
ago-32	3.58	0.4	152.86	63.82	10.1	50.54	62.29	98.65
sep-32	1.95	1.96	290.02	146.7	4.76	125.99	90.76	116.12
oct-32	7.06	0.33	396.63	165.02	0.36	171.28	123.15	108.87
nov-32	9.53	3.43	424.45	335.19	3.56	306.22	223.66	263.36
dic-32	20.73	3.05	479.32	360.44	1.15	332.83	235.77	260.37
ene-33	25.7	15.83	547.9	519.31	30.15	574.54	383.98	405.43
feb-33	41.19	76.83	474.26	415.35	179.53	442.95	286.97	356.76
mar-33	34.32	65.76	495.68	403.73	89.84	418.07	166.66	396.79
abr-33	9.98	16.05	286.37	256.02	3.49	161.59	126.61	239.37
may-33	3.55	0.57	129.91	68.64	0.58	29.73	54.23	95.22
jun-33	4.96	1.33	21.27	27.8	0.28	1.73	51.64	39.61
jul-33	4.16	1.63	88.5	19.69	1.06	30.63	56.17	38.77
ago-33	11.67	0.59	104.21	70.75	0.34	7.58	117.04	57.32
sep-33	2.27	0.31	151.53	131.74	0.28	50.09	168.15	63.71
oct-33	10.09	4.77	475.99	289.21	7.08	322.35	155.33	185.63
nov-33	6.4	10.46	405.82	370.03	18.76	294.7	245.72	230.47
dic-33	34.44	7.11	530.7	450	52.41	484.79	280.87	412.72
ene-34	31.56	12.41	424.73	488.35	67.94	314.75	404.49	350.07
feb-34	22.44	12.52	492.42	471.06	92.15	504.76	343.07	378.24
mar-34	44.75	81.74	541.86	317.02	81	456.68	145.61	286.05

abr-34	40.44	43.16	318.12	148.99	56.68	103.38	48.32	188.84
may-34	1.95	0.11	80.89	109.84	0.14	5.88	85.16	127.51
jun-34	3.81	1.26	37.45	23.77	0.97	25.51	44.44	34.49
jul-34	11.45	0.86	73.94	15.55	0.64	4.06	45.72	39.08
ago-34	6.33	5.26	188.67	61.33	2.65	37.33	104.84	74.75
sep-34	4.96	11.96	238.19	171.12	7.2	92.62	206.11	126.1
oct-34	9.17	3.21	286.81	230.21	6.87	112.01	207.4	168.84
nov-34	9.68	4.73	418.96	330.51	11.14	311.22	274.55	223.89
dic-34	25.53	1.3	491.79	430.4	14.32	438.76	270.45	339.18
ene-35	39.29	59.92	609.44	488.76	133.26	594.89	328.81	389.99
feb-35	168.86	159.26	553.16	435.84	247.14	559.24	308.07	333.39
mar-35	62.84	155.92	522.69	360.15	140.42	401.97	262.45	272.69
abr-35	20.06	19.27	327.41	197.99	23.19	211.46	100.79	242.88
may-35	5.65	0.37	74.43	41.69	0.12	4.2	51.17	55.71
jun-35	5.52	0.82	70	35.82	0.05	3.19	55.04	47.66
jul-35	7.4	0.44	43.5	34.12	0.06	4.63	87.24	36.27
ago-35	3.29	0.58	158.43	32.23	0.11	25.19	44.15	55.41
sep-35	5.43	1.19	232.77	225.38	0.98	85.69	212.3	79.41
oct-35	7.46	4.53	396.92	278.51	1.15	265.2	212.94	188.86
nov-35	8.83	12.65	471.07	286.55	44.64	257.9	193.28	221.02
dic-35	59.02	23.77	397.39	463.7	21.63	369.12	385.81	342.43
ene-36	4.28	7.18	563.56	492.63	10.52	532.97	322.16	319.6
feb-36	24.76	15.94	478.14	507.31	115.85	482.86	373.16	380.49
mar-36	3.57	7.3	500.43	404.28	32.2	418.36	255.62	360.4
abr-36	13.22	20.81	275.03	258.48	60.7	153.23	152.99	234.79
may-36	4.12	1.39	195.56	55.38	0.59	47.67	43.62	86.62
jun-36	10.34	1.7	93.19	24.29	2.63	26.31	41.76	51.63
jul-36	3.67	5.66	74.12	22.99	3.67	11.77	56.1	56.34
ago-36	15.14	0.33	133.87	42.33	3.39	59.26	79.4	76.73
sep-36	0.72	0.32	192.62	228	0.16	88.09	161.28	181.21
oct-36	5.26	3.71	461.32	152.94	32.58	225.51	132.18	156.37
nov-36	9.08	9.21	479.63	311.8	10.24	408.58	177.61	223.4
dic-36	30.37	13.76	399.13	498.06	6.7	369	366.68	332.74
ene-37	7.67	15.22	554.14	411.21	94.83	494.36	299.3	323.64
feb-37	62.3	49.44	514.31	377.75	133.53	470.32	224.87	390.74
mar-37	51.49	57.09	507.05	321.93	95.96	375.14	236.85	355.04
abr-37	2.14	26.26	338.27	191.17	14.86	191.91	110.87	197.19
may-37	4.61	0.86	83.03	63.69	0.19	2.63	102.89	63.64
jun-37	5.72	1.94	91.94	33.36	0.83	7.44	46.28	39.18
jul-37	1.9	0.13	4.37	28.19	0.12	1.71	82.02	32.21
ago-37	3.68	0.9	110.83	61.68	0.44	15.49	137.7	52.48
sep-37	2.8	0.79	397.69	131.73	15.39	232.91	68.57	131.24
oct-37	3.81	2.74	335.69	279.34	2.68	250.5	240.31	222.19
nov-37	21.86	50.96	488.92	381.59	54.94	418.53	304.23	245.74

dic-37	6.49	5.75	518.3	462.62	16.35	484.42	213.28	325.36
ene-38	16.96	14.62	556.02	450.47	73.88	469.37	320.07	313.91
feb-38	7.98	15.15	500.86	457.82	52.59	475.7	329.93	416.35
mar-38	23.89	55.08	484.82	419.26	101.06	407.27	288.91	376.98
abr-38	29.09	32.71	375.08	152.98	57	214.93	80.62	191.6
may-38	5.9	1.71	169.77	67.56	0.4	70.76	56.45	73.54
jun-38	2.51	0.37	19.9	61.86	0.07	9.06	93.87	53.67
jul-38	5.37	0.73	67.31	27.17	0.6	4.22	37.16	45.02
ago-38	22.05	2.23	205.97	29.54	2.09	51.76	30.65	37.59
sep-38	3.11	2.47	364.57	138.53	1.47	173.58	87.61	143.49
oct-38	3	2.64	292.92	270.42	0.78	149.87	230.07	187.89
nov-38	9.07	22.72	415.48	337.04	16.18	304.01	276.12	219.99
dic-38	12.24	8.54	432.32	450.21	5.81	346.06	350.64	301.54
ene-39	32.96	8.55	531.74	421.49	87.61	487.24	254.38	323.03
feb-39	35.19	22.91	421.45	385.54	12.34	356.91	312.59	279.09
mar-39	226.06	171.66	499.09	359.32	181.65	406.31	250.11	317.62
abr-39	27.66	48.15	332.93	145.85	33.51	200.14	56.26	151.78
may-39	6.23	2.11	130.35	110.89	0.74	27.37	116.57	129.19
jun-39	7.81	1.3	53.2	24.67	1.19	12.63	51.17	60.46
jul-39	3.71	0.2	14.59	55.93	0.18	0.53	83.96	29.97
ago-39	17.41	0.59	70.7	73.3	0.54	10.96	84.74	48.78
sep-39	6.51	2.11	206.92	150.59	1.63	77.12	231.31	90.97
oct-39	6.59	1.2	490.95	214.28	0.31	330.6	92.67	200.52
nov-39	17.23	31.14	559.01	355.49	38.26	410.64	142.64	200.59
dic-39	20.24	5.5	405.28	386.79	60.53	222.27	344.22	244.1
ene-40	43.97	67.4	650.31	506.51	181.16	570.5	336.08	326
feb-40	25.19	113.06	534.97	452.13	226.3	556.79	316.75	334.4
mar-40	199.29	201.94	598.52	327.32	213.32	539.45	157.69	259.08
abr-40	27.69	26.44	405.9	216.63	80.68	226.41	70.82	176.43
may-40	4.23	2.89	151.54	54.15	2.09	81.99	48.92	100.48
jun-40	8.26	6.92	33.21	36.53	2.43	15.02	45.57	66.7
jul-40	1.51	0.05	21.8	18.99	0.01	0.3	42.61	31.98
ago-40	3.42	1.56	177.42	17.67	4.47	59.86	20.99	30.3
sep-40	3.41	1.67	309	145.17	1.51	196.31	92.84	170.53
oct-40	3.82	0.84	152.16	264.55	10.93	52.2	323.18	159.53
nov-40	26.39	10.68	357.74	287.19	16.34	220.34	289.97	219.72
dic-40	24.1	34.01	586.46	407.9	85.2	522.19	251.27	293.34
ene-41	22.56	9.57	445.71	430.27	21.57	353.09	354.7	337.75
feb-41	8.1	11.72	478.51	441.25	66.92	419.46	266.83	311.48
mar-41	181.93	155.11	516.83	296.75	165.81	402.07	191.59	302.15
abr-41	2.41	7.86	366.13	292.96	3.24	224.2	142.96	260.29
may-41	11.17	19.91	193.16	113.99	16.64	111.67	72.94	142.78
jun-41	5.23	0.03	8.17	18.1	0.14	0.85	32.1	35.38
jul-41	10.38	1.94	12.1	34.59	2.16	6.45	83.55	30.53

ago-41	0.73	0.06	192.33	94.82	0.06	44.15	85.04	136.95
sep-41	1.38	1.4	299.65	111.05	3.41	162.79	113.04	82.36
oct-41	5.08	0.6	294.41	211.44	1.19	144.28	203.24	135.59
nov-41	6.92	29.42	479.38	377.45	51.81	400.62	216.46	285.16
dic-41	10.08	26.49	497.49	518.02	56.72	485.05	387.34	410.81
ene-42	8.25	59.61	542.15	557.79	66.32	518.41	368.57	414.9
feb-42	19.98	5.76	529.19	362.47	52.46	501.67	252.23	305.26
mar-42	39.73	40.07	527.09	370.23	123.77	420.65	233.96	295.48
abr-42	38.57	27.71	334.56	173.62	48.6	214.89	81.25	226.01
may-42	4.61	1.62	144.18	74.46	0.41	26.29	33.69	100.09
jun-42	7.38	1.55	14.58	12.84	1.03	0.05	32.94	32.05
jul-42	4.59	1.29	34.81	30.03	0.55	1.06	73.51	32.21
ago-42	8.83	11.97	103.38	71.31	6.2	22.29	126.11	65.74
sep-42	5.68	4.95	233.91	158.12	2.86	134.43	118.29	90.05
oct-42	8.65	0.87	428.1	216	0.56	152.17	159.77	124.49
nov-42	7.87	9.94	417.57	372.93	7.88	267.47	304.24	265.8
dic-42	20.25	8.67	441.84	376.37	4.08	312.9	321	281.4
ene-43	8.78	3	526.31	486.96	46.83	487.86	242.91	350.32
feb-43	16.58	8.45	418.12	404.67	15.46	320.59	219.69	314.03
mar-43	10.13	21.25	413.73	329.73	38.71	335.36	171.97	340.1
abr-43	10.95	9.16	338.54	271.92	7.77	191.13	197.37	292.26
may-43	22.47	30.76	155.01	107.96	28.29	88.68	125.53	146.84
jun-43	13.03	11.09	79.19	28.1	7.56	36.43	30.01	66.36
jul-43	1.49	2.61	50.69	51.76	0.49	5.16	78.2	34.89
ago-43	1.78	1.09	177.3	64.56	0.28	67.65	128.91	78.78
sep-43	1.02	0.36	128.29	167.4	0.22	50.5	189.87	87.84
oct-43	10.21	3.78	382.24	242.67	1.97	241.5	205.52	144.57
nov-43	8.83	13.87	456.62	361.06	43.8	365.34	212.28	289.12
dic-43	29.08	17.14	348.02	413.04	58.31	291.98	396.11	258
ene-44	6.97	33.49	605.24	472.61	46.38	642.25	298.19	426.31
feb-44	36.61	44.65	562.28	503.43	208.73	559.09	386.61	372.13
mar-44	2.69	10.82	533.97	434.92	33.72	462.63	249.03	337.49
abr-44	5.94	9.37	396.11	232.37	9.55	222.65	116.9	268.52
may-44	6.71	1.44	170.91	102.41	0.72	61.85	74.66	123.28
jun-44	8.88	0.25	8.86	12.18	0.08	0.97	28.77	34.39
jul-44	3.64	0.57	27.17	30.91	0.39	3.89	64.15	42.69
ago-44	27.16	0.53	154.1	70.31	1.44	38.31	92.14	45.13
sep-44	10.27	9.6	319.72	187.96	11.84	169.39	229.22	113.47
oct-44	6.68	29.6	426.37	214.68	27.9	273.39	191.02	162.8
nov-44	10.09	2.26	428.89	246.13	1.08	201	169.01	198.13
dic-44	14.67	16.24	562.27	441.52	32.01	509.51	281.39	298.62
ene-45	4.33	8.02	480.56	554.39	18.77	451.88	316.82	385.58
feb-45	5.75	9.95	502.85	424.29	31.3	421.85	220.28	326.43
mar-45	7.13	24.61	544.26	386.87	111.79	440.89	287.68	408.53

abr-45	4.42	41.14	251.24	160.77	24.27	121.85	121.41	233.25
may-45	2.35	0.56	131.55	56.27	0.07	10.78	50.52	68.56
jun-45	2.01	0.12	9.5	38.12	0.01	0.6	58.3	48.03
jul-45	4.07	0.22	40.08	19.09	0.04	4.91	57.97	34.89
ago-45	13.52	6.39	85.71	127.58	1.55	11.54	223.62	75.82
sep-45	3.71	3.1	313.32	150.81	1.33	114.65	155.08	126.31
oct-45	3.1	3.09	348.36	304.83	2.03	186.09	231.18	253.8
nov-45	4.6	16.59	511.87	438.79	23.12	467.33	285.11	260.77
dic-45	4.5	7.02	500.33	429.05	2.45	449.63	221.58	380.93
ene-46	21.35	19.94	458.2	503.81	58.51	435.54	349.06	321.51
feb-46	20.69	83.99	524.84	431.45	98.44	464.04	263.37	350.46
mar-46	126.74	70.18	568.1	426.44	113.57	417.27	183.5	367.86
abr-46	0.57	2.34	370.03	204.63	15.46	135.59	110.33	222.87
may-46	1.6	0.8	227.09	83.11	0.41	17.12	76.3	159.79
jun-46	4.61	0.07	7.08	23.54	0	0.78	56	43.62
jul-46	4.41	0.85	81.01	10.43	0.45	41.07	25.29	45.63
ago-46	0.53	0.09	131.22	57.99	0.11	23.6	109.7	54.23
sep-46	2.09	0.52	272.52	173.4	0.16	98.42	149.51	104.77
oct-46	4.28	4.15	316.89	276.99	8.28	193.84	223.87	206.19
nov-46	9.81	4.27	362.36	266.31	29.65	193.83	207.83	214.33
dic-46	3.86	8.13	583.22	426.27	6.46	521.27	225.33	345.47
ene-47	47.95	40.4	541.6	389.25	116.56	423.05	247.62	345.22
feb-47	53.14	31.78	517.24	388.92	56.07	373.65	218.22	293.28
mar-47	42.13	71.15	579.08	324.02	131.43	437.69	285.08	318.11
abr-47	27.06	28.76	360.62	158.63	56.08	175.76	106.84	183.95
may-47	1.8	3.31	258.6	87.9	3.69	185.14	73.46	146.64
jun-47	5.11	1.59	82.84	36.92	1.43	30.22	48.85	51.1
jul-47	1.08	0.98	40.43	15.66	0.44	8.78	32.37	29.68
ago-47	1.52	0.26	209.72	30.89	1.72	22.71	68.38	41.1
sep-47	2.74	1.76	342.38	92.77	5.35	152.26	88.29	84.86
oct-47	9.31	12.33	411.57	362.91	18.7	295.11	280.29	212.05
nov-47	6.04	6.82	446.21	415.66	20.15	381.61	285.53	309.41
dic-47	9.67	43.33	464.74	557.94	54.57	485.46	402.81	367.25
ene-48	13.75	20.9	539.55	524.45	62.57	489.24	321.59	349.75
feb-48	34.99	117.41	630.83	417.53	166.9	625.38	220.49	389.32
mar-48	174.25	148.37	575.37	264.4	151.56	446.79	108.06	253.38
abr-48	31.72	34.8	384.66	200.07	56.9	212.89	78.71	245.72
may-48	19.04	14.61	218.11	115.36	14.67	49.52	106.82	104.73
jun-48	7.81	13.44	67.51	30.43	3.47	10.13	31.45	65.28
jul-48	1.8	0.86	72.24	36.85	1.04	12.65	57.98	60.27
ago-48	3.61	9.88	176.26	32.4	14.04	58.26	20.12	27.11
sep-48	7.57	6.19	238.87	162.99	25.48	142.02	140.27	169.01
oct-48	21.21	0.82	178.22	174.08	2.87	56.82	202.31	154.5
nov-48	19.86	37.45	527.05	411.58	54.73	507.13	287.54	285.22

dic-48	43.26	42.12	487.91	418	100.03	372.17	291.18	364.81
ene-49	38.71	88.83	661.2	474.73	353.95	629.79	286.14	435.25
feb-49	33.31	37.6	530.7	456.24	130.07	502.26	325.95	342.4
mar-49	56.75	129.81	524.91	535.95	166.13	531.5	396.95	501.14
abr-49	15.55	66.43	429.5	212.89	113.59	256.38	116.07	262.36
may-49	3.16	3.95	214.68	71.42	4.98	50.77	56.96	117.39
jun-49	6.4	0.68	6.26	16.79	0.55	5.64	45.96	24.83
jul-49	6.4	0.08	9.52	42.36	0.38	0.86	67.54	41.29
ago-49	1.64	0.81	199.04	41.23	1.19	57.43	71.93	67.32
sep-49	4.77	1.19	310.57	157.69	2.01	175.51	133.21	119.65
oct-49	6.6	9.38	432.87	294.78	4.1	240.03	235.67	172.31
nov-49	10.72	18.38	404.66	479.04	6.44	304.11	338.16	321.5
dic-49	40.27	17.97	490.14	451.79	50.85	411.37	344.1	298.4
ene-50	56.42	29.74	480.71	468.54	117.53	469.85	523.02	361.48
feb-50	75.21	52.36	450.04	483.1	167.72	488.44	429.64	346.12
mar-50	7.57	20.42	519.22	383.49	63.68	407.05	219.62	348.69
abr-50	43.27	19.24	312.23	203.84	69.76	199.5	107.58	188.78
may-50	4.88	0.52	97.9	138.19	0.55	2.92	109.23	120.23
jun-50	4.04	1.93	83.16	22.09	0.95	26.05	28.56	49.12
jul-50	6.7	0.32	38.25	25.76	0.36	1.38	71.84	38.98
ago-50	1.82	0.9	200.59	32.09	0.29	43.36	54.85	51.56
sep-50	4.51	3.19	300.85	116.72	4.54	173.71	135.79	171.62
oct-50	3.25	1.71	387.38	233.62	0.19	240.33	221.91	185.91
nov-50	6.65	13.92	487.29	441.11	3.45	389.1	264.84	356.36
dic-50	6.4	15.57	470.16	411.01	16.16	419.94	306.92	299.08
ene-51	5.82	11.69	398.82	491.61	24.25	295.22	418.43	343.44
feb-51	45.88	61.68	513.43	430.85	124.27	542.54	382.04	311.77
mar-51	39.06	45.28	479.13	287.61	92.58	328.5	220.36	302.78
abr-51	15.87	7.04	402.19	184.29	20.33	286.95	71.69	218.83
may-51	5.59	2.38	203.76	99.83	1.87	148.14	85.81	155.34
jun-51	1.29	0.49	66.64	32.85	0.25	7.72	62.52	37.82
jul-51	5.26	0.95	80.24	15.49	0.45	27.08	36.78	39.49
ago-51	8.76	11.51	229.85	36.45	16.65	58.35	45.22	84.45
sep-51	1.4	12.79	387.81	191.24	13.67	154.79	118.52	139.23
oct-51	6.89	0.97	357.3	301.94	0.19	185.9	195.95	228.07
nov-51	10.95	6.72	461.5	353.87	11.46	303.58	202.72	298.84
dic-51	6.44	9.58	452.49	435.72	36.12	443.25	348.52	291.33
ene-52	5.12	15.09	463.52	491.08	27.19	376.77	358.2	303.99
feb-52	57.71	105.58	561.12	384.15	206.24	550.03	178.94	358.16
mar-52	26.64	87.09	545.99	433.09	122.43	494.85	161.63	376.57
abr-52	18.68	69.52	400.75	256.6	104.97	275.97	151.83	253.28
may-52	2.7	2.12	216.3	123.58	1.12	62.3	107.93	158.84
jun-52	3.63	0.18	5.21	15.37	0.22	1.22	24.11	37.04
jul-52	2.98	0.25	43.3	14.98	0.14	3.63	33.88	29.15

ago-52	1.01	0.24	78.85	71.35	0.06	12.8	95.9	53.73
sep-52	4.15	0.4	246.13	154.01	0.17	53.95	217.97	183.99
oct-52	4.48	16	436.67	347.22	10.21	338.95	266.47	212.71
nov-52	7.79	15.32	428.95	441.58	8.45	414.42	280.88	288.24
dic-52	34.55	41.14	501.19	483.04	91.65	362.36	344.49	375.1
ene-53	53.63	91.17	562.08	498.98	157.44	541.22	360.52	394.36
feb-53	7.46	15.76	524.44	435.03	64.9	472.39	268.49	326.38
mar-53	13.53	15.52	506.84	360.84	78.34	474.84	240.73	321.35
abr-53	8.43	8.88	346.26	224.45	21.24	243.15	127.75	231.16
may-53	8.12	13.79	192.72	74.75	15.2	72.42	33.34	113.05
jun-53	3.57	0.03	38.56	18.94	0.07	2.9	54.11	49.06
jul-53	2.74	1.88	39.61	18.35	0.36	2.72	62.57	27.28
ago-53	0.2	0.5	141.39	54.01	0.12	18.07	65.36	52.09
sep-53	2.96	2.33	254.94	173.99	1.6	165.87	130.78	141.78
oct-53	3	7.74	369.78	302.77	3.17	285.73	226.37	235.4
nov-53	7.72	21.12	533.42	459.73	23.01	450.1	334.83	322.88
dic-53	5.85	7.38	514.85	378.9	63.06	419.6	267.46	349.11
ene-54	2.37	12.03	501.42	481.05	29.59	450.09	314.04	304.34
feb-54	9.46	9.01	499.82	397	61.15	446.41	275.43	298.24
mar-54	15.83	23.2	585.37	372.7	138.66	501.22	200.66	290.67
abr-54	1.99	18.36	354.75	249.86	28.64	288.15	132.24	225.28
may-54	3.27	0.25	118.31	36.55	0.07	29.48	30.19	80.88
jun-54	7.2	10.59	102.97	37.89	10.72	33.23	46.01	79.19
jul-54	3.58	1.19	49.66	36	0.15	37.93	87.24	40.48
ago-54	2.56	2.95	206.8	36.47	0.98	24	40.54	39.76
sep-54	1.64	3.56	346.76	202.05	0.92	201.73	148.2	113.97
oct-54	2.12	2.54	409.33	236.47	1.36	290	195.73	173.59
nov-54	7.63	5.14	445.44	376.69	1.59	330.69	281.07	217.1
dic-54	2.3	17.13	415.35	445.76	18.9	328.77	322.19	316.93
ene-55	5.61	27.46	533.19	382.71	42.58	485.5	327.44	332.42
feb-55	3.09	34.37	446.82	506.6	27.62	398.19	392.22	357.49
mar-55	38.08	10.79	354.81	294.76	15.02	176.97	192.35	225.48
abr-55	3.4	11.99	399.18	199.78	6.03	300.22	54.22	234.87
may-55	4.46	1.73	197	102.2	0.53	44.98	94.71	101.19
jun-55	8.72	1.45	58.71	24.84	1.51	19.12	50.28	42.45
jul-55	3.08	2.6	81.61	32.31	1.21	56.15	58.68	34.75
ago-55	0.79	0.21	87.99	59.88	0.33	24.35	83.16	54.66
sep-55	3.64	10.28	258.38	233.3	5.71	180.57	233.52	121.76
oct-55	3.53	1.86	156.53	230.8	0.79	78.83	431.25	121.43
nov-55	13.14	10.81	354.11	362.08	5.26	231.95	382.32	228.58
dic-55	34.63	16.25	552.26	344.84	64.95	409.13	176.4	295.8
ene-56	25.9	12.68	514.99	383.37	18.91	481.23	247.19	316.29
feb-56	2.06	4.5	634.15	416.06	65.99	499.46	168.91	361.36
mar-56	15.76	28.66	541.39	332.2	92.55	430.6	134.19	367.31

abr-56	69.05	60.71	403.09	169.97	73.26	250.5	113.45	218.98
may-56	3.64	0.34	138.62	39.75	0.16	17.19	53.67	85.97
jun-56	3.08	0.48	42.75	19.86	0.52	16.7	62.33	56.13
jul-56	2.59	0.37	31.16	25.4	0.3	9.4	49.46	40.24
ago-56	1.83	1.3	258.79	50.26	0.76	130.5	49.5	50.14
sep-56	5.83	8.12	381.85	131.2	5.89	286.45	104.16	50.57
oct-56	5.26	1.56	455.39	328.86	0.34	277.89	226.48	185
nov-56	5.68	2.75	525.7	422.41	1.84	389.28	177.51	323.83
dic-56	12.88	15.74	536.12	417.71	28	475.5	263.29	360.53
ene-57	7.32	20.93	545.23	467.56	15.5	451.78	286.52	347.9
feb-57	15.5	49.94	478.21	536.75	92.71	483.29	389.53	287.8
mar-57	11.04	31.05	523.59	381.53	73.38	499.03	210.58	361.71
abr-57	12.53	17.41	310.15	247.75	21.51	253.27	108.76	226.04
may-57	2.63	0.23	88.83	75.43	0.6	35.96	88.59	94.97
jun-57	1.12	0.28	11.27	76.96	0.23	2.8	112.06	53.85
jul-57	1.62	0.5	22.97	15.56	0.31	2.4	40.93	37.84
ago-57	0.48	0.64	117.17	63.11	0.19	19.83	113.46	76.27
sep-57	0.59	3.49	391.69	157.48	3.6	186.48	119.15	128.36
oct-57	19.32	36.68	354.41	364.12	21.43	307.23	293.79	270.79
nov-57	7.94	10.26	370.96	447.08	10.53	263.66	387.02	229.02
dic-57	4.09	29.31	574.75	439.17	5.49	457.79	232.91	327.07
ene-58	14.17	14.67	523.83	411.04	21.17	505.54	264.66	406.32
feb-58	53.02	32.03	362.64	525.54	71.59	351.96	456.82	371.88
mar-58	5.14	6.47	446.88	411.14	72.77	331.78	252.65	354.56
abr-58	14.79	4.19	290.55	189.28	11.11	139.14	150.66	194.65
may-58	4.93	2.06	176.55	77.73	0.48	106.58	63.56	116.31
jun-58	5.98	0.13	37.69	27.77	0.15	3.59	55.19	67.34
jul-58	4.84	1.92	20.35	21.69	0.73	1.94	70.46	33.47
ago-58	4.07	0.01	17.86	55.9	0.03	0.57	93.48	58.48
sep-58	2.51	0.19	208.36	129.59	0.04	64.14	150.53	74.64
oct-58	4.51	1.32	184.96	309.32	0.34	0.31	530.94	156.56
nov-58	10.68	1.86	344.51	364.7	1.85	234.26	305.53	276.41
dic-58	10.11	6.26	409.09	415.71	24.12	292.26	303.68	289.79
ene-59	23.4	25.09	577.38	503.82	48.94	604.82	349.05	410.29
feb-59	18.34	16.8	477.62	361.88	115.65	399.18	238.42	317.94
mar-59	72.58	29.38	569.28	350.44	93.32	494.04	186.47	284.35
abr-59	41.39	22.32	347.93	301.55	42.39	273.82	191.11	295.81
may-59	32.53	14.01	184.89	65.84	7.34	99.61	60.9	90.75
jun-59	21.18	13.23	164.83	71.63	8.6	90.18	57.93	104.56
jul-59	0.96	0.11	74.3	17	0.03	15.38	34.5	33.84
ago-59	3.56	0.71	287.83	36.51	5.12	76.71	60.16	62.99
sep-59	13.7	11.53	401.12	131.16	18.86	288.07	120.09	95.83
oct-59	1.33	4.49	474.31	254.29	0.26	312.31	198.51	261.69
nov-59	2.9	6.03	599	432.19	16.39	473.25	208.63	345.2

dic-59	3.15	12.73	582.81	437.74	9.63	476.35	240.64	371.83
ene-60	4.37	27.59	672.3	508.95	57.02	630.45	306.09	439.65
feb-60	16.86	54.61	564.31	549.32	104.65	477.7	461.09	352.59
mar-60	35.94	35.8	475.72	433.24	76.32	445.96	313.2	352.24
abr-60	22.02	101.56	433.33	159.09	106.49	295.78	76.85	189.75
may-60	3.87	13.46	189.17	48.45	13.47	40.41	68.95	125.26
jun-60	0.72	0.01	4.4	65.67	0.05	0.9	79.09	44.76
jul-60	0.41	0.37	47.88	28.22	0.08	21.92	69.24	41.53
ago-60	2.86	0.04	109.31	70.17	0.09	16.05	101.34	47.55
sep-60	8	25.39	292.42	124.09	23.68	86.75	97.99	74.92
oct-60	7.38	5.81	431.77	281.77	15.49	313.05	248.12	155.13
nov-60	10.65	12.25	495.64	380.74	45.03	343.99	282.28	232.94
dic-60	10.46	24.45	538.68	516.22	32.23	499.18	389.69	438.31
ene-61	10.1	16.76	602.84	510.08	66.89	630.75	298.75	367.82
feb-61	26.99	36.98	515.89	347.06	114.76	495.56	310.82	292.78
mar-61	40.73	35.1	504.54	354.19	100.8	400.01	236.77	350.57
abr-61	19.81	40.7	393.7	151.17	37.91	235.83	51.67	205.66
may-61	5.71	5.67	213.11	119.1	22.53	35.54	76.19	194.4
jun-61	7.51	2.26	87.99	25.34	2.05	16.48	37.43	55.94
jul-61	2.93	0.29	14.97	49.38	0.32	0.89	81.85	40.17
ago-61	5.44	0.97	231.49	24.08	0.31	54.82	36.65	65.02
sep-61	2.58	1.57	277.52	162.4	2.01	66.49	173.8	137.43
oct-61	7.23	19.31	473.21	375.86	18.2	327.35	301.66	298.56
nov-61	26.84	0.95	357.94	278.63	9.48	201.41	234.25	219.12
dic-61	9.65	24.64	622.6	530.1	106.66	623.63	392.09	373.54
ene-62	34.18	17.92	410.86	554.7	99.63	369.29	466.06	402.08
feb-62	6.92	31.91	584.58	381.12	104.36	546.29	305.64	268.95
mar-62	3.24	2.08	556.35	392.23	4.43	483.08	221.14	320.6
abr-62	4.62	2.22	317.47	187.03	6.91	137.96	119.78	193.34
may-62	5.3	2.45	152.2	57.8	1.38	58.8	57.47	80.01
jun-62	1.24	0	3.36	39.27	0.02	0.98	83.61	30.6
jul-62	1.1	0.03	16.62	25	0	0.75	48.41	31.38
ago-62	2.67	4.26	130.07	26.04	2.14	12.54	63.84	28.96
sep-62	1.82	2.09	286.56	144.28	0.34	93.09	191.56	52.86
oct-62	3.77	0.6	334.65	285.11	0.17	198.73	241.22	138.96
nov-62	8.57	6.75	465.35	436.77	1.58	351.12	271.4	350.23
dic-62	16.35	20.64	367.87	497.86	26.95	382.04	433.27	277.67
ene-63	26.99	34.79	542.78	544.85	66.37	543.22	450.97	398.51
feb-63	3.59	11.64	503.97	460.65	40.77	408.99	335.64	349.58
mar-63	24.42	20.17	531.72	391.01	71.76	435.13	228.34	349.28
abr-63	48.26	20.55	356.95	193.35	18.91	229.19	123.67	200.92
may-63	4.73	0.22	72.87	71.09	0.1	1.63	90.14	78.95
jun-63	12.86	3.27	103.01	27.11	1.66	16.97	48.99	45.18
jul-63	4.84	1.02	53.82	14.04	1.3	18.05	51.43	31.79

ago-63	3.21	1.19	240.9	54.48	0.61	116.35	70.65	85.24
sep-63	7.59	4.08	386.88	164.07	11.46	189.06	76.22	150.24
oct-63	11.19	8.86	426.49	288.76	5.56	304.53	227.95	191.48
nov-63	13.07	20.39	495.54	323.14	31.31	347.46	189.51	242.51
dic-63	3.74	12.27	526.68	450.03	31.91	467.29	300.23	469.6
ene-64	23.88	40.77	403.7	558.41	88.53	400.18	459.11	444.01
feb-64	37.46	76.58	506.93	406.89	170.9	456.19	287.33	420.14
mar-64	16.6	21.47	635.35	409.89	89.46	569.98	189.65	333.28
abr-64	11.22	23.31	387.47	268.94	51.1	268.54	132.29	284.59
may-64	8.3	0.47	150.09	71.21	0.35	22.9	48.28	113.36
jun-64	13.47	12.12	56.95	24.14	16.56	41.4	42.83	42.72
jul-64	3.29	0.99	51.88	26.67	1.3	8.65	50.51	35.95
ago-64	2.14	0.64	262.22	19.13	0.07	78.39	24.17	41.91
sep-64	1.28	2.7	251.73	217.12	0.65	116.82	222.88	143.34
oct-64	4.24	13.82	448.48	267.01	8.56	292.79	226.14	160.46
nov-64	9.41	11.01	335.29	424.15	25.8	217.04	386.57	310.55
dic-64	21.91	27.83	487.33	573.59	9.47	513.98	271.64	460
ene-65	86.58	31.83	426.23	470.42	52.36	347.78	385.9	393.76
feb-65	165.9	169.04	589.04	393.03	166.3	492.36	237.71	323.81
mar-65	69.21	18.5	458.72	325.88	63.44	318.84	184.38	305.27
abr-65	53.53	39.37	386.62	293.66	70.09	237.47	190.14	298.41
may-65	2.53	0.58	181.78	48.78	0.36	21.38	53.49	76.15
jun-65	3.86	0.05	12.47	19.45	0.19	1.04	47.01	35.58
jul-65	3.22	0.79	60.42	19.83	0.38	16.39	41.67	36.23
ago-65	1.01	0.03	48.28	88.48	0.01	2.05	158.11	38.32
sep-65	12.73	3.74	200.44	116.6	2.06	100.21	213.94	99.03
oct-65	4.19	2.74	268.35	273.47	10.62	107.49	239.41	142.92
nov-65	8.86	26.77	505.78	394.85	49.67	411.21	237.03	246.37
dic-65	55.88	32.46	544.26	501.17	126.99	496.65	352.72	315.72
ene-66	15.66	21.68	614.76	515.78	120.95	629.95	387.2	451.59
feb-66	12.26	17.08	615.03	356.24	87.93	517.11	196.5	348.81
mar-66	12.85	16.13	526.45	391.81	30.25	362.25	242.28	367.23
abr-66	13.51	4.11	324.05	112.27	24.67	97.54	118.19	145.75
may-66	13.22	4.96	237.81	65.51	3.31	107.32	42.57	134.14
jun-66	7.22	8.01	71.22	34.71	16.94	18.71	52.39	35.63
jul-66	4.74	0.51	59.52	22.72	0.14	6.86	78.15	44.8
ago-66	2.92	2.2	167.56	29.54	1.13	34.12	75.26	41.97
sep-66	5.01	1.87	185.24	135.97	0.25	63.85	236.95	95.41
oct-66	4.02	2.45	376.21	323.19	1.12	114.33	252.68	197.28
nov-66	23.25	7.88	341.85	444.57	7.03	283.37	311.41	256.87
dic-66	11.84	6.39	563.82	350.61	19.38	393.53	196.44	333.68
ene-67	15.29	15.92	552.55	513.24	34.92	490.22	348.15	426.82
feb-67	86.31	87.26	562.41	346.04	189.28	557.89	146.94	315.22
mar-67	2.16	4.55	439.08	397.81	5.56	333.61	232.12	345.31

abr-67	4.81	4.15	258	206.14	15.89	144.42	131.28	191.1
may-67	7.63	0.55	177.09	63.11	0.89	58.18	45.4	97.39
jun-67	21.19	2.8	112.36	36.42	1.31	34.37	93.36	36.97
jul-67	5.65	0.32	112.94	17.21	0.08	31.55	31	47.26
ago-67	2.18	0.2	140.07	54.05	0.08	63.48	52.59	81.95
sep-67	3.6	6.45	394.66	133.51	8.08	126.54	109.58	107.56
oct-67	2.89	9.71	479.29	293.93	6.08	391.68	217.92	146.19
nov-67	6.71	14.87	493.62	347.63	3.24	398.3	230.56	300.03
dic-67	12.55	21.44	538.01	520.28	3.47	478.69	269.83	350.62
ene-68	12.47	15.14	535.45	426.63	12.06	408.76	352.35	347.71
feb-68	15.26	22.4	546.34	467.77	113.82	534.38	291.15	325.86
mar-68	7.59	9.04	477.38	397.25	44.26	357.91	246.6	305.89
abr-68	4.62	10.59	435.25	298.76	17.65	328.42	165.53	309.4
may-68	8.78	0.76	181.48	62.37	0.46	109.63	45.19	105.63
jun-68	5.3	0.5	89.1	31.01	0.57	18.72	49.31	63.59
jul-68	10.25	1.38	40.16	45.11	1.06	12.24	67.15	60.5
ago-68	6.62	0.45	89.15	90.89	0.15	26.02	121.91	61.77
sep-68	3.02	3.66	323.5	97.06	14.2	158.58	58.54	152.43
oct-68	3	8.48	344.81	303.43	1.09	93.43	337.52	189.8
nov-68	6.47	23.2	434.38	392.1	4.48	322.78	228.37	283.87
dic-68	23.49	6.28	493	388.52	26.81	407.03	256.98	274.43
ene-69	46.89	103.15	580.32	479.41	204.43	576.25	354.2	426.17
feb-69	48.72	23.55	414.56	477.03	70.12	433.36	372.59	422.45
mar-69	5.61	9.51	475.98	460.52	28.85	411.93	272.88	380.21
abr-69	4.04	1.9	359.78	262.77	15.25	206.03	132.52	276.87
may-69	8	1.06	136.94	41.55	0.77	33.52	62.33	97.14
jun-69	6.15	5.11	52.48	22.75	2.14	14.67	39.42	36.04
jul-69	8.65	8.24	108.5	13.56	4.7	12.97	36.09	34.45
ago-69	0.6	2.03	264.08	70.03	0.22	97.44	61.55	52.96
sep-69	3.58	3.94	176.54	164.77	3.07	95.1	147.96	142.53
oct-69	3.76	5.04	423.7	306.03	3.32	281.85	206.78	202.77
nov-69	13.77	1.08	448.76	217.44	5.76	235.58	142.62	220.03
dic-69	7.25	5.83	455.62	388.81	9.47	277.05	299.7	282.89
ene-70	80.79	65.32	529.57	340.61	92.86	429.19	267.89	333.9
feb-70	113.77	68.2	509	414.99	159.86	533.5	353.44	336.2
mar-70	21.44	6.26	535.86	441.18	21.17	521.42	217.15	415.55
abr-70	48.7	20.6	414.67	241.02	31.15	257.75	107.07	306.53
may-70	6.53	1.58	108.39	44.14	1.52	14.52	48.55	111.31
jun-70	11.36	0.72	15.74	14.87	0.36	0.39	30.87	29.19
jul-70	15.35	0.21	7.27	42.49	0.71	1.93	61.96	32.11
ago-70	2.37	0.35	107.07	66.93	0.13	1	122.09	59.64
sep-70	2.66	5.22	392.25	164.72	5.67	191.18	115.98	92.55
oct-70	5.6	6.21	423.39	300.62	5.07	322.56	211.73	302.15
nov-70	11.58	3.86	369.7	370.79	6.36	201.64	205.89	225.15

dic-70	12.62	13.71	563.77	428.35	16.22	463.11	314.49	367
ene-71	19.92	4.8	586.84	490.11	54.08	559.15	273.16	385.03
feb-71	8.83	20.82	480.65	439.54	79.08	483.05	297.6	350.85
mar-71	12.11	9.43	501.52	410.08	63.11	427.23	227.21	351.47
abr-71	12.83	5.54	345.14	235.37	1.75	147.18	150.58	252.54
may-71	11.55	5.43	211.63	47.74	3.21	59.86	60.1	96.69
jun-71	2.9	0.32	39.6	24.42	1.31	18.64	42.23	41.97
jul-71	10.81	6.64	42.91	38.79	4.46	11.28	79.26	31.52
ago-71	2.91	0.13	118.73	44.16	0.94	24.63	96.54	32.94
sep-71	3.38	0.79	346.55	182.37	0.65	179.15	166.84	117.07
oct-71	15.6	20.97	372.42	323.04	14.67	257.8	330.94	245.28
nov-71	6.1	7.57	366.04	407.8	8.52	325.8	338.75	315.04
dic-71	13.55	16.47	365.49	520.93	24.65	371.39	412.15	343.55
ene-72	16.55	80.96	603.55	520.04	144.07	612.79	374.42	458.06
feb-72	5.47	16.96	542.15	476.89	59.73	509.51	318.3	366.8
mar-72	7.25	15.9	529.65	495.09	66.53	495.95	355.77	343.05
abr-72	16.07	34.87	435.75	195.47	60.67	326.16	144.97	269.53
may-72	25.95	14.01	224.33	30.46	11.09	74.75	28.56	95.34
jun-72	6.16	0.21	5.73	21.15	0.24	0.58	40.22	46.85
jul-72	7.53	2.94	55	14.49	0.46	25.37	27.01	34.71
ago-72	5.95	0.5	137.68	26.83	0.34	18.03	70.59	69.69
sep-72	1.78	2.27	211.16	130.19	0.81	102.9	155.15	63.21
oct-72	3.93	0.94	93.81	232.74	1.99	32.61	450.66	105.09
nov-72	2.94	2.97	533.5	275.25	45.25	367.02	191.71	143.86
dic-72	8.36	6.17	462.99	385.02	15.32	412.38	291.23	298.56
ene-73	35.47	54.43	613.61	289.35	103.18	458.16	164.36	323.25
feb-73	1.44	7.14	489.06	390.28	28.48	394.84	242.9	398.86
mar-73	3.72	27.52	544.7	365.84	54.86	434.12	183.78	294.87
abr-73	8.34	7.35	331.64	178.59	12.01	144.01	104.34	277.94
may-73	6.17	1.2	123.46	62.32	0.8	45.54	81.16	107.54
jun-73	6.44	0.78	25.94	12.74	0.29	0.45	46.24	32.12
jul-73	16.55	1.65	60.48	28.43	1.7	1.48	68.45	30.25
ago-73	2.82	4	146.55	105.68	2.2	91.59	135.99	102.08
sep-73	5.03	4.68	308.31	83.37	19.78	121.16	63.62	61.1
oct-73	11.4	4.83	319.62	218.93	11.25	139.89	229.99	169.19
nov-73	18.32	12.49	614.44	355.43	21.99	527.82	231.91	226.72
dic-73	20.56	59.33	561.89	443.5	96	442.68	246.5	390.07
ene-74	111.93	80.49	690.57	420.08	244.75	616.79	247.82	296.41
feb-74	83.76	80.33	528.64	468.01	89.03	473.53	370.98	380.98
mar-74	76.84	84.21	499.98	426.3	85.42	311.12	242.41	264.05
abr-74	41.15	38	417.86	262.35	57.76	293.14	98.09	223.45
may-74	9.58	1.35	290.13	50.98	0.48	33.34	40.82	139.76
jun-74	13.38	0.54	49.54	16.62	0.35	1.75	41.63	21.86
jul-74	7.04	3.3	163.58	27.9	1.93	93.83	53.5	61.82

ago-74	5.98	11.93	182.06	57.15	10.51	105.05	95.77	52.43
sep-74	4.57	7.57	339.09	161.58	4.93	180.69	129.34	102.58
oct-74	18.42	1.94	326.23	274.9	8.88	165.04	206.65	184.61
nov-74	4.27	10.13	532	396.26	0.51	420.76	210.96	281.43
dic-74	25.77	23.02	511.58	434.82	61.48	422.5	307.11	322.57
ene-75	73.42	117.9	707.64	378.9	194.01	630.69	264.96	300.16
feb-75	85.5	153.21	555.41	398.92	169.46	501.02	316.11	341.87
mar-75	59.63	68.91	592.69	358.1	176.31	520.22	152.05	326.34
abr-75	6.49	2.85	339.85	171.94	6.98	179.54	88.97	196.66
may-75	4.26	8.4	141.31	67.71	1.8	33.19	54.58	95.26
jun-75	4.16	2.05	32.62	34.02	1.35	4.71	57.65	29.7
jul-75	1.4	0.6	94.02	21.9	0.46	7.54	33.8	68.96
ago-75	2.45	0.46	89.56	41.96	0.18	3.72	81.77	44.96
sep-75	4.52	8.25	239.09	222.02	20.36	132.34	234.4	135.43
oct-75	4.66	5.36	398.59	287.07	3.02	298.65	251.95	222.91
nov-75	7.99	9.13	313.96	376.8	10.52	195.3	315.15	242.09
dic-75	9.72	5.09	568.49	413.17	1.45	443.45	241.27	380.93
ene-76	5.57	25.76	561.4	545.95	58.33	547.87	448.05	379.4
feb-76	72.14	58.69	523.22	465.11	140.1	485.39	339.77	354.6
mar-76	8.67	14.53	566.43	385.81	47	485.08	209.51	380.69
abr-76	4.6	10.21	390.16	285.5	22.02	289.55	223.27	301.21
may-76	3	0.5	162.26	69.14	1.73	43.49	46.83	119.06
jun-76	1.67	0.28	28.53	47.99	0.03	2.44	63.71	57.68
jul-76	5.96	1.04	37.44	65.94	2.05	16.37	60.19	52.09
ago-76	0.68	0.68	148.63	27.79	0.14	25.59	44.57	41.08
sep-76	2.49	8.14	254.81	130.4	6.99	74.18	274.67	89.63
oct-76	5.4	8.8	392.26	322.59	4.41	258.54	263.26	236.99
nov-76	9.8	33.09	590.07	313.14	74.57	482.99	169.88	255.94
dic-76	12.1	17.75	535.76	378.48	68.23	439.6	251.23	288.1
ene-77	28.83	47.91	552.24	460.27	88.39	498.99	308.24	349.73
feb-77	8.24	67.75	528.59	402.71	164.12	456.81	304.2	359.99
mar-77	5.13	22.54	559.7	386.1	58.43	467.89	207.27	420.16
abr-77	8.54	41.61	312.5	290.85	55.91	226.33	215.83	277.07
may-77	6.43	3.89	135.67	103.6	2.75	63.05	66.73	108.04
jun-77	9.41	1.32	67.84	21.95	0.91	34.26	44.54	68.3
jul-77	7.71	0.2	17.23	18.65	0.45	1.58	46.83	30.8
ago-77	2.06	3.07	190.46	91.94	2.37	75.59	27.75	69.28
sep-77	4.22	0.52	239.39	187.39	0.27	102.56	167.07	122.86
oct-77	5.01	0.68	306.5	234.65	0.2	141.21	217.91	145.95
nov-77	14.64	1.64	352.53	224.63	1.54	111.06	259.57	181.04
dic-77	9.11	11.1	645.13	441.28	10.88	604.17	292.17	344.32
ene-78	8.25	34.26	661.29	487.45	53.08	652.34	215.17	399.18
feb-78	25.88	9.81	580.99	298.53	58.35	429.5	122.59	322.25
mar-78	4.38	23.87	516.98	395.79	26.07	419.37	225.1	338.91

abr-78	13.76	50.21	319.69	294.17	70.05	250.16	217.78	272.08
may-78	6.08	1.1	112.58	79.25	1.41	10.96	109.53	103.04
jun-78	8.78	0.99	30.08	17.98	0.69	7.83	39.76	38.09
jul-78	1.22	0.16	57.36	38.63	0.37	13.4	67.44	54.1
ago-78	2.14	0.33	154.04	33.28	0.09	69.51	43.99	34.94
sep-78	4.89	5.56	407.15	136.82	4.15	244.83	94.5	80.68
oct-78	4.68	3.54	491.04	283.94	9.07	310.81	186.17	189.54
nov-78	5.78	4.55	416.42	447.06	1.07	368.25	309.89	339.36
dic-78	6.73	5.55	424.27	370.7	2.73	279.24	352.2	318.92
ene-79	8.38	16.31	569.54	448.52	28.76	569.23	292.05	327.95
feb-79	40.82	41.05	563.25	405.04	108.89	461.19	412.42	361.16
mar-79	5.68	8.44	616.71	328.8	96.27	495.82	163.3	310.22
abr-79	20.09	63.04	399.8	257.3	98.6	319.96	160.77	258.63
may-79	2.76	1.82	144.07	97.85	1.23	45.36	53.37	129.43
jun-79	2.4	1.58	90.9	25.39	0.73	20.25	35.27	55.94
jul-79	1.24	0.01	14.67	34.39	0.02	1.07	57.97	52.46
ago-79	5.8	0.25	55.25	79.93	0.18	12.14	131.6	45.95
sep-79	1.54	0.18	181.1	103.96	0.05	52.08	119.14	71.04
oct-79	2.52	0.52	95.29	341.66	0.15	0.13	580.09	129.66
nov-79	4.05	17.92	410.6	368.6	24.82	306.31	296.69	246.44
dic-79	12.12	26.08	590.49	448.05	59.97	500.08	325.21	313.71
ene-80	15.56	14.56	616.78	455.79	73.44	497.58	336.95	357.62
feb-80	7.72	39.31	569.44	430.79	80.91	521.83	347.76	406.9
mar-80	11.61	28.87	455.62	339.43	18.18	374.61	276.38	377.53
abr-80	1.18	5.39	353.01	261.38	1.05	161.87	188.13	223.14
may-80	13.23	0.81	142.15	24.38	4.89	4.73	33.15	113.97
jun-80	18.99	22.91	63.67	38.42	23.15	27.52	52.07	54.05
jul-80	1.76	0.18	25.33	17.12	0.01	0.76	38.65	34.97
ago-80	3.15	0.61	95.8	52.17	0.22	5.12	161.29	39.67
sep-80	2.88	8.42	316.54	143.54	20.34	117.02	132.21	119.95
oct-80	6.05	3.08	336.25	233.6	4.56	199.9	229.96	222.03
nov-80	7.86	23.84	378.21	441.76	18.47	341.29	358.87	272.52
dic-80	4.7	9.88	654.62	429.98	24.51	609.88	266.07	333.62
ene-81	18.8	22.94	625.45	504.96	86.09	549.96	317.69	411.7
feb-81	13.4	44.65	517.62	386.21	39.64	455.29	303.11	354.13
mar-81	26.97	6.5	462.05	335.58	38.74	318.46	215	317.37
abr-81	3.72	1.26	362.67	231.25	13.38	205.41	125.96	266.83
may-81	3.16	3.32	157.25	80.25	1.13	66.95	86.88	116.15
jun-81	6.18	5.8	67.97	75.23	2.9	5.31	103.15	50.29
jul-81	5.45	0.34	18.91	23.49	0.54	3.07	56.88	49.72
ago-81	0.92	0.24	197.26	26.73	0.32	59.23	66.88	53.97
sep-81	3.85	0.44	185.72	185.74	0.97	60.88	214.18	122.41
oct-81	6.84	0.79	307.88	182.98	0.45	157.85	191.15	129.72
nov-81	7.4	28.14	434.65	431.68	14.36	367.42	364.7	384.83

dic-81	10.74	13.45	406.57	534.64	10.04	417.11	399.47	369.55
ene-82	2.48	20.79	402.3	479.13	38.48	352.72	440.42	304.53
feb-82	13.4	52.31	402.27	471.52	138.4	362.09	416.95	342.56
mar-82	1.68	17.94	436.29	499.97	29.23	481.92	371.98	495.44
abr-82	4.17	1.52	358.42	116.52	0.21	199.15	50.73	192.11
may-82	3.38	0.4	73.54	99.09	0.18	26.5	102.4	74.86
jun-82	4.97	0.94	55.95	19.62	1.33	18.03	39.33	34.77
jul-82	0.85	0.39	63.19	28.8	0.42	4.64	50.83	57.35
ago-82	2.6	1.35	162.48	34.5	0.09	32.13	39.44	51.04
sep-82	1.09	4.4	348.78	131.02	4.9	155.02	100.01	119.89
oct-82	14.92	1.97	355.85	271.13	2.81	276.66	257.17	226.36
nov-82	3.03	14.69	425.11	487.01	7.68	360.24	387.87	350.72
dic-82	1.74	9.23	557.05	513.51	3.03	498.02	304.9	397.57
ene-83	39.61	21.76	529.66	557.75	89.22	467.21	477.75	377.63
feb-83	2.13	2.27	477.78	393.23	6.05	390.7	276.38	430.29
mar-83	7.06	49.4	573.37	342.11	136.53	488.97	137.3	364.68
abr-83	16.78	24.3	395.01	250.88	36.08	315.76	98.86	315.94
may-83	9.57	1.64	168.44	61.97	6.75	47.79	51.2	102.56
jun-83	8.37	0.44	57.21	25.44	0.19	2.78	54.55	31.86
jul-83	3.02	0.79	61.42	31.29	1.08	9.25	59.71	58.06
ago-83	4.21	5.68	277.82	51.52	3.02	126.26	60.05	53.57
sep-83	2.6	3.83	283.14	133.24	3.46	151.92	166.4	75.13
oct-83	2.82	9.74	404.39	230.8	10.45	311.76	202.03	186.5
nov-83	4.48	10.15	431.71	409.06	4.42	360.71	343.98	348.79
dic-83	46.36	7.1	543.19	436.52	39.99	428.9	239.31	331.11
ene-84	16.69	17.98	525.88	460.71	69.57	477.32	293.58	326.24
feb-84	18.79	6.28	556.97	374.77	151.56	454.85	227	399.01
mar-84	77.33	46.2	546.44	453.24	103.87	527.85	322.25	450.55
abr-84	82.16	74.17	348.01	113.18	85.32	148.11	35.84	223.29
may-84	16.71	3.88	165.66	78.67	4.36	64.65	57.09	110.19
jun-84	3.51	1.34	41.72	19.11	0.56	13.24	32.65	41.95
jul-84	1.33	0.05	2.56	25.13	0.01	0.87	59.09	41.43
ago-84	3.66	0.13	120.02	27.32	0.03	28.05	38.16	32.87
sep-84	8.2	10.4	454.45	146.85	7.75	312.43	119.93	67.15
oct-84	8.03	17.48	476.34	396.57	13.35	348.22	259.94	267.26
nov-84	6.19	4.08	515.64	331.46	2.15	371.1	223.46	196.4
dic-84	20.33	6.91	539.31	436.23	5.31	412.77	285.67	314.09
ene-85	10.34	53.98	660.29	556.76	186.38	615.84	357.75	382.37
feb-85	4.35	10.69	554.72	437.08	139	555.72	278.59	415.01
mar-85	24.56	14.97	541.05	463.62	152.53	478.14	363.65	374.02
abr-85	2.9	2.42	435.06	251.77	1.81	316.74	97.85	321.54
may-85	4.21	1.12	173.52	71.29	1.13	12.29	81.99	100.96
jun-85	4.63	4.74	59.15	39.74	4.28	23.5	51.62	72.15
jul-85	7.58	0.07	18.87	26.16	0.06	4.06	64.6	37.33

ago-85	0.78	0.1	240.36	30.61	0.48	78.93	52.67	68.51
sep-85	1.57	0.24	251.16	137.89	0.17	86.42	122.26	76.32
oct-85	3.15	8.08	320.94	302.86	4.88	157.92	339.63	262.2
nov-85	21.96	71.49	505.61	391.9	91.63	334.23	252.09	199.52
dic-85	18.83	44.92	518.63	461.19	79.13	477.92	371.66	414.12
ene-86	8.88	59.72	568	513.39	123.02	534.49	416.93	380.45
feb-86	6.65	11.31	418.18	462.38	18.67	397.52	361.78	391.74
mar-86	33.82	27.8	502.93	403.3	76.5	429.46	217.91	354.86
abr-86	9.78	18.67	376.51	174.21	21.55	209.77	72.07	192.32
may-86	5.78	0.35	135.54	89.93	0.25	17.41	62.81	144.56
jun-86	2.72	2.75	135.13	32.43	1.14	50.1	65.77	56.76
jul-86	6.01	2.08	66.73	44.64	0.69	4.56	100.04	31.14
ago-86	1.55	0.37	106.19	42.34	0.25	26.23	64.86	60.23
sep-86	5.79	0.56	257.08	125.96	0.39	97.5	95.8	63.6
oct-86	5.33	3.32	207.48	281.63	1.65	121.76	286.34	158.66
nov-86	16.52	1.54	419.49	330.8	21.11	281.77	181.7	255.53
dic-86	15.93	19.18	520.97	586.69	4.85	465.82	452.94	406.07
ene-87	7.51	22.08	533.9	560.79	31.99	506.36	383.21	454.44
feb-87	0.82	14.23	618.94	411.18	3.48	558.28	243.06	405.1
mar-87	19.19	16.03	482.48	391.48	43.34	357.21	235.78	390.9
abr-87	16.55	2.09	358.19	181.2	2.27	199.91	65.09	200.11
may-87	7.45	0.94	165.31	104.58	1.77	88.54	69.75	174.82
jun-87	7.74	3.94	59.33	33.23	3.42	14.96	49.4	45.34
jul-87	5.71	3.2	77.88	17.72	4.39	55.72	42.37	37.56
ago-87	1.42	1.15	103.24	56.08	0.69	53.73	57.04	47.32
sep-87	2.61	1.77	262.26	95.8	0.34	68.55	160.55	92.68
oct-87	5.8	6.53	301.51	312.82	2.77	161.38	305.42	146.56
nov-87	13.31	1.58	547.73	288.68	13.23	363.95	161.68	202.88
dic-87	7.91	24.48	480.66	493.16	12.18	431.45	408.85	304.73
ene-88	10.93	18.43	501.88	510.84	86.76	452.39	428.56	437.69
feb-88	64.35	103.18	491.28	437.92	178.73	439.76	362.41	311.58
mar-88	5.97	43.07	621	384.58	92.2	487.81	233.09	397.04
abr-88	6.53	7.88	367.78	233.23	7.41	232.55	156.32	250.08
may-88	2.84	2.56	134.44	71.61	1.07	60.55	59.09	108.4
jun-88	3.22	0.08	11.32	22.36	0.05	0.26	61.1	55.54
jul-88	9.29	15.67	88.24	24.37	9.63	7.53	57.79	34.01
ago-88	2.42	9.1	257.81	84.74	2.61	32.47	92.22	41.04
sep-88	4.33	7.02	282.94	176.33	11.11	196.85	190.99	72.74
oct-88	4.85	8.94	352.62	303.95	3.49	184.3	205.02	234.38
nov-88	6.16	6.03	543.25	393.14	5.44	420.16	251.92	295.43
dic-88	5.04	12.68	460.46	588.53	10.39	358.51	424.07	344.62
ene-89	3.54	10.2	512.85	485.52	18.3	494.63	348.35	412.4
feb-89	62.51	43.92	496.7	444.46	63.86	465.65	340.26	366.12
mar-89	10.37	31.05	502.11	400.26	62.81	386.57	227.6	432.12

abr-89	8.17	3.44	360.21	148.66	5.54	186.11	84.09	233.94
may-89	1.89	5.16	227.26	111.62	0.55	50.45	57	153.35
jun-89	2.66	0.14	17.16	20.57	0.14	0.13	58.16	27.65
jul-89	20.44	1.35	43.01	21.4	3.5	24.28	51.39	35.55
ago-89	1.49	0.98	138.67	77.19	0.54	39.71	133.35	82.69
sep-89	1.22	2.5	272.25	146.14	5.31	167.86	125.86	151.76
oct-89	2.59	2.21	371.97	274.48	3.29	176.85	257.57	206.38
nov-89	5.92	1.77	337.6	346.4	0.73	233.45	303.99	219.24
dic-89	8.28	36.1	566.83	489.37	9.84	484.08	339.96	367.45
ene-90	7.54	12.89	521.65	492.68	19.21	471.52	285.93	386.96
feb-90	30.31	58	519.6	495.2	139.55	486.3	362.88	391.44
mar-90	191.71	147.25	519.95	471.43	122.16	434.56	268.16	366.91
abr-90	8.08	11.21	416.48	251.62	10.72	333.11	131.92	290.42
may-90	6.5	10.38	224.97	84.96	10.49	91.95	63.9	147
jun-90	25.72	1.82	37.46	21.46	1.04	3.83	31.03	40.53
jul-90	0.61	0.02	32.67	40.4	0	0.67	50.5	45.68
ago-90	1.7	0.36	67.38	80.63	0.16	10.13	156.72	53.56
sep-90	4.26	1.01	300.27	103.19	0.43	98.71	149.62	78.2
oct-90	15.32	3.57	361.53	327.69	15.23	205.49	271.57	170.13
nov-90	20.74	9.11	491.76	348.09	21.78	348.56	227	252.26
dic-90	52.85	31.73	470.2	543.4	59.21	464.31	445.17	403.75
ene-91	14.12	23.83	485.95	439.17	91.65	354.59	346.31	331.11
feb-91	43.4	36.32	509.26	477.61	123.06	496.35	340.82	383.05
mar-91	16.18	22.05	491.74	401.1	75.01	415.67	287.86	398.55
abr-91	25.94	28.4	350.47	225.6	21.1	244.44	126.73	286.6
may-91	6.75	0.88	143.24	46.5	0.3	20	43.19	94.15
jun-91	11.26	1.32	19.87	19.68	0.49	1.25	53.2	40.64
jul-91	8.09	0.37	31.51	21.17	0.07	2.35	55.94	40.59
ago-91	2.1	0.24	130.16	31.49	0	4.9	82.43	36.67
sep-91	4.3	2.37	103.02	140.66	0.78	30.82	234.17	100.03
oct-91	9.7	4.86	449.63	345.16	3.78	375.92	212.15	202.28
nov-91	33.73	12.67	432.26	357.73	6.06	305.86	269	193.51
dic-91	9.34	4.3	605.29	427.6	15.97	501.98	203.56	398.64
ene-92	3.23	15.07	576.78	555.04	31.56	493.21	324.29	341.96
feb-92	60.9	58.61	572.47	458.68	159.31	522.94	308.38	434.89
mar-92	4.48	19.31	461.36	549.07	31.37	446.05	385.06	350.18
abr-92	5.12	4.61	347.39	235.63	3.84	223.34	126.6	258.08
may-92	11.55	1.33	151.74	59.62	0.55	4.42	80.88	104.47
jun-92	2.39	1.95	60.59	28.87	3.36	24.93	42.5	53.92
jul-92	1.7	0.54	48.91	57.1	0.2	4.25	98.8	41.98
ago-92	2.88	0.03	92.44	19	0.03	5.65	39.15	17.5
sep-92	2.88	6.77	321.39	152.56	5.57	172.91	139.64	99.52
oct-92	14.1	0.64	399.37	213.41	0.12	261.14	127.64	170.37
nov-92	11.75	12.59	515.96	394.57	22.27	347.23	221.31	275.07

dic-92	10.44	6.57	502.14	377.81	2.58	350.12	241.06	294.88
ene-93	1.19	13	523.4	577.48	7.01	560.45	392.1	484.17
feb-93	3.88	10.15	421.71	505.82	17.61	387.09	394.43	380.62
mar-93	30.03	3.47	497.38	300.13	50.69	342.93	158.23	388.7
abr-93	24.91	28.28	409.38	210.9	44.55	245.06	117.73	280.76
may-93	15.11	22.28	167.83	104.41	15.57	80.33	78.89	133.69
jun-93	11.04	0.67	7.33	23.66	0.48	1.12	50.21	45.94
jul-93	6.54	0.8	14.36	28.15	0.57	1.12	68.42	28.38
ago-93	8.43	0.32	95.86	44.53	0.51	9.49	113.01	62.03
sep-93	9.47	7.3	401.35	132.26	3.68	217.93	97.13	137.33
oct-93	3.27	4.51	321.2	267.98	3.94	195.35	224.68	224.38
nov-93	7.89	9.27	360.55	371.09	7.62	180.23	304.89	314.1
dic-93	21	38.62	405.28	508.83	25.17	416.54	422.56	428.84
ene-94	3.39	35.48	526.26	556.86	77.9	450.1	432.4	396.28
feb-94	13.12	34.89	496.49	492.48	111.72	500.88	422.16	419.39
mar-94	64.38	62.35	487.44	519.3	77.62	428.12	459.31	390.98
abr-94	1.91	6.21	415.96	142.94	7.96	299.92	69.88	193.95
may-94	11.26	2.11	189.44	69.87	2.3	37.33	77.8	126.27
jun-94	8.61	7.25	96.93	18.9	6.47	24.97	29.66	70.92
jul-94	2.77	0.67	84.84	17.36	1.67	16.03	44.12	58.91
ago-94	3.39	0.04	94.62	74.95	0.03	26.43	99.88	42.14
sep-94	5.78	4.28	398.88	89.28	13.33	223.15	78.77	75.68
oct-94	3.79	5.64	498.13	260.27	2.74	232.31	201.73	201.85
nov-94	4.54	21.5	528.75	453.49	22.05	423.04	325.01	320.48
dic-94	4.85	18.48	466.8	573.13	33.46	426.16	456.19	422.87
ene-95	3.07	10.33	555.04	400.51	17.02	506.53	281.7	355.03
feb-95	17.95	14.14	486.04	467.7	57.44	463.07	297.48	385.58
mar-95	1.84	8.42	525.29	350.12	5.61	410.72	181.12	286.25
abr-95	90.1	129.33	406.18	89.25	170.25	200.93	23.72	214.73
may-95	4.42	5.67	149.43	103.04	3.58	42.54	129.3	107.6
jun-95	5.91	2.03	61.52	66.82	0.88	8.38	104.89	92.58
jul-95	8.58	0.31	57.97	27.13	0.2	2.78	57.77	41.18
ago-95	0.6	1.45	215.71	60.65	1.38	101.54	83.21	66.75
sep-95	0.84	2.99	336.97	162.14	11.34	125.98	153.78	58.55
oct-95	0.73	7.21	422.82	327.6	2.09	312.48	203.27	230.83
nov-95	16.26	26.02	510.59	452.67	91.96	465.85	343.83	347.51
dic-95	4.77	15	427.55	585.62	38.42	394.21	456.36	484.61
ene-96	7.71	18.43	549.75	434.02	59.08	485.78	243.76	343.37
feb-96	73.11	29.6	487.52	330.68	60.62	423.22	213.64	314.18
mar-96	11.68	14.44	508.58	362.61	23.5	436.7	161.54	352.94
abr-96	27.38	43.42	370.87	176.26	58.64	211.3	69.3	294.04
may-96	10.56	2.46	159.22	60.03	1.19	4.76	39.53	96.56
jun-96	16.05	1.09	24.32	14.24	0.84	1.58	35.39	40.32
jul-96	8.12	1.32	103.54	29.37	1.4	25.08	50.17	41.71

ago-96	6.85	1.06	148.44	32.46	0.52	24.07	60.24	47.85
sep-96	3.02	27.45	284.76	130.73	44.88	117.6	75.9	116.32
oct-96	3.87	7.2	345.37	313.34	1.05	118.95	397.4	133.2
nov-96	8.82	7.33	324.84	428.08	4.87	262.11	322.25	346
dic-96	34.06	27.53	525.08	469.81	85.3	433.99	350.13	349.04
ene-97	79.71	76.42	523.51	549.77	169.87	530.31	473.63	459.26
feb-97	13.02	64.19	557.58	470.18	131.51	516.61	382.58	364.54
mar-97	33.51	65.1	486.96	394.35	103.72	462.55	244.14	332.43
abr-97	82.01	144.94	362.25	174.25	106.33	185.72	92.56	194.45
may-97	29.29	9.48	227.54	106.22	3.71	43.78	65.78	125.48
jun-97	43.16	3.42	7.8	29.8	1.81	2.55	59.14	43.65
jul-97	12.73	1.33	12.56	17.13	0.6	0.63	46.31	35.32
ago-97	11.71	1.59	153.25	56.44	2.16	76.88	132.18	29.26
sep-97	0.68	0.8	250.2	88.56	2.14	79.32	82.14	88.2
oct-97	4.1	1.71	315.39	247.27	0.61	138.83	266.04	199.28
nov-97	13.47	2.8	305.92	297.22	2.33	178.26	275.11	189.47
dic-97	32.29	37.17	576.83	507.84	81.28	499.25	391.32	383.75
ene-98	7.38	33.78	591.98	455.99	14.37	537.18	320.42	398.46
feb-98	18.49	21.47	529.25	408.21	99.15	521.2	267.77	422.33
mar-98	10.95	21.81	491	450.94	85.62	440.82	289.64	401.24
abr-98	7.45	15.49	382.31	303.66	14.49	223.38	199.31	272.81
may-98	5.7	11.07	230.38	78.52	6.6	74.01	58.66	133.07
jun-98	1.1	0.04	24.56	10.89	0	0.71	30.64	33.49
jul-98	15.52	0.47	50.49	14.8	1.3	24	42.18	27.76
ago-98	0.47	0.95	161.54	31.56	0.31	29.8	50.89	30.69
sep-98	1.04	2.08	360.31	113.71	4.16	131.64	43.68	77.96
oct-98	4.51	71.46	538.89	257.92	46.44	367.8	171.81	114.04
nov-98	2.19	9.05	511.56	326.51	3.83	345.66	193.84	249.02
dic-98	4.11	7.96	530.38	414.27	36.32	429.12	251.37	273.37
ene-99	3.86	11.11	563.46	398.82	16.19	455.75	319.81	321.96
feb-99	60.37	67.24	517.78	412.06	131.06	460.43	300.43	394.2
mar-99	1.63	14.94	498.68	413.27	20.28	430.26	242.4	412.6
abr-99	128.64	87.39	417.42	254.58	79.14	264.52	100.6	239.89
may-99	10.65	10.78	235.81	82.92	6.25	118.8	83.06	136.32
jun-99	34.76	2.77	35.67	45.89	2.89	5.71	102.32	39.67
jul-99	5.66	19.25	113.9	9.17	5.31	31.81	38.48	40.27
ago-99	5.64	1.6	122.53	85.16	1.45	32.53	94.33	64.36
sep-99	3.9	4.59	379.96	184.35	1.82	186.86	128.92	139.8
oct-99	6.65	5.2	235.36	331.9	5.7	123.62	418.15	223.64
nov-99	10.2	7.19	323.33	466.23	3.25	165.51	423.07	262.01