

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS

DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)
EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Var. Silver EN EL CIP-
ILLPA-Puno

PRESENTADA POR:

MARINA CANLLAHUI MAMANI

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MENCION:

GESTION AGROAMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TESIS

DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)
EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Var. Silver
EN EL CIP-ILLPA-Puno.

PRESENTADA POR:

MARINA CANLLAHUI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MENCION:

GESTION AGROAMBIENTAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

Ing. M.Sc. DANIEL CANAZA MAMANI

PRIMER MIEMBRO

.....

D. Sc. SILVERIO APAZA APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

Ing. M.Sc. FRANCIS MIRANDA CHOQUE

DIRECTOR DE TESIS

Ing. M.Sc. ELISBAN URIEL HUANCA QUIROZ

PUNO - PERÚ

2013

Área: Ciencias Agrícolas
Tema. Manejo agronómico de cultivos

DEDICATORIA

*Con profundo cariño; a mis queridos
Padres Teófilo y Juana por su gran
apoyo incondicional y por qué condujeron
mi vida durante mi formación profesional.*

*Con inmenso amor a Sixto y a
mis hijos Fabricio y Fabián por
inspirar en todo momento mis
deseos de superación.*

*Con cariño a mi hermana Luz Melinda,
a mi hermano Claver, a mi tía Hilda
y a mis compañeros por su apoyo moral
durante mi formación profesional.*

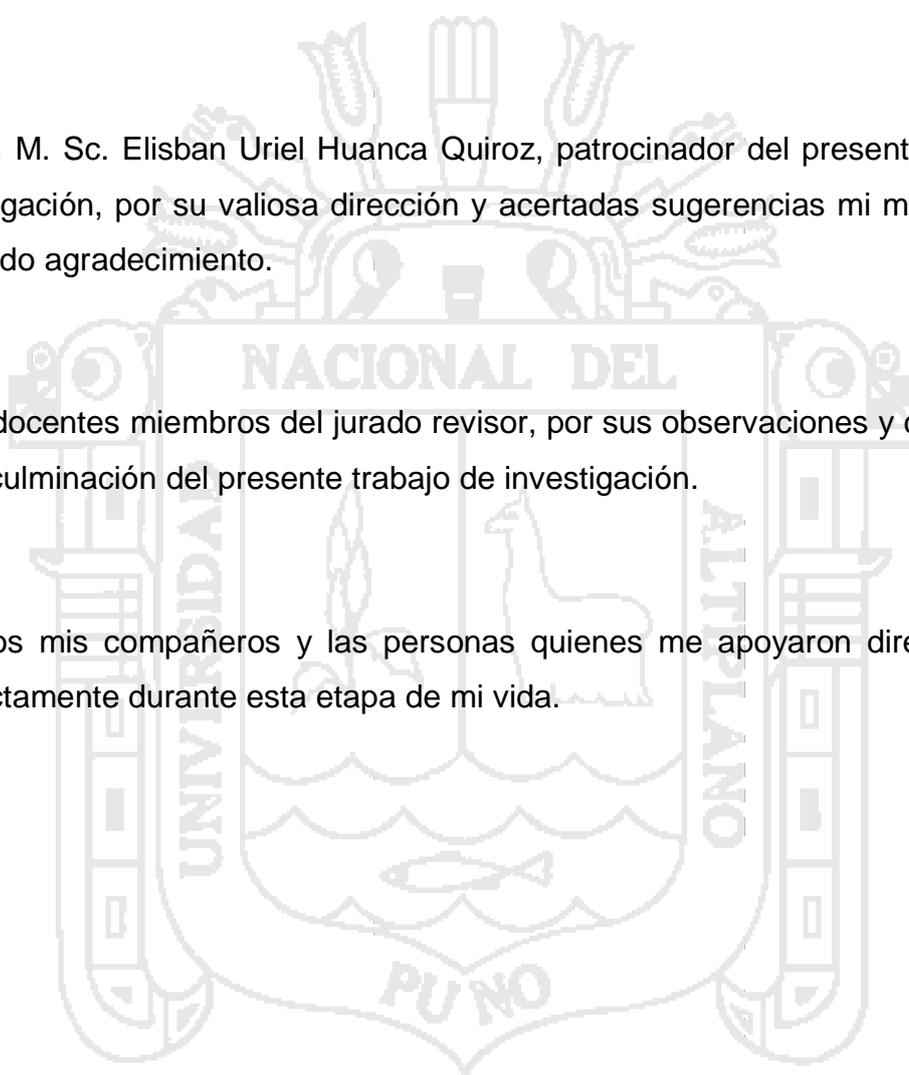
AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias y a los docentes quienes inculcaron con sus enseñanzas durante mi formación universitaria.

Al Ing. M. Sc. Elisban Uriel Huanca Quiroz, patrocinador del presente trabajo de investigación, por su valiosa dirección y acertadas sugerencias mi más sincero y profundo agradecimiento.

A los docentes miembros del jurado revisor, por sus observaciones y correcciones en la culminación del presente trabajo de investigación.

A todos mis compañeros y las personas quienes me apoyaron directamente e indirectamente durante esta etapa de mi vida.



ÍNDICE GENERAL

	Pag.
INDICE DE CUADROS	8
INDICE DE GRAFICOS	10
INDICE DE ANEXO.....	11
INDICE DE FOTOGRAFIAS	13
RESUMEN.....	14
I. INTRODUCCIÓN	15
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	17
2.1 ANTECEDENTES.....	17
2.2 MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL DEL CULTIVO DE PAPA.....	17
2.2.1 ORIGEN DEL CULTIVO DE PAPA	17
2.2.2 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE PAPA	18
2.2.3 POSICIÓN TAXONÓMICA.....	19
2.2.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	19
2.2.5 FENOLOGIA DEL CULTIVO	20
2.2.6 VALOR NUTRICIONAL.....	22
2.2.7 SUELO Y CLIMA	22
2.2.8 PREPARACION DEL TERRENO	23
2.2.9 PLANTACION	23
2.2.10ABONAMIENTO Y FERTILIZACIÓN	24
2.2.11LABORES CULTURALES	25
2.3 NECESIDAD DE AGUA DE LOS CULTIVOS	25
2.3.1 DEFINICION	25
2.3.2 EVAPORACION	26
2.3.3 TRANSPIRACION.....	27
2.3.4 EVAPOTRANSPIRACION.....	28
2.3.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).....	29

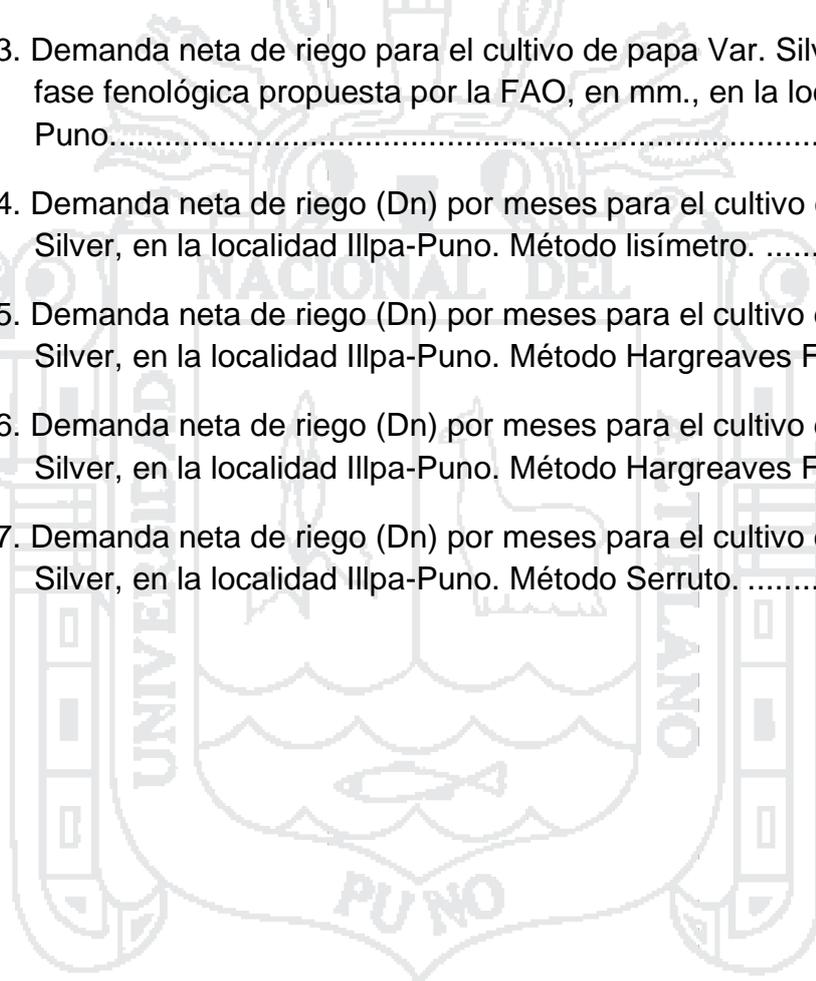
2.3.6	EVAPOTRANSPIRACIÓN ACTUAL O REAL (ETC)	30
2.3.7	USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS	31
2.3.8	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	31
2.3.9	COEFICIENTE DEL CULTIVO (Kc)	33
2.3.10	LISIMETRO.....	34
2.4	RELACION: SUELO- AGUA- PLANTA.....	35
2.4.1	RELACION SUELO- AGUA.....	35
2.4.2	RELACION AGUA PLANTA.....	36
2.5	COEFICIENTES HIDRICAS DEL SUELO PARA LAS PLANTAS.....	36
2.5.1	CAPACIDAD DE CAMPO (CC)	36
2.5.2	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP)	37
2.6	PRECIPITACIÓN EFECTIVA (PE)	38
2.7	DEMANDA DE AGUA O NECESIDAD DE RIEGO DE LOS CULTIVOS	39
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1	LOCALIZACION DEL CAMPO EXPERIMENTAL.....	41
3.2	INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	42
3.3	MATERIAL EXPERIMENTAL.....	46
3.3.1	LISIMETRO	46
3.3.2	ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO DEL SUELO	47
3.3.3	ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA DE RIEGO	48
3.3.4	ESPECIE CULTIVADA	49
3.4	METODOLOGIA	50
3.4.1	DETERMINACION DE ETC POR EL METODO DEL LISÍMETRO	50
3.4.2	DETERMINACION DE Kc METODO LISIMETRO.....	51
3.4.3	ESTIMACION DE ETP POR LOS METODOS INDIRECTOS.	51
3.4.4	ESTIMACION DE FASES FENOLOGICAS PLANTEADAS POR LA FAO Y LESCANO PARA DETERMINA EL Kc ASUMIDO POR LA METODOLOGIA FAO.	53
3.4.5	CALCULO DE LA ETC POR LOS METODOS INDIRECTOS.	54

3.4.6	CALCULO DE LA PRECIPITACION EFECTIVA (PE).....	55
3.4.7	CALCULO DE LA DEMANDA DE AGUA DEL CULTIVO.....	56
3.4.8	DESCRIPCION EXPERIMENTAL.....	56
3.4.9	CONDUCCION DEL EXPERIMENTO.....	57
3.4.10	OBSERVACIONES EN EL EXPERIMENTO.....	58
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1	EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DE PAPA (ETC) PARA FASES DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO.....	64
4.1.1	METODO DEL LISIMETRO.....	64
4.1.2	ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (ETP) POR METODOS INDIRECTOS.....	67
4.1.3	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO POR LOS METODOS INDIRECTOS.....	68
4.1.4	ANALISIS ESTADISTICO DE LA EVAPOTRANSPIRACION DE CULTIVO (ETC).....	70
4.2	COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) PARA EL CULTIVO DE PAPA.....	74
4.2.1	DETERMINACION DE COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) POR EL METODO DEL LISIMETRO.....	74
4.2.2	ESTIMACION DE COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) ASUMIDO POR LA METODOLOGIA FAO.....	76
4.3	CALCULO DE LA DEMANDA DE AGUA DEL CULTIVO DE PAPA (Da).....	79
V.	CONCLUSIONES.....	83
VI.	RECOMENDACIONES.....	85
VII.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	86
	ANEXO	89

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Valor nutricional de la papa.	22
Cuadro 2. Abonamiento y fertilización para el cultivo de papa.	24
Cuadro 3. Régimen térmico, pluviométrico y evaporación mensual, campaña agrícola 2010 – 2011.	42
Cuadro 4. Régimen térmico, pluviométrico y evaporación mensual de series: 1999 – 2008.	42
Cuadro 5. Análisis de fertilidad del suelo experimental.	48
Cuadro 6. Análisis químico de agua para riego.	48
Cuadro 7. Características morfológicas de papa Var. Silver.	50
Cuadro 8. Adecuación de las fases fenológicas del cultivo de papa a las cuatro fases propuestas por la FAO.	54
Cuadro 9. Distribución de la PE por Water Power Resources Service USA.	55
Cuadro 10. Duración de las fases fenológicas del cultivo de papa.	58
Cuadro 11. Altura de planta (cm) por fase fenológica en lisímetro (TC).	59
Cuadro 12. Producción y rendimiento de tubérculo papa en lisímetro (TC) y campo de cultivo.	61
Cuadro 13. Determinación de la densidad aparente y humedad del suelo.	62
Cuadro 14. ETC Método de lisímetro NFC, ETP (Ev) Kc. Campaña agrícola 2010-2011. Illpa – Puno.	64
Cuadro 15. Evapotranspiración potencial (ETP) estimados por métodos indirectos para el cultivo de papa en mm.	67
Cuadro 16. Evapotranspiración del cultivo de (ETC) de papa por diferentes métodos para cada fase fenológica en mm de lámina de agua. Campaña agrícola 2010-2011; Illpa.	68
Cuadro 17. Evapotranspiración del cultivo de (ETC) de papa por diferentes métodos para cada fase fenológica propuestas por las FAO en mm de lámina de agua. Campaña agrícola 2010-2011; Illpa.	70
Cuadro 18. Análisis de variancia de evapotranspiración del cultivo de papa en la localidad de Illpa – Puno.	71

Cuadro 19. Prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para promedio de fases fenológicas del cultivo de papa en la localidad de Illpa – Puno.	72
Cuadro 20. Prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para entre métodos de obtención de ETC de papa en la localidad de Illpa – Puno.....	73
Cuadro 21. Coeficiente de cultivo interpolado a partir de la curva Kc (FAO).	77
Cuadro 22. Demanda neta de riego para el cultivo de papa Var. Silver para cada fase fenológica, en mm., en la localidad Illpa-Puno.	79
Cuadro 23. Demanda neta de riego para el cultivo de papa Var. Silver para cada fase fenológica propuesta por la FAO, en mm., en la localidad Illpa-Puno.....	80
Cuadro 24. Demanda neta de riego (Dn) por meses para el cultivo de papa var. Silver, en la localidad Illpa-Puno. Método lisímetro.	80
Cuadro 25. Demanda neta de riego (Dn) por meses para el cultivo de papa var. Silver, en la localidad Illpa-Puno. Método Hargreaves F(T).....	81
Cuadro 26. Demanda neta de riego (Dn) por meses para el cultivo de papa var. Silver, en la localidad Illpa-Puno. Método Hargreaves F(h. sol).....	81
Cuadro 27. Demanda neta de riego (Dn) por meses para el cultivo de papa var. Silver, en la localidad Illpa-Puno. Método Serruto.	82



INDICE DE GRAFICOS

	Pag.
Grafico 1. Variación de temperaturas máximas, media y mínima de la campaña agrícola 2010-2011 con las temperaturas de las series 1999-2008.....	43
Grafico 2. Variación de la precipitación pluvial, campaña agrícola 2010-2011 y de los promedios: 1999-2008.	44
Grafico 3. Variación de la evaporación total, campaña agrícola 2010-2011 y de los promedios: 1999-2008. Estación meteorológica Juliaca.....	45
Grafico 4. Comportamiento de altura de planta en el tanque de cultivo, por fases fenológicas.....	60
Grafico 5. Variación diaria de la evapotranspiración del cultivo de papa. Método lisímetro.....	66
Grafico 6. Curva de evapotranspiración de cultivo (ETC) de papa, obtenido por diferentes métodos en base a la metodología propuesta por la FAO...	69
Grafico 7. Variación diaria de la evapotranspiración potencial en función a la evaporación del tanque Alimentador.	75
Grafico 8. Curva de coeficiente de cultivo (Kc) por fases fenológicas, para el cultivo de papa. Método del lisímetro NFC.	76
Grafico 9. Curva de coeficiente de cultivo (Kc) para métodos indirectos, método FAO, para cultivo de papa.	78

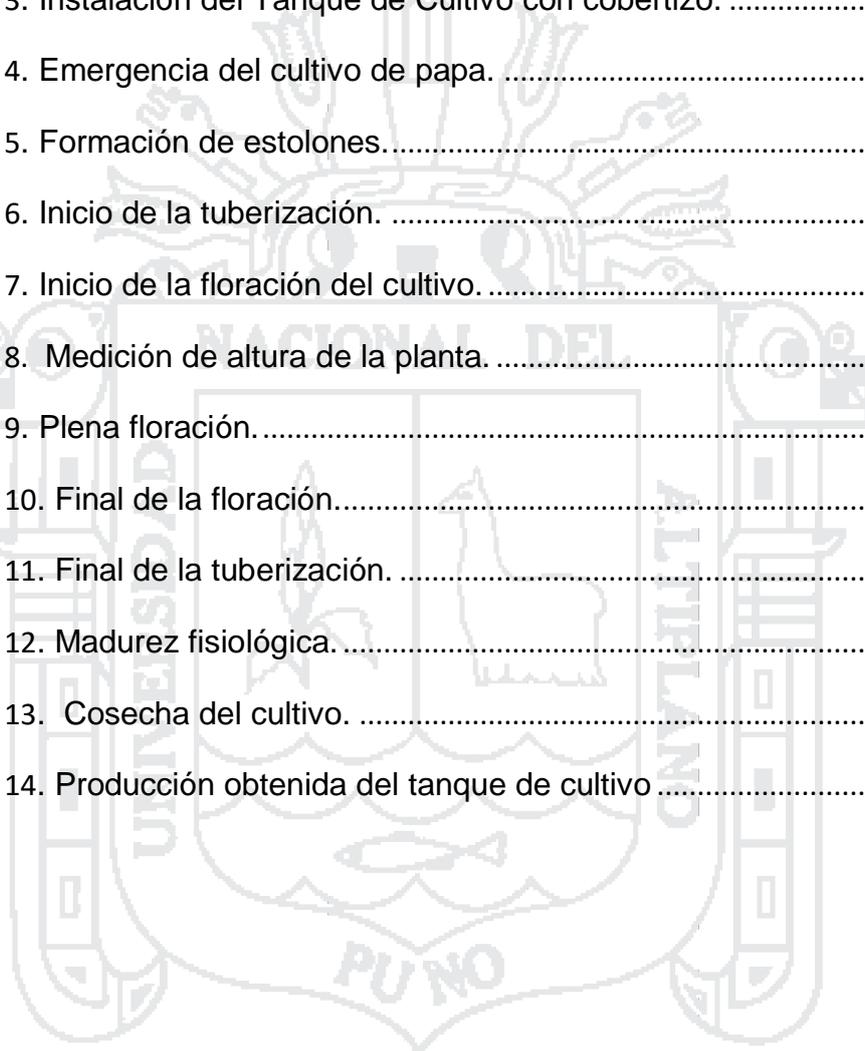
INDICE DE ANEXO

	Pag.
Anexo 1. ETC, ETP Y Kc determinados para cada día, mes y fase fenológica del cultivo de papa, Método del Lisímetro.....	90
Anexo 2. Resumen por fase fenológica de ETC, ETP, y Kc Método del lisímetro NFC. 2010 – 2011 CIP – Illpa.....	95
Anexo 3. Resumen por meses de ETC, ETP y Kc método de lisímetro NFC.	95
Anexo 4. Altura de planta (promedio) por fase fenológica del cultivo de papa SLNFC: CIP – Illpa.....	96
Anexo 5. Evaluación de la cosecha del cultivo de papa (TC)	96
Anexo 6. Evaluación de la cosecha del cultivo de papa variedad Sylver Sistema lisímetro NFC	97
Anexo 7. Determinación de la densidad aparente y humedad del suelo en el tanque de cultivo.	97
Anexo 8. Propiedades físicas del suelo.....	97
Anexo 9. Variables de tiempo (mensual) registrados en la estación meteorológica SENAMHI - Juliaca campaña agrícola 2010-2011.	98
Anexo 10. Evaporación diaria en mm, en la campaña agrícola 2010/2011	99
Anexo 11. Datos meteorológicos de temperaturas máximas (°C), de 10 años Illpa – Puno.....	100
Anexo 12. Datos meteorológicos de temperaturas mínima (°C), de 10 años Illpa – Puno.....	100
Anexo 13. Datos meteorológicos de temperaturas media mensual (°C), de 10 años Illpa – Puno.	101
Anexo 14. Promedios mensuales de horas y decimas de sol de 5 años	101
Anexo 15. Promedios mensuales de evaporación (2000-2008)	101
Anexo 16. Variable de tiempo registrado en la estación meteorológica INIA Illpa – Puno, series.	102
Anexo 17. Factor de evapotranspiración potencial (MF) en mm por meses.	102
Anexo 18. Duración máxima diaria media de las horas de insolación (N) en diferentes meses y latitudes.....	102

Anexo 19. Radiación extraterrestre (Ra) expresada en equivalente de evaporación en mm/día.	103
Anexo 20. Distribución de la Pe por Water Power Resource Service USA	103
Anexo 21. Precipitaciones pluviales en mm, en INIA Illpa – Puno (1999-2008) ..	103
Anexo 22. Precipitación probable (PPr) por la formula Wibull al 75% de probabilidad y precipitación Efectiva (PE).	104
Anexo 23. Calculo de la ETP ETC de papa por el método de Hargreaves en función a las temperaturas por meses.	104
Anexo 24. Calculo de la ETP ETC de papa por el método de Hargreaves en función a horas sol por meses.	104
Anexo 25. Calculo de la ETP ETC de papa por el método Serruto por meses.	105
Anexo 26. Demanda de agua (Da) por meses para el cultivo de papa Hargreaves en función a temperatura.	105
Anexo 27. Demanda de agua (Da) por meses para el cultivo de papa Hargreaves en función a horas sol.	105
Anexo 28. Demanda de agua (Da) por meses para el cultivo de papa método Serruto	106
Anexo 29. Demanda de agua (Da) por meses para el cultivo de papa por método de lisímetro	106
Anexo 30. Demanda de agua (Da en m ³ /ha) por fases fenológicas de papa para diferentes métodos de obtención de ETC.	106
Anexo 31. Valores de Kc recomendados por la FAO.	107
Anexo 32. Coeficiente Kp, para diferentes cubiertas y niveles de humedad relativa media y vientos durante las 24 horas.	107

INDICE DE FOTOGRAFIAS

	Pag.
Fotografía 1. Instalación del Lisímetro en el campo de cultivo.	108
Fotografía 2. Tanque de Cultivo instalado con sustrato de suelo.....	108
Fotografía 3. Instalación del Tanque de Cultivo con cobertizo.	109
Fotografía 4. Emergencia del cultivo de papa.	109
Fotografía 5. Formación de estolones.....	110
Fotografía 6. Inicio de la tuberización.	110
Fotografía 7. Inicio de la floración del cultivo.	111
Fotografía 8. Medición de altura de la planta.	111
Fotografía 9. Plena floración.....	112
Fotografía 10. Final de la floración.....	112
Fotografía 11. Final de la tuberización.	113
Fotografía 12. Madurez fisiológica.	113
Fotografía 13. Cosecha del cultivo.	114
Fotografía 14. Producción obtenida del tanque de cultivo.....	114



RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental Illpa - Puno de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicado en el distrito de Paucarcolla, provincia y región Puno, durante la campaña agrícola 2010-2011 cuyos objetivos fueron: Determinar la evapotranspiración, precisar el coeficiente de cultivo de (Kc) para las diferentes fases fenológicas y estimar la demanda neta de agua de riego. Para ello se utilizaron el método de lisímetro y tres métodos indirectos: Hargreaves en función a la temperatura, Hargreaves en función a horas sol y el método Serruto, en tanto para el cálculo de Kc método indirecto, se utilizó la metodología propuesta por la FAO en su publicación N° 24. El diseño experimental que se utilizó fue el Diseño Bloque Completo al Azar, en donde los métodos utilizados para determinar la ETC fueron los tratamientos y las fases fenológicas propuesta por la FAO se utilizaron como bloques, obteniendo un coeficiente de variabilidad como aceptable para este tipo de trabajo de investigación, para ello se realizó la prueba de significancia tukey a una probabilidad de 0.05 para corroborar los resultados obtenidos, puesto que el método de lisímetro fue estadísticamente superior que los otros métodos, por lo que puede considerarse como confiable el método directo para la localidad de Illpa – Puno.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones; la evapotranspiración del cultivo de papa está en función a su periodo vegetativo, siendo los valores de evapotranspiración diferentes; para el método de lisímetro con 610.76 mm de lámina hídrica; para los métodos de Hargreaves en función a la temperatura, en función a horas sol y Serruto, con 588.87, 429.81 y 579.42 mm de lámina hídrica respectivamente, siendo cercanos al método directo. El coeficiente de cultivo (Kc) para el cultivo de papa obtenido por el método del lisímetro, fue de 0.46 en la fase de emergencia siendo el valor mínimo, 0.96 para la formación de estolones, 1.27 a inicios de la tuberización, 1.41 a inicios de floración, alcanzando un valor máximo en la fase final de floración con un Kc de 1.8, a partir de ahí desciende con un Kc de 1.35 en la fase final de tuberización y por ultimo 0.96 en la fase de madurez fisiológica, haciendo una comparación con del método FAO, los resultados fueron similares frente a los valores asumidos a partir de la propuesta de FAO. En cuanto a la demanda neta de riego para la campaña agrícola por el método del lisímetro se obtuvo 338.36 mm de lámina hídrica y los más cercanos a este método son el de Hargreaves en función a la temperatura y Serruto con 316.46 y 307.41 respectivamente. El rendimiento promedio para este cultivo, con una demanda neta de 3383,56 m³/ha, por medio del lisímetro (Tipo Nivel Freático Constante) fue de 56007 Kg/Ha, con una evapotranspiración de 610.76 mm de lámina hídrica en el tanque de cultivo, atribuible el buen rendimiento a las condiciones favorables de los factores de producción que se dieron en la campaña agrícola, en especial a la disponibilidad de humedad del suelo aproximado a las condiciones de capacidad de campo.

Palabras clave: Coeficiente de cultivo, Demanda de agua, Evapotranspiración, Lisímetro y Papa.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la falta del recurso hídrico es un problema que se viene presentando a nivel mundial, debido principalmente a la contaminación del medio ambiente, teniendo en cuenta que el agua es un recurso natural que constituye un elemento fundamental para la vida y para la naturaleza, por otro lado, la irregular distribución de las precipitaciones pluviales y la poca disponibilidad de este recurso, viene causando problemas graves a la agricultura, puesto que es insuficiente y mal distribuida. Es por ello que es necesario conocer el uso eficiente del recurso agua.

En la región del altiplano y particularmente la región de Puno, la principal actividad es la agricultura y la ausencia de las precipitaciones pluviales que se presenta a inicios de la campaña agrícola, vienen afectando el normal desarrollo de los cultivos, disminuyendo la producción generando bajos rendimientos, ocasionando la demanda de alimentos, el cual afecta la seguridad alimentaria de la población, debido a la falta del agua,

La papa (*Solanum tuberosum* L.) presenta múltiples cualidades, como su gran capacidad de adaptación a las condiciones agroecológicas del altiplano Peruano-Boliviano, su excelente contenido de carbohidratos, proteínas y almidones; constituyendo un producto alimenticio insustituible y muy importante para la humanidad.

Es por eso la necesidad de conocer la evapotranspiración y la demanda neta de agua que requiere el cultivo de papa y el periodo vegetativo en que más necesita de este elemento para un uso eficiente y una planificación correcta del riego, proveyendo al cultivo la cantidad de agua necesaria para poder satisfacer plenamente sus necesidades, teniendo en cuenta que el exceso de agua provoca un lavado de minerales del suelo y la falta del agua genera un déficit hídrico en la planta, la demanda neta de agua es un dato muy importante para realizar proyectos de irrigaciones y de esta manera incrementar las fronteras agrícolas mediante riego complementario, por otro

lado nos permite sentar las bases para una planificación y operación del riego en cantidades suficientes y en el momento oportuno.

Sin embargo, al no conocer el verdadero valor del coeficiente de cultivo K_c , en la aplicación de sistemas de riego se toma como referencia, los valores recomendados en la publicación N° 24 de la FAO Doorembos y Pruitt (1982), sin tomar en cuenta el agro ecosistema de la zona y los factores climatológicos los que hacen variar la demanda neta del cultivo. Otro de los aspectos a considerar es que el cultivo de papa es muy exigente en cuanto al consumo de agua.

Razón por la cual se efectuó el presente trabajo de investigación planteando los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL.

Determinar la Evapotranspiración y el coeficiente de cultivo (K_c) en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) Var. Silver en el CIP-ILLPA-PUNO.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- 1) Determinar la evapotranspiración del cultivo (ET) de papa en el campo experimental por el método de lisímetro y por fórmulas empíricas en las diferentes fases fenológicas.
- 2) Fijar el coeficiente de cultivo (K_c) en el cultivo de papa por el método de lisímetro y la metodología FAO
- 3) Estimar la demanda de agua de riego en el cultivo de papa en condiciones del CIP - ILLPA.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 ANTECEDENTES

Coila (1981), realizó su investigación titulado “Uso Consuntivo del Cultivo de Papa (*Solanum andigena* juz et Buk), Variedad imilla negra”, obteniendo un resultado, por el método del lisímetro de 573.94 mm de lámina de agua. En tanto, Mamani (1989), en su trabajo de investigación titulada “Necesidad de agua para el cultivo de oca” (*Oxalis tuberosa* Mol), en el distrito de Puno, obtuvo un resultado de 350 a 452 mm de lámina de agua. A parte, Olivera (1997), en su estudio sobre “Determinación de Uso Consuntivo de la Avena y alfalfa, bajo condiciones climáticas del sector de riego Canteria” obtuvo los siguientes resultados, la demanda de agua para el cultivo de avena forrajera por el método del lisímetro que es de 333.92 mm de lámina hídrica y para la alfalfa es de 540.36 mm. Por otro lado, Ramirez C. (2001), en su trabajo de investigación “Determinación de la evapotranspiración en el cultivo de maca en Puno” obteniendo un resultado de 1068,37 mm de lámina hídrica para el método directo. Coaquira (2009), realizó el trabajo titulado “Determinación de las necesidades de agua en quinua” (*Chenopodium quinoa* Willd. Var. Salcedo INIA) en Puno, obteniéndose un resultado, por el método del lisímetro de 306.36 mm de lámina de agua.

2.2 MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL DEL CULTIVO DE PAPA

2.2.1 ORIGEN DEL CULTIVO DE PAPA

Cahuana y Arcos (1993), indican que ha quedado demostrado, que la papa es originaria de la región andina de América del Sur, entre el Perú (departamento de Puno y Cuzco), y en el norte de Bolivia; por la existencia de una gran diversidad genética de especies cultivadas y silvestres, así como por el número de evidencias citológicas (series poliploides); históricas (crónicas, ritos); arqueológicas (cerámicas, restos de chuño, granos de polen); lingüísticas (voces quechuas y aymaras) y botánicas (mecanismos evolutivos de especies). Señala que este centro no solo era de papa, sino también de muchos otros cultivos.

Brenes (2008), sostiene que la papa se inició como cultivo hace más de 7000 años, a orillas del Lago Titicaca en la frontera Perú y Bolivia, y fueron los indígenas del Altiplano Andino quienes se dieron la tarea de seleccionar cultivar muchas variedades y especies que hoy se conoce. Posterior a la conquista de América, la papa fue llevada a Europa por los españoles donde se le cultivaba como curiosidad en los jardines de los nobles muchos años después comenzó a ser utilizada como alimento. Gracias a sus múltiples usos y a su capacidad de adaptación a diferentes zonas agroclimatológicas su mejoramiento genético se aceleró en Europa, llegando a convertirse en uno de los principales alimentos no solo del viejo continente sino también del resto de la población mundial. Las papas cultivadas tienen muchas especies silvestres relacionadas, tal vez más que cualquier otro cultivo y todas pertenecen al género *Solanum* L. el cual es altamente variable y muy complejo. Este género es considerado como el más importante de la familia de las solanáceas, la cual se distribuye mundialmente.

2.2.2 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE PAPA

Zanabria y Benegas (1997), mencionan que la papa es uno de los alimentos más importantes para el hombre en términos de tonelaje total de la producción mundial, la papa se encuentra en el cuarto lugar después del trigo, arroz, y maíz a nivel mundial.

En el Perú se cultivan entre 220,000 a 260,000 Has. De papa dependiendo de las condiciones climatológicas y la disponibilidad de precio conveniente al productor, al área cultivada se distribuye bajo condiciones ecológicas y tecnológicas muy variables e incluye alrededor de 10 especies y un número elevado de variedades mejoradas y nativas.

La papa tiene una gran capacidad de adaptación a diferentes medios ecológicos, se cultiva desde el nivel del mar (costa) hasta los 4200 m.s.n.m. en los andes altos. Las áreas de mayor concentración de cultivo de papa se encuentran en la sierra con 95.3% mientras que en la costa y selva están únicamente el 4.3% y 0.4% respectivamente, el 86% del área cultivada en la

sierra se conduce en secano y tan solo el 14 % bajo sistema de riego lo que indica que la mayor parte de área de cultivo de papa en nuestro país depende del régimen de precipitaciones pluviales.

2.2.3 POSICIÓN TAXONÓMICA

Solano (2000), manifiesta que la ubicación taxonómica de la papa es como sigue.

Reino	:	Vegetal
Sub Reino	:	Phanerogamae
División	:	Espermaphyta
Sub División	:	Angiospermas
Clase	:	Dicotyledoneae
Sub Clase	:	Metharchychnamydae
Orden	:	Serophulariales
Familia	:	Solanaceae
Género	:	Solanum
Sub Genero	:	Pachistamanum
Sección	:	Petata
Sub Sección	:	Potatae
Serie	:	Tuberosa
Especie	:	<i>Solanum Tuberosum</i>

2.2.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Aldabe y Santiago (2006), mencionan que la papa es una planta peremne, por sus tubérculos, pero que se comporta como anual. La planta de papa puede llegar a producir frutos con semillas viables, pero la forma de propagación utilizada a nivel de la producción comercial es la vegetativa. A partir del tubérculo o trozos de tubérculos se instala nuevos cultivos.

En una planta de papa por encima del suelo encontramos los siguientes órganos.

- Tallos y hojas: Que constituyen los órganos de fotosíntesis de la planta. De su tamaño y actividad depende la capacidad de la planta para la producción diaria y de su duración del tiempo durante el cual están creciendo los tubérculos.
- Flores y frutos: Que solo tiene importancia en el mejoramiento genético para la creación de nuevas variedades, pues en variedades comerciales se utiliza tubérculos medianos o trozos de tubérculos más grandes como semilla.

Y por debajo del suelo tenemos:

- Estolones: Que son tallos laterales que se forman en los nudos que crecen debajo del suelo, con crecimiento diageotropico, entrenudos largos y cuya punta termina en un gancho. Cuando se desarrollan los tubérculos, lo hacen desde la región subapical del estolón.
- Tubérculos: Que son tallos modificados para el almacenamiento de reservas, principalmente almidón. Tienen entrenudos muy cortos y hojas escasamente desarrolladas. Los entrenudos son mucho más grandes en diámetro que en largo. El “ojo” del tubérculo es la ceja sosteniendo una yema lateral cuyos entrenudos no se han desarrollado.
- Sistema radicular: Que son raíces adventicias, fasciculadas, que nacen desde la base de los brotes y a nivel de los nudos subterráneos, responsable de la absorción del agua y nutrientes desde el suelo y del anclaje de la planta.

2.2.5 FENOLOGIA DEL CULTIVO

Villapando y Ariel (1993), mencionan que es una rama de la agrometeorología que trata de las relaciones entre las condiciones climatológicas y los fenómenos biológicos periódicos que son: brotamiento de las primeras hojas, brotamiento de las yemas, floración, etc. Estos fenómenos se les denominan fases fenológicas.

Las principales variables que controla la fenología de los cultivos son: fecha de siembra, duración del sol durante el día, temperatura, suministro de humedad componente genético de la planta y el manejo del cultivo, así como:

Siembra: Fecha en que realiza la siembra.

Emergencia: Fecha en que se aparece la primera hoja sobre la superficie del suelo.

Floración. Fecha que aparece las primeras flores.

Madurez. Cuando el follaje se cae o se torna amarillento entre dos tercios y tres cuartas partes de los tubérculos han completado la etapa de la tuberización y son de primera categoría comercial.

Lescano (1994), menciona que para fines de determinar las fases fenológicas es necesario considerar el inicio y la intensidad de brotamiento del tubérculo semilla, lo cual ocurre en condiciones de Perú entre los meses de agosto a octubre dependiendo de la variedad, manejo de la semilla, las fases son las siguientes:

Emergencia: Es cuando la planta ha germinado del suelo y ocurre normalmente entre los 25 a 35 días de la siembra. En esta fase la planta se convierte en muy susceptible al ataque de epítrix gusano de tierra por la falta de humedad en el suelo.

Inicio de formación de estolones: Se considera cuando las yemas de la parte sub terránea de los tallos inician su crecimiento horizontal en forma de ramificaciones, esto ocurre a los 15 a 20 días de la emergencia.

Inicio de tuberización: Esta fase se caracteriza por el agrandamiento del extremo distal de los primeros estolones formados y ocurre entre los 35 a 40 días de la emergencia, la producción de las plantas dependerá de la fecha de inicio de la tuberización como llenado de tubérculo.

Inicio de floración: Se considera cuando la corola de la flor de la inflorescencia, se abre completamente esto ocurre entre los 20 a 25 días.

Final de la floración: Se considera que la última flor de la planta inicie su marchitamiento y secado. Esto ocurre aproximadamente entre los 55 a 85 días de la emergencia

Final de tuberización. Es cuando en último estolón de la planta inicie su engrosamiento en su extremo distal.

Madurez fisiológica. Ocurre aproximadamente de los 135 a 145 días después de la emergencia de la planta, se caracteriza por el cambio de color de las hojas.

2.2.6 VALOR NUTRICIONAL

Cuadro 1. Valor nutricional de la papa.

Composición y Valor nutritivo en 100 gr. de porción comestible	
Energía	103
Agua g.	73.2
Proteína g.	2
Carbohidratos g.	23.5
Fibra g.	0.7
Ceniza g.	1.1
Calcio mg.	6
Hierro mg.	0.4
Tianina mg.	0.07
Riboflavina mg.	0.06

Fuente: Brenes (2008).

2.2.7 SUELO Y CLIMA

Cahuana y Arcos (1993), indican que la papa se adapta fácilmente a una gran diversidad de climas y suelos, desarrollándose mejor en zonas templadas y frías, se cultiva desde pocos metros sobre el nivel del mar hasta en alturas que sobrepasan los 4000 m. s. n. m., tal como ocurre con las papas oriundo del altiplano puneño.

Parson (1989), menciona que la papa crece en casi todos los tipos de suelo, excluyendo suelos húmedos por que la semilla se pudre.

El suelo debe proveer de agua, nutrientes y oxígeno de las raíces. Además, la estructura del suelo debe facilitar las labores de preparación de la tierra, del manejo del cultivo y de la cosecha.

Las condiciones del suelo que se prefiere para el cultivo de papa son las siguientes:

- La profundidad de la capa de tierra cultivable debe ser, por lo menos, de 35 cm. Para que las raíces y los tubérculos puedan desarrollarse adecuadamente.
- La granulación debe ser relativamente fácil. La cama de semillas debe tener una estructura granulada para ayudar a la filtración del agua hacia las raíces. Además, la tierra granulada facilita la cosecha de los tubérculos.
- La humedad debe ser adecuada. La papa requiere un suelo húmedo y a la vez una buena aireación. Un ambiente húmedo hace que la papa se pudra, y un ambiente seco detiene el crecimiento.
- La acidez del suelo o pH debe estar entre 5.5 - 7.
- La cantidad de sales debe ser bajo.
- La cantidad de materia orgánica debe ser superior a 2% como mínimo, para que el suelo no forme costras.

2.2.8 PREPARACION DEL TERRENO

Cahuana y Arcos (1993), manifiestan que la preparación del suelo se debe realizar en los meses de marzo y abril cuando el suelo entra en un periodo de descanso. Los meses de mayo y junio después de la cosecha del cultivo anterior se considera como suelos de rotación sucesiva.

Naranjo (1991), indica que la aradura se debe realizar a una profundidad de 25 a 30 cm. Haciendo uso de maquinaria agrícola en zonas donde la topografía y la extensión del terreno son accesibles y con tracción animal (yunta) en laderas, pies de laderas y en pequeñas parcelas.

La papa requiere suelos profundos, de textura franco arenoso, de buen nivel de fertilidad, con pH de 5.6 a 6.5 ligeramente ácido y prospera inclusive a pH de 4.5 a 8.5.

2.2.9 PLANTACION

Parson (1989), menciona que la época de siembra se realiza de la siguiente forma: la primera durante los meses de mayo y junio y la segunda

es recomendable sembrar en noviembre para aprovechar bien las lluvias y evitar la época de heladas; la cantidad de semilla utilizada es de 1300 a 1500 kg de semilla por hectárea; se puede realizar de forma manual y semi-mecanizado. El ancho de los surcos varía entre 0.80 a 1.00 metros entre surcos. Mientras más inclinado es el suelo, más amplia debe ser la distancia entre los surcos. Se coloca una semilla (de aproximadamente 60 gr.) en cada sitio, a la distancia de un pie o sea a 30 centímetros una de otra. Los surcos sembrados pueden taparse con yunta o con azadón.

2.2.10 ABONAMIENTO Y FERTILIZACIÓN

Naranjo (1991), señala que la incorporación de los abonos orgánicos se debe efectuar en su debida oportunidad, 2 a 3 meses antes de la siembra para conseguir la descomposición de la materia orgánica y una adecuada liberación de los nutrientes. Esta incorporación se realiza antes de la siembra para favorecer la humificación y evitar la toxicidad por el efecto de la fermentación.

Según Rodríguez (2000), el abonamiento y la fertilización son llamados así a toda sustancia que contienen elementos útiles para la alimentación, crecimiento y fructificación de las plantas, al ser aplicados al suelo restituyan la fertilidad.

Se recomienda la siguiente Formulación:

Cuadro 2. Abonamiento y fertilización para el cultivo de papa.

Item.	N	P	K
Costa:	120 – 130	100-200	80-200
Sierra:	120 - 200	80-200	90-120
Puno:	150	120	80

Fuente: Rodríguez (2000).

2.2.11 LABORES CULTURALES

a) Aporque

Naranjo (1991), precisa que se debe realizar dos aporques durante el ciclo del cultivo de la planta, el primero llamado medio aporque que se efectúa de los 60 a 80 días, el segundo aporque propiamente dicho que se realiza a los a los 90 días o al inicio de la floración, labores que se realizan con el objetivo de dar mayor sostén a la planta y favorecer la formación de tubérculos, dentro del suelo, para la cual se incorpora una capa de suelo.

b) Deshierbo

Naranjo (1991), menciona que se debe realizar cada vez que se presenten las malezas, esto es, con el propósito de mantener el campo de cultivo limpio, esta labor se hace en forma manual o también en forma mecanizada, así mismo se puede utilizar herbicidas que se encuentren a disposición de los agricultores.

2.3 NECESIDAD DE AGUA DE LOS CULTIVOS

2.3.1 DEFINICION

Serruto (2003), indica que el índice o cantidad de consumo de agua por los cultivos y las características de retención del agua, es fundamental para diseñar el suministro de agua y programar el proyecto de riego.

Además, manifiesta que las cantidades relativas de agua retirada desde el suelo por el proceso de evapotranspiración, son de gran interés, especialmente en regiones de lluvias limitadas, siendo necesaria la determinación de la cantidad de agua que se requiere para el riego de los cultivos bajo diferentes condiciones de suelo, abastecimiento de agua, intensidad del cultivo, etc.

Vásquez y Vásquez (1997), manifiestan que la evapotranspiración actual o real (ETA) es la cantidad de agua que requiere la planta para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Sin embargo, dentro de su ambiente, la planta no se encuentra aislado, sino que forma parte de un microsistema, sujeto a “entradas” y “salidas”; y, por lo tanto, susceptible de efectuar un

balance hídrico, en el que las entradas están dadas por todos los aportes hídricos al suelo y la “salida por el proceso de agotamiento de la humedad del suelo, ocasionado por la evapotranspiración actual o real.

2.3.2 EVAPORACION

De Santa Olalla (2005), menciona que es el proceso por el cual el agua cambia de fase líquida a fase de vapor (vaporización) y pasa desde la superficie evaporante a la atmósfera. El agua puede evaporarse desde una gran variedad de superficies tales como suelo, lagos y ríos, y vegetación húmeda.

Monsalve (1999), define la evaporación como un proceso por el cual el agua líquida pasa al estado de vapor en condiciones naturales. Que simultáneamente con el escape de partículas de agua hacia la atmósfera se dé en fenómeno inverso partículas de agua en la fase gaseosa que existen en la atmósfera chocan con la superficie de separación entre estado líquido y gaseoso, son captados por el cuerpo de agua evaporante.

Vásquez y Vásquez (1997), indican que es el proceso físico mediante el cual, el agua cambia de estado líquido a vapor. La evaporación constituye una de las fases del ciclo hidrológico, y está influenciado por diversos factores entre los cuales se tiene: viento, temperatura, humedad relativa, radiación, composición y color del suelo.

Reyes (1992), define la evaporación como el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor mediante un proceso específicamente físico; la velocidad de evaporación es en función del estado de la atmósfera y las vecindades de la superficie evaporante (agua, nieve, hielo, etc.), que estos están en función de muchos factores

Aparicio (2004), menciona que es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones en el suelo, en las capas cercanas a su superficie, ha estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera.

La evaporación se produce básicamente por el aumento de la energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercana a la superficie de un suelo húmedo a una masa de agua, producida por la radiación solar, el viento y las diferencias en presión de vapor.

2.3.3 TRANSPIRACION

De Santa Olalla (2005), menciona que consiste en la vaporización de agua líquida contenida en los tejidos de la planta y en el transporte del vapor de agua a la atmosfera.

Castellvi (1996), expresa que está relacionado con la cantidad de materia seca la cantidad de agua consumida siendo la relación entre la biomasa y agua transpirada aproximadamente tipo lineal dependiendo de la especie y del déficit de presión de vapor de esta manera se estima la cantidad y biomasa producida.

Monsalve (1999), define que es la perdida de agua hacia la atmosfera en forma de vapor, dependiente de las acciones físicas y fisiológicas de los vegetales a través de las (estomas) a esto se le define como fenómenos de evaporación.

Vásquez y Vásquez (1997), señalan que es un fenómeno por el cual el agua en estado de vapor se mueve desde el mesófilo de la planta hacia la atmosfera. Es decir. El flujo de agua de la planta a la atmosfera ocurre a través de los estomas o de las otras células epidérmicas, a través de la cutícula de la planta. Puede considerarse como una pérdida de agua de los tejidos de las plantas, pero no es estrictamente así, puesto que se desempeña una función refrigerante de las plantas.

Reyes (1992), define que es un fenómeno primordial al igual que la evaporación con la diferencia de que la superficie evaporante por donde escapan las moléculas de agua es principal mente las hojas de las plantas; los factores que influyen en la transpiración son:

- El poder evaporante de la atmosfera (temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, etc.)
- Las aberturas de los estomas favorecidos por la luz y el calor; en consecuencia depende de la radiación solar y de la insolación.
- Humedad del suelo existente.

2.3.4 EVAPOTRANSPIRACION

De Santa Olalla (2005), manifiesta que en el "ICID Multilingual Dictionary, define que la evapotranspiración es la pérdida total de agua de una cobertura vegetal, bajo forma de vapor a través de la evapotranspiración durante un intervalo de tiempo dado".

La evaporación y la transpiración son procesos físicos muy similares, mediante los cuales, el agua pasa del estado líquido al de vapor que es la forma en que escapa a la atmósfera, diferenciándose entre ellos únicamente en el tipo de la superficie evaporante.

También, indica que la transpiración aumenta a medida que crece y se desarrolla la cubierta vegetal y en consecuencia aumenta el índice y el grado de la cobertura de la superficie por aquella de tal manera que cuando la cobertura es total, la transpiración es la fuente más principal de la pérdida de agua, pudiendo estar entre el 90 a 95 % la evapotranspiración (ET).

Hargreaves (1975), indica que la que evapotranspiración es la cantidad de agua evaporada y transpirada por una cobertura de pequeñas plantas en estado activo de crecimiento y con un suministro continuo y adecuado de humedad.

Serruto (2003), menciona que el concepto de evapotranspiración involucra los fenómenos de transpiración de las plantas y la evaporación del suelo. Lo anterior, más el agua utilizada para la formación de los tejidos de las plantas, se le llama el uso consuntivo. En general, el agua en las plantas que han sido utilizados está entre 2 a 5 %.

García (1992), señala que la evapotranspiración es la pérdida de agua hacia la atmósfera por evaporación desde cualquier superficie evaporante (suelo húmedo, superficie de agua, etc.) y transpiración de la vegetación existente en dicha superficie o medio. Como constituyente la cantidad de agua que pasa hacia la atmósfera desde la superficie terrestre, es importante para el desarrollo del balance hídrico.

2.3.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

Hargreaves (1975), menciona que es la cantidad de agua evaporada y transpirada por una cobertura de pequeñas plantas en estado activo de crecimiento y con suministro continuo y adecuado de humedad, para la estimación se consideran los factores climáticos dentro de los cuales, los más importantes son: La radiación incidente, temperatura ambiental y humedad relativa.

Los factores de cultivo se utilizan para calcular la evapotranspiración real (ETC) de la evapotranspiración potencial (ETP) y son influenciadas por la etapa de crecimiento, porcentaje de cobertura de la planta y total de la superficie foliar.

García (1992), define en términos de cultivo como la pérdida de agua de extensos campos de cultivos en su estado de crecimiento y desarrollo intenso, con un suelo sin déficit de agua o sea temiendo el suelo un potencial matricial próximo a - 0.06 Atm. (- 62 cm de columna anual),

Vásquez y Chang (1992), mencionan que es la cantidad de agua evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño corto (generalmente pastos), que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua.

Existen varios métodos para determinar la evapotranspiración potencial. Los más comunes son las siguientes:

- Por muestreo por humedad del suelo.

- Lisímetro
- Tanque de evaporación.
- Balance de agua.
- Métodos o fórmulas empíricas (Hargreaves, Penman, Blaney – criddle, Jensen – Haise)

2.3.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN ACTUAL O REAL (ETC)

Hargreaves (1975), manifiesta que la evapotranspiración real, es el uso potencial del agua bajo condiciones favorables y es equivalente a ET (cultivo), por los cultivos agrícolas incluyendo la evaporación directa de la humedad del suelo y de las plantas húmedas por las hojas.

García (1992), menciona que la evapotranspiración actual o real ocurre desde superficies húmedas con vegetación, considerando la evaporación desde suelos húmedos y la transpiración a través de las plantas. El conocimiento de este parámetro es muy importante para la planta conocido como índice de rendimiento vegetativo

Monsalve (1999), indica que es un conjunto de fenómenos de evaporación y de transpiración siendo la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, en las condiciones reinantes atmosféricas.

Vásquez y Chang (1992), indican que es la tasa de evaporación y transpiración de un cultivo exento de enfermedades, que crece en un campo extenso (uno o más hectáreas) en condiciones óptimas de suelo, fertilidad y suministro de agua.

La evapotranspiración actual es llamada también uso consuntivo. Se calcula de la siguiente manera:

$$ETc = Kc \times ETP$$

Dónde:

ETc : Evapotranspiración real o actual del cultivo (mm ó cm)

Kc : Coeficiente que tiene en cuenta el efecto de relación agua-planta

ETP : Evapotranspiración potencial (mm ó cm).

2.3.7 USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS

Luque (1981), señala como uso consuntivo (U.C.) a la cantidad de agua gastada o consumida en un área dada, en unidad de tiempo, en la evaporación del suelo, la transpiración de la cubierta vegetal y para la formación de los tejidos vegetales, dentro de las condiciones que fija al medio estudiado. Pero por la cantidad empleada de agua en la formación de los tejidos vegetales en realidad es muy pequeña si se le compara con los volúmenes gastados en la evapotranspiración, muchos autores relacionan directamente el concepto de uso consuntivo con la evapotranspiración, en especial para efectos de proyectos de riego.

Gurovich (1999), sostiene como la cantidad de agua utilizada por todo el cultivo, vegetación natural en forma de tejidos a través de las hojas y en la evaporación directa desde la superficie del suelo más la cantidad de agua que se reintegra a la atmósfera debido a la evaporación que intercepta la superficie foliar de la planta, es el volumen efectivo de agua transmitido a la atmósfera por el cultivo a una magnitud determinada de un sistema suelo-planta-clima.

2.3.8 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

De Santa Olalla (2005), sustenta que después de una lluvia o de un riego, la interface entre el sistema terreno-planta y la atmósfera está saturada, y evidentemente la transpiración y la evaporación están en el valor potencial, siendo función de muchos factores reunidos en la siguiente expresión:

$$ET = f(c, s, v, f, g) Q \text{ no limitante}$$

Dónde:

c : Factores climatológicos (radiación, temperatura, y humedad del aire, velocidad del viento, etc.)

s : Factores edáficos (conductividad hídrica, espesor del estrato activo, calor superficial, capacidad hídrica, rugosidad de la superficie, etc.)

v : Factores de la planta (conductividad hídrica de los tejidos, estructura de la parte epigea, profundidad y densidad del sistema radical.)

f : Factores fitotécnicos (laboreo del suelo, rotación de cultivos, orientación de las líneas de siembra, densidad poblacional, tipo e intensidad de la poda, etc.)

g : Factores geográficos (extensión del área, variación de las características climáticas en el borde del área considerada, etc.)

Q : Agua disponible en la interface con la atmósfera, cuyo origen es la lluvia, el riego y/o aporte hídrico de la capa freática.

Serruto (2003), manifiesta los factores que influyen directamente sobre la evapotranspiración, se clasifica de la siguiente manera:

a) Factores climáticos:

- Radiación solar
- Temperatura del aire
- Viento
- Humedad relativa

b) Condiciones del suelo:

- Humedad del suelo
- Salinidad: tensión osmótica
- Fertilidad del suelo

c) Características de las plantas:

- Superficie foliar
- Sistema radicular
- Color de las hojas y otros

2.3.9 COEFICIENTE DEL CULTIVO (Kc)

García (1992), señala que este es un parámetro que permite estimar la evapotranspiración real máxima de un cultivo en función de la evapotranspiración potencial o de referencia, es decir, el Kc. permite conocer las demandas hídricas de un cultivo en ausencia de lisímetros.

Vásquez y Chang (1992), mencionan que el coeficiente de cultivo es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se requiere evaluar su consumo de agua.

Los factores que afectan los valores de Kc., son principalmente las características del cultivo, fecha de siembra, ritmo de desarrollo del cultivo, duración del periodo vegetativo, condiciones climáticas y la frecuencia de lluvia o riego, especialmente durante la primera fase de crecimiento.

La metodología propuesta por la FAO en su publicación N° 24 (Doorembos y Pruitt, 1982), el coeficiente de Kc. de cada cultivo, tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo, y que son las siguientes:

- A. Fase inicial: Fase 1^o.- Comprende el periodo de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta o nada por el cultivo. desde la siembra al 10 % de la cobertura vegetal.
- B. Fase de desarrollo del cultivo: Fase 2^o.- Comprende desde el final de la fase inicial hasta que se llegue a una cobertura sombreada efectiva completa del orden del 70 a 80 %.

- C. Fase media del periodo (maduración): Fase 3^o.- Comprende desde que se obtiene la cobertura efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración o caída de hojas.
- D. Fase final del periodo vegetativo (cosecha): Fase 4^o.- Comprende desde la final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o cosecha.

Gurovich (1999), define como un coeficiente de cultivo la relación entre la evaporación de un cultivo específico y la evaporación potencial del cultivo de un periodo de crecimiento de una etapa “fenológica” que es una evolución de una curva sigmoïdal hasta llegar a un valor máximo.

2.3.10 LISIMETRO

De Santa Olalla (2005), indica que el término “Lisímetro” tiene sus raíces etimológicas de los vocablos griegos Lysis y Metro, que significan disolver y medir respectivamente, dada la versatilidad de los lisímetros no existe definición alguna que por muy descriptiva que sea, tenga validez universal y abarque todas las formas posibles de su utilización. Los evapotranspirómetros son aquellos recipientes de suelo y vegetación, por medio de las cuales el agua perdida en el sistema se mide mediante un simple balance de entradas y salidas o por diferencia de peso.

García (1992), señala que son dispositivos formados por un tanque con un área de 4.00 m² pudiendo ser hasta 10.00 m², su profundidad depende del cultivo, más lo ideal es de 1.20 m sobre todo para cultivos anuales, al llenarse el recipiente se indica con una capa de cascajo, arena fina, luego es colocado el suelo obedeciendo las capas de perfil del mismo, en el tanque así construido nos permite a conocer la evapotranspiración real, en el caso que no exista restricción de humedad, constituye la evapotranspiración máxima.

Luque (1981), indica que los lisímetros consisten esencialmente en unos tanques calibrados, algunos de gran capacidad, dentro de las cuales se introduce la muestra de suelo, sobre la cual se desarrolla la cubierta vegetal.

El objetivo de estos aparatos es efectuar el balance de “entradas y salidas de humedad” para luego determinar la fracción correspondiente a la evapotranspiración.

En el caso de incorporación de agua al sistema mediante el acceso capilar por aporte de tipo freático, existen aparatos como el “evapotranspirómetro” de Thorntiwaite que trabaja a nivel constante con un manto freático artificial situado generalmente a 0.50 m de la superficie del suelo, provisto de una red de tubos.

Pacheco y Alonzo (1995), indican que los tanques o lisímetros son equipos que se usan para la determinación de la evaporación de un suelo desnudo o la evapotranspiración de un determinado cultivo, en este diseño de impermeabilidad se debe colocar los horizontes de suelo en la misma disposición natural del suelo, esto permite un adecuado crecimiento radicular, estos se clasifican en:

- a) Lisímetros de drenaje; en ellos se miden diariamente el agua agregada y la drenada y por diferencia se lectura, la evapotranspiración.
- b) Lisímetros de pesada; diariamente se pesa el conjunto de suelos, plantas y agua junto con el tanque, y por diferencia de pesada con el día anterior se obtiene la evapotranspiración.
- c) Lisímetros de compensación; automáticamente por un sistema de vasos comunicantes se compensa el agua que es gastada en el tanque, manteniéndose constante una lámina de agua que, a determinada profundidad, según el suelo y cultivo abastece por capilaridad a las plantas.

2.4 RELACION: SUELO- AGUA- PLANTA

2.4.1 RELACION SUELO- AGUA

Pizarro (1996), hace mención que el suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas y es el medio en que se almacena el agua y el oxígeno que absorben las raíces, la fracción coloidal interviene en los

fenómenos de intercambio de cationes y constituye un depósito de nutrientes. Además, en suelo contiene una población microbiana y pequeños animales como insectos, nematodos, etc; cuya actividad afecta a las propiedades físicas y químicas del suelo. De todas esas funciones, las que más interesan a efectos de riego son, naturalmente, las relaciones de suelo – agua.

2.4.2 RELACION AGUA PLANTA

Pizarro (1996), indica que el agua es el principal componente de las plantas, en algunos de cuyos órganos representan más del 90 % en peso. Actúa como disolvente y medio de transporte de gases, minerales otras sustancias esenciales para la vida vegetal y es así mismo un reactivo de procesos fundamentales, como la fotosíntesis. Pero desde el punto de vista de la tecnología de riego lo que interesa es conocer el movimiento del agua en el sistema suelo – planta – atmosfera y sobre todo dos cuestiones prácticas; el momento óptimo de riego y las necesidades hídricas de los cultivos.

2.5 COEFICIENTES HIDRICAS DEL SUELO PARA LAS PLANTAS

2.5.1 CAPACIDAD DE CAMPO (CC)

De Santa Olalla (2005), menciona que es la cantidad de agua que queda en el suelo después de que un exceso de agua ha drenado y que ha disminuido de forma importante el movimiento de profundidad, lo cual tiene lugar entre 2 y 3 días después de una lluvia o del riego en un suelo con textura y estructura uniforme. Es el contenido de agua del suelo a una tensión de 0.33 bar.

Serruto (2003), señala que es denominada también capacidad hídrica, capacidad normal de humedad, capacidad capilar o límite superior de agua disponible, es la cantidad de agua retenida en el suelo después de que drena el exceso de agua gravitacional y después de que el flujo de agua prácticamente disminuye, esto se logra después de un tiempo de aplicación de agua dependiendo de las características físicas y químicas del suelo.

Pizarro (1996), manifiesta que está a capacidad de campo cuando después de un drenaje, llega un momento en que el suelo no pierde más agua, en este estado los poros más pequeños retienen el agua contra la fuerza de gravedad y los macro poros están ocupadas de aire.

2.5.2 PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP)

García (1992), denomina que es el límite inferior de la humedad, en el cual la reserva de agua en el suelo está en el fin o se agotó, este punto es difícil de ser determinado debido a que involucra la conductividad hidráulica del suelo bien seco.

Pizarro (1996), indica que el punto de marchitez se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible, que depende del suelo, condiciones meteorológicas, densidad de raíces, etc.

Vásquez y Chang (1992), indican que la cantidad de agua disponible en el suelo a ser utilizada por las plantas, está comprendida entre el rango de humedad a capacidad de campo (CC 0.33 bares) y punto de marchitez permanente (PMP 5 bares), si se mantuviera la humedad del suelo a un nivel mayor que la CC, existe el peligro de que la falta de aire en el suelo sea un factor limitante para el normal desarrollo de las plantas. Mientras que, a niveles de humedad cercanos al punto de marchitez permanente, producirá daños irreversibles al cultivo, en el ámbito fisiológico de no poder en la parte aérea un potencial hídrico más negativo.

La humedad aprovechable total (HAT), es la diferencia que existe entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (θ_{CC}) y el punto de marchitez permanente (θ_{PMP}).

La expresión matemática de la humedad aprovechable total del suelo se da por la relación:

$$HAT = \frac{(\Theta_{CC} - \Theta_{PMP}) * Prof.}{100}$$

Dónde:

HAT : Humedad aprovechable total.

Θ_{CC} : de humedad del suelo a capacidad de campo.

Θ_{PMP} : Contenido de humedad del suelo a punto de marchitez permanente.

Prof. : Profundidad del suelo.

2.6 PRECIPITACIÓN EFECTIVA (PE)

Vásquez y Chang (1992), mencionan que durante su almacenamiento hídrico del reservorio "suelo", la precipitación pluvial constituye un alto porcentaje (en algunos casos total) del contenido de agua en el suelo; pero parte de la lluvia que se dispone la planta para su desarrollo es únicamente una fracción de ésta, la otra parte se pierde por escorrentía y por percolación profunda o evaporación. Indicando también que para su determinación se utiliza el siguiente método:

Método Water Power Resources Service (WPRS).

Dado que la precipitación es una variable aleatoria, conviene analizar la lluvia total, probabilísticamente, con el objetivo de determinar el valor probable de la precipitación que cae; se utilizara la fórmula de Weibull, cuya expresión matemática es:

$$f = (m/N + 1) * 100$$

Dónde:

f : Frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

m : Valor de posición de lluvia ordenada en forma creciente.

N : Número total de valores de precipitación mensual.

2.7 DEMANDA DE AGUA O NECESIDAD DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

Vásquez y Chang (1992), indican que es la cantidad de agua que requiere la planta para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Sin embargo, dentro de su ambiente, la planta no se encuentra aislada si no que forma parte de un microsistema, sujeto a “entradas” y “salidas”, por lo tanto, susceptible de efectuar un balance hídrico, en el que las entradas están dadas por todos los aportes hídricos al suelo y la “salida” por el proceso de agotamiento de la humedad del suelo, ocasionado por la evapotranspiración actual (ETC).

El balance se sintetiza en:

$$Da = ETC - (PE + CA + N)$$

Dónde:

Da : Necesidad de riego o demanda de agua de los cultivos para el periodo considerado (mm).

ETC : Evapotranspiración real o actual (mm).

PE : Precipitación efectiva (mm).

CA : Diferencia de lámina de la capacidad de almacenamiento del suelo inicial y final del periodo considerado (mm).

N : Aporte eventual del nivel freático (mm).

El proceso de agotamiento de la humedad del suelo está dado por la evapotranspiración actual (ETC) y el proceso de contribución hídrica, por la suma de PE, CA y N.

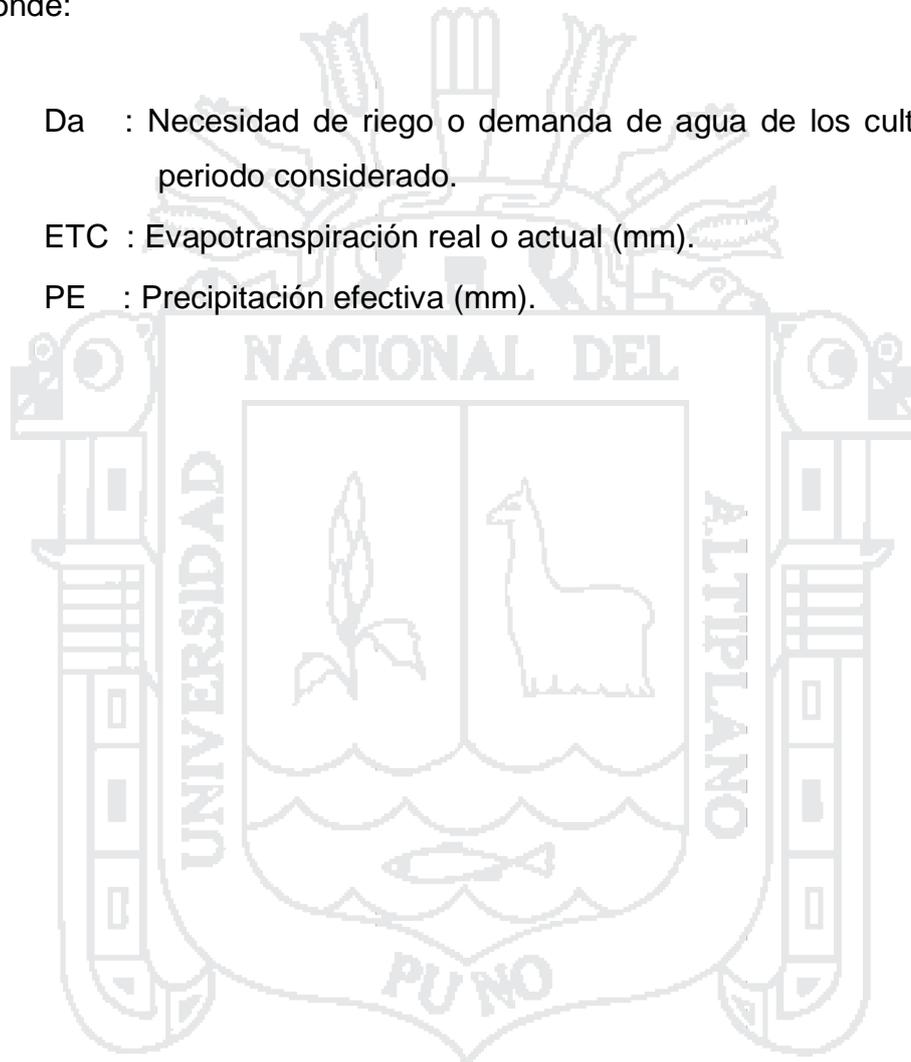
El valor de N se considera igual a cero, tanto para condiciones donde no exista influencia del nivel freático, así como en aquellas situaciones donde se pueda controlar la ascensión capilar del nivel freático, mediante un inadecuado sistema de drenaje, capaz de evitar daños físicos al sistema radicular de la planta. El valor de CA, también se encuentra cero a efectos de

planificación de proyectos de irrigación, el objetivo es conocer la demanda de agua total del proyecto; por lo tanto, la ecuación queda expresada de la siguiente manera:

$$Da = ETC - PE$$

Dónde:

- Da : Necesidad de riego o demanda de agua de los cultivos para el periodo considerado.
- ETC : Evapotranspiración real o actual (mm).
- PE : Precipitación efectiva (mm).



III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACION DEL CAMPO EXPERIMENTAL

El trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación y Producción Illpa (CIP ILLPA) de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, localizado al costado oeste de la carretera asfaltada Puno – Juliaca, en el kilómetro 19, desvío hacia las ruinas de Sillustani, que se encuentra ubicado en:

Región : Puno

Provincia : Puno

Distrito : Paucarcolla

Coordenadas geográficas:

Latitud Sur : 15° 42' 38.02"

Longitud Oeste : 70° 04' 54.07"

Altitud : 3822 m.s.n.m.

El CIP Illpa limita con:

- ✓ Por el Este con el sector Cancharani Pampa, Pucamayo Pampa, en la carretera Puno-Juliaca.
- ✓ Por el oeste con la comunidad campesina Yanico Rumini Mocco.
- ✓ Por el Norte con el Instituto Nacional de Innovación Agraria Illpa por medio del río Illpa.
- ✓ Por el Sur con la comunidad campesina Alianza Chali y parcelas de pequeños productores.

3.2 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Los datos meteorológicos registrados en la campaña agrícola 2010 – 2011, fueron utilizados para observar el comportamiento climático, durante el desarrollo del cultivo de papa en dicha campaña, además de realizar una comparación con el promedio de 10 años (1999 – 2008), las informaciones señaladas fueron proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI – Puno y por el Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA – ILLPA – Puno.

Cuadro 3. Régimen térmico, pluviométrico y evaporación mensual, campaña agrícola 2010 – 2011.

AÑO	MES	Temperatura del aire (°C)				Precipitación pluvial (mm) total mensual	Evaporación (mm) total
		Max.	Min.	Med.	Osc.		
2010	NOV	21,1	-0,3	10,4	21,4	19,9	184,1
	DIC	18,3	3,3	10,8	15	98,6	129,2
	ENE	18,2	4,4	11,3	13,8	49,2	139,4
2011	FEB	15,8	5,4	10,6	10,4	184	93,7
	MAR	16,3	4,4	10,4	11,9	71,8	92,9
	ABR	17,8	1,1	9,4	16,7	12,7	96,2

Fuente: SENAMHI Puno.

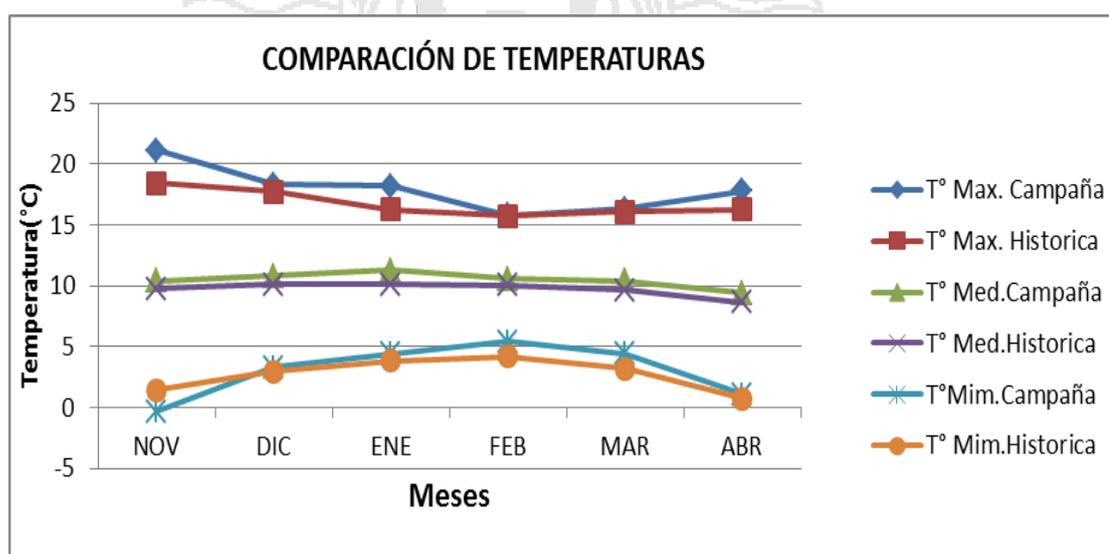
Cuadro 4. Régimen térmico, pluviométrico y evaporación mensual de series: 1999 – 2008.

MES	Temperatura del aire (°C)				Precipitación pluvial (mm) total mensual	Evaporación (mm) total.
	Max.	Min.	Med.	Osc.		
NOV	18.40	1.44	9.73	17.11	27.41	153.1
DIC	17.70	2.95	10.12	16.13	73	138.8
ENE	16.27	3.82	10.11	12.72	123.24	120.1
FEB	15.70	4.21	10.08	11.92	134.12	99.8
MAR	16.07	3.17	9.65	12.16	98.44	109.4
ABR	16.28	0.72	8.64	14.83	34.33	94.8

Fuente: SENAMHI Puno.

Los cuadros 3 y 4, nos muestran las temperaturas registradas en °C, como también la precipitación pluvial y la evaporación total, durante la campaña agrícola 2010-2011, mostrando un análisis comparativo con temperaturas promedios de 10 años (1999 – 2008), donde se muestra que hay una ligera variación en los promedios mensuales de las temperaturas máxima, mínima y media.

Grafico 1. Variación de temperaturas máximas, media y mínima de la campaña agrícola 2010-2011 con las temperaturas de las series 1999-2008.

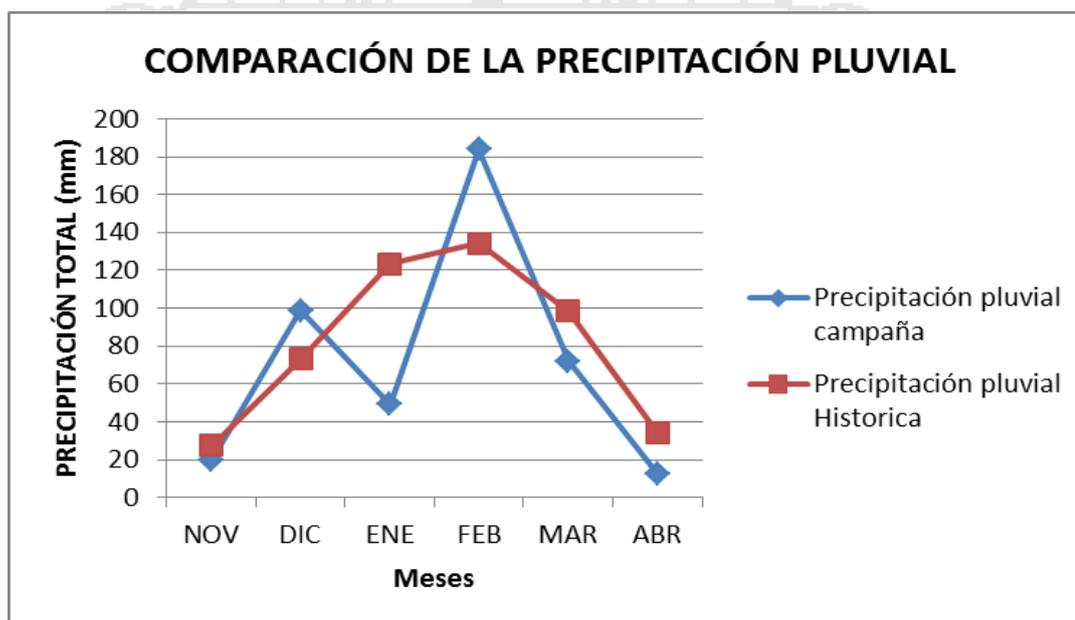


Fuente: SENAMHI Puno.

En el grafico 1, se observa las variaciones de las temperaturas ocurridas durante la campaña agrícola (2010 – 2011), variaciones que afectan positiva o negativamente en los diversos procesos de desarrollo de la planta al igual que en su producción, y las variaciones de las temperaturas historicas durante los 10 años. Dando a conocer que en el mes de noviembre durante la campaña, en el momento de la siembra la temperatura maxima fue 21.1°C, temperatura minima -0.3°C, en diciembre la temperatura maxima fue 18,3°C y la minima 3.3°C, el cual no dificulto al normal desarrollo durante la emergencia del cultivo, sin embargo en los meses de febrero y marzo las temperaturas maximas y minimas fueron de 15.8, 16.3, 5.4 y 4.4 °C temperaturas que influyeron en las fases de inicios de la tuberizacion hasta el final de la tuberizacion del cultivo, permitiendo el desarrollo normal de la

planta, puesto que en estas fases el cultivo es susceptible a las bajas temperaturas donde el crecimiento del tubérculo podría detenerse bruscamente y el exceso de calor haría que la planta forme un mayor número de ramas vegetativas, abundantes hojas pero menos flores, el cual no permitiría que el tubérculo se desarrolle normalmente. Llegando a la última fase de su periodo vegetativo en mes de abril las temperaturas máxima y mínima fueron de 17.8 y 1.1 °C, lo cual no dificultó en la maduración de la planta.

Grafico 2. Variación de la precipitación pluvial, campaña agrícola 2010-2011 y de los promedios: 1999-2008.



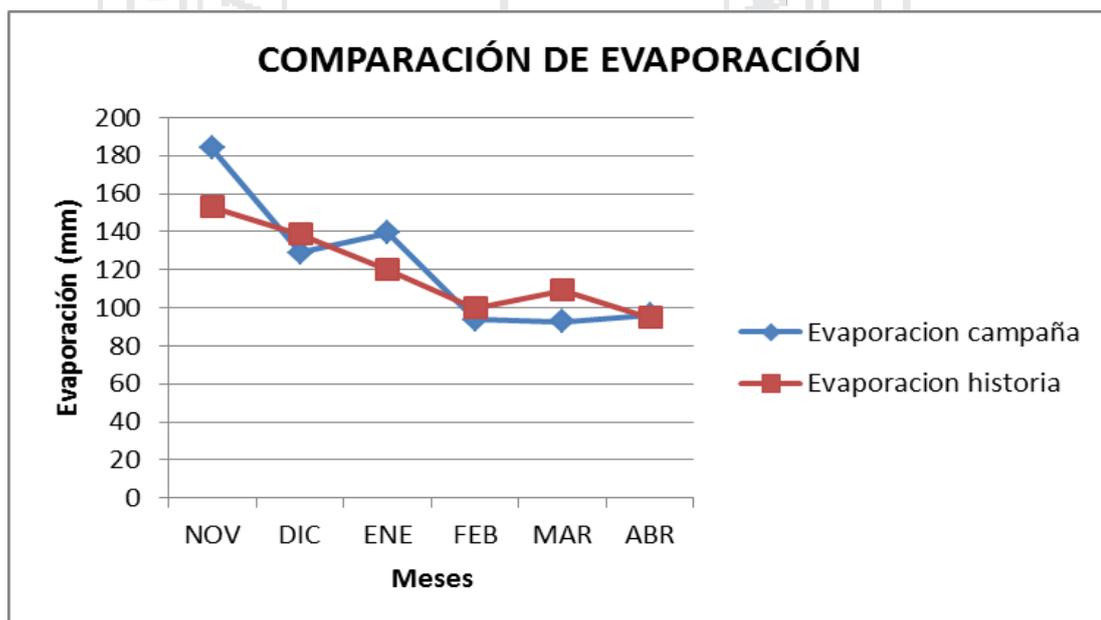
Fuente: INIA Illpa.

En el gráfico 2, se muestra las variaciones de las precipitaciones pluviales ocurridas durante la campaña agrícola 2010-2011, donde se observa que en los meses de noviembre y abril las precipitaciones fueron de 19,9 y 12,7 mm respectivamente, siendo estas las más bajas durante la presente campaña, presenciándose la escasez de este recurso que es vital para el desarrollo del cultivo, sin embargo cabe indicar que en los meses de enero, febrero y marzo las ocurrencias de lluvia son frecuentes tal es así que en el mes de febrero fue de 184,0 mm de lámina precipitada, siendo el más alto en la presente campaña, con un total de 436,2 mm de lámina de agua

durante la campaña agrícola, mientras que en el promedio de los 10 años la precipitación fue de 490,54 mm de lámina de agua siendo ligeramente superior al de la campaña.

Cabe mencionar que, en el altiplano puneño, en los últimos años las precipitaciones pluviales son inestables debido al cambio climático, siendo así en el mes de noviembre se mostró la ausencia de lluvias, lo que afecta su normal desarrollo en la fase de emergencia del cultivos, mientras que en el mes de diciembre se observa un ligero incremento de las precipitaciones pluviales, en el mes de febrero las precipitaciones pluviales se muestra con mayor frecuencia, observándose un déficit de lluvias a partir del mes de marzo; mostrándonos de esta manera la escasez de este recurso tan importante que es vital para el desarrollo de los cultivos y por ello la importancia de realizar trabajos de investigación que estén relacionados con el consumo de agua para los cultivos, mediante riego complementario. ,

Grafico 3. Variación de la evaporación total, campaña agrícola 2010-2011 y de los promedios: 1999-2008. Estación meteorológica Juliaca.



Fuente: SENAMHI Puno.

En el gráfico 3, se observa la evaporación registrada durante la campaña agrícola 2010 – 2011 observando que en los meses de noviembre, diciembre y enero con 184,1, 129,2 y 139.4 mm respectivamente, con un total de 735.5 mm de lámina evaporada en la presente campaña, siendo ligeramente superior al promedio de los 10 años con 715.9 mm de lámina evaporada, debido a la presencia de nubes y a las pocas precipitaciones pluviales que se presentaron durante esos meses.

3.3 MATERIAL EXPERIMENTAL

3.3.1 LISIMETRO

De los materiales utilizados para la determinación de la evapotranspiración del cultivo de papa, se utilizó un lisímetro de tipo nivel freático constante (NFC), que consta de tres tanques de plancha galvanizado: un tanque alimentador (TA), un tanque controlador de nivel freático (TCNF), ambos con dimensiones de 0.25*0.40*0.50 m. y un tanque de cultivo (TC) con dimensiones de 1.20 m de lado y 1.10 m de alto (ver anexo).

Describiéndose de la siguiente forma

a) Tanque Alimentador (TA)

El tanque alimentador en su interior contiene una regla (limnómetro) de material aluminio de 40 cm. de largo, con el que se registraron las lecturas diarias de agua suministrada por el TA.

b) Tanque de controlador de nivel freático (TCNF)

El TCNF está compuesto por una tubería de PVC de ½" de diámetro que va conectado al TA de agua y una boya regulable cuya función es de controlar el nivel de agua del tanque de cultivo.

c) Tanque de cultivo (TC)

El tanque de cultivo posee un área de 1.44 m² que fue ubicado al centro del campo de cultivo, siendo el objeto de estudio, instalándose al

nivel del suelo normal, el cual fue simulado a la textura del suelo rellenándolo con una primera capa de 30 cm. de gravones, seguido de una capa de 20 cm. de grava, luego de una capa de 20cm. de arena fina, y por ultimo con una capa de 40 cm de suelo natural.

En este perfil hipotético de suelo dentro de este sistema fue mantenida en condiciones de humedad a través del Nivel Freático Constante, cuyo sistema se denomina lisímetro.

Además, se dispuso de un cobertizo de plástico agrofil de color amarillo transparente, a manera de techo móvil, colocadas sobre cuatro maderas puestas en cada esquina del tanque del cultivo, con el fin de proteger de las precipitaciones pluviales para que esta no se considere en el balance hídrico.

3.3.2 ANALISIS FISICO- QUIMICO DEL SUELO

Para la determinación del análisis físico químico del suelo se recogieron 15 sub muestras al azar del área experimental que es el área del TC, a una profundidad de 15 – 20 cm. luego se mezcló y homogeneizó, para obtener una sola muestra compuesta de 1 kg., para su respectivo análisis físico y químico que fue realizado en el laboratorio de agua y suelos del INIA - Salcedo PUNO.

En el cuadro 5, se muestra los resultados sobre el análisis químico del suelo, determinando una textura franco arenoso (FAR), con un pH dentro del rango de 7.26, considerándose neutro (Normas legales el Peruano, 2009), siendo aceptable para la mayoría de cultivos y microorganismos, puesto que la absorción de nutrientes no es dificultosa, mientras que el contenido de materia orgánica es medio, con un porcentaje de nitrógeno disponible bajo, fosforo medio y potasio alto y una conductividad eléctrica que es no salino, por lo que es considerado como bajo, es decir que el suelo no presenta problemas de salinidad, en base a estas características se considera que el suelo es aceptable para el normal desarrollo del cultivo de papa.

Cuadro 5. Análisis de fertilidad del suelo experimental.

Cod. Lab	Cod. Usuario	ANALISIS MECANICO				M.O. %
		Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura	
267C5	Illpa UNA Puno	38	27	35	Far	2.26
ELEMENTOS DISPONIBLES			Suelo: Agua 1:2.5		Al ⁺⁺⁺ (meq/100 gr)	CO ₃ Ca %
N _T %	P (ppm)	K(ppm)	pH	C.E mmhos/cm		
0.08	9.20	1013.58	7.26	0.245	0.00	0.22

3.3.3 ANALISIS QUIMICO DEL AGUA DE RIEGO

El resultado del análisis químico del agua para riego, se realizó en el laboratorio de aguas y suelos del INIA Salcedo Puno.

Cuadro 6. Análisis químico de agua para riego.

Temperatura ° C	16,98
pH	6,97
C.E mmhos/cm 25°C	0,310
STD mg/l.	279,00
Ca ⁺⁺ meq/l.	1,10
Mg ⁺⁺ meq/l.	1,32
Na ⁺ meq/l.	0,35
K ⁺ meq/l.	0,91
Suma de Cationes	3,68
CO ₃ ⁼ meq/l.	0,00
HCO ₃ ⁼ meq/l.	3,29
Cl ⁻ meq/l.	0,41
SO ₄ ⁼ meq/l.	1,18
NO ₃ ⁼ meq/l.	2,10
Suma de Aniones	6,98
SAR	0,30
Clasificación	C2S1

En el cuadro 6, se indica que son aguas considerados dentro de la clasificación C2S1, demostrándonos que son aguas de buena calidad para cultivos como papa, considerando que no presenta problemas de salinidad ni sodicidad para suelos de textura FAr, mostrándonos también un pH neutro aceptable para la mayoría de cultivos, mientras que los sólidos totales disueltos se encuentran dentro del rango permisible que indican los estándares de calidad de aguas, por lo que pueden ser utilizadas en todos los caso, sin la necesidad de realizar prácticas especiales de control de salinidad.

3.3.4 ESPECIE CULTIVADA

Como semilla de papa se utilizó la variedad Silver U.N.A que fue obtenida del cruzamiento de la variedad perricholy y andina, la semilla utilizada se caracteriza por ser una variedad semi precoz, con un periodo vegetativo de 160 días, adaptándose hasta los 4000 m.s.n.m, posee una buena calidad culinaria tanto en fritura como en sancochado, es tolerante a bajas temperaturas, sequias e inundaciones, es tolerante a la roña, verruga, rizoctoniasis, y podredumbre rosada Rodríguez (2000).

Cuadro 7. Características morfológicas de papa Var. Silver.

ASPECTOS MORFOLOGICOS	CARACTERÍSTICAS
Altura de la planta	➤ Mayor a 80 cm
Tallo	➤ Color verde con pigmentación morada clara. ➤ Con abundante follaje.
Hojas	➤ Grandes ➤ Color verde oscuro con pubescencia escasa.
Estolones	➤ Tamaño mediano
Flores	➤ Color crema ➤ Acumen crema y estrella verde oscuro. ➤ Mediana floración.
Tubérculos	➤ Oval chato. ➤ Yemas superficiales ➤ Peridermo de color melón claro ➤ Pulpa amarilla clara
Brotos	➤ Color crema pigmentada con rosado

Fuente: Rodríguez (2000).

3.4 METODOLOGIA

3.4.1 DETERMINACION DE ETC POR EL METODO DEL LISÍMETRO

Para la determinación de ETC por el método directo se utilizó el lisímetro del tipo NFC, controlando de forma directa y exacta la cantidad de agua evapotranspirada por el cultivo de papa, durante todo su periodo vegetativo.

El agua consumida por el cultivo de papa en cada fase fenológica, se obtuvo de las lecturas diarias del limnómetro en el tanque alimentador, el agua evaporada y transpirada viene a ser la evapotranspiración en el tanque de cultivo, y la demanda total de agua será la suma de los requerimientos de agua en cada fase fenológica, teniendo en cuenta que ninguna cantidad de agua puede ingresar ni salir del tanque de cultivo.

3.4.2 DETERMINACION DE Kc METODO LISIMETRO

Para la determinación del coeficiente de cultivo (Kc), se utilizó la fórmula matemática $Kc = ETC/ETP$, que fue recomendada por Vásquez y Chang (1992), donde la evapotranspiración del cultivo son datos reales que fueron registrados todos los días en el limnómetro que se encuentra dentro del tanque de alimentación y la evapotranspiración potencial se obtuvo de la ecuación $ETP = Kp \times Ev$; donde $Kp = 0.95$ (factor de corrección, de la tabla 59) y Ev es la evaporación del tanque de cultivo en mm, siendo datos reales de la campaña agrícola 2010 – 2011.

3.4.3 ESTIMACION DE ETP POR LOS METODOS INDIRECTOS

Para determinar la evapotranspiración potencial por los métodos indirectos, se trabajó con los siguientes métodos empíricos:

Método Hargreaves en función a la temperatura.

Método Hargreaves en función a horas de sol.

Método Serruto.

a. Método de Hargreaves en función a la temperatura

Para determinar la ETP en el presente método se utilizó la siguiente fórmula (Vásquez y Chang, 1992):

$$ETP = MF * TMF * CH * CE$$

$$TMF = (9/5) * ^\circ C + 32$$

$$CH = 0.166 * (100 - Hr)^{1/2}; \text{ para } Hr > 64\%$$

$$CH = 1; \text{ para } Hr < 64\%$$

$$CE = 1 + 0.04 (E/2000 \text{ m.s.n.m.})$$

Dónde:

ETP : Evapotranspiración potencial (mm/mes).

MF : Factor mensual de latitud.

TMF : Temperatura media mensual (°F).

CH : Factor de corrección para la humedad relativa.

Hr : Humedad relativa media mensual (%).

CE : Coeficiente de corrección para la elevación del lugar.

E : Altitud de la zona de estudio (m.s.n.m.).

b. Método de Hargreaves en función a horas de sol

Para determinar la ETP en el presente método se utilizó la siguiente fórmula (Vásquez y Chang, 1992):

$$ETP = 0.0075 * RSM * TMF$$

$$RSM = 0.075 * RMM * S^{0.5}$$

$$RMM = Ra * DM$$

$$S = (n/N) * 100$$

$$TMF = (9/5) * ^\circ C + 32$$

Dónde:

ETP : Evapotranspiración potencial (mm/mes).

RSM: Radiación solar equivalente en (mm/mes).

RMM: Radiación extraterrestre equivalente en mm/mes.

Ra : Radiación extraterrestre equivalente en mm/día.

DM : Número de días del mes.

S : Porcentaje de horas de sol.

n : Horas de sol promedio del lugar.

N : Horas de sol posible según la altitud.

TMF : Temperatura media mensual (°F).

c. Método Serruto

Para determinar la ETP en el presente método se utilizó la siguiente fórmula (Serruto, 2003):

$$ETP = 0.003(RS)^{2.5} + 0.16(T)^{0.88}$$

Dónde:

ETP : Evapotranspiración potencial, en mm/día.

RS : Radiación solar extraterrestre expresada en equivalente de evaporación en mm/día.

T : Temperatura media mensual, en °C

3.4.4 ESTIMACION DE FASES FENOLOGICAS PLANTEADAS POR LA FAO Y LESCANO PARA DETERMINA EL Kc ASUMIDO POR LA METODOLOGIA FAO

Para la determinación del Kc asumido, se utilizó la metodología propuesta por la FAO en su publicación N° 24 citado por (Doorembos y Pruitt, 1982), donde se utiliza la relación de ETP y la frecuencia de riego para el Kc de la primera fase. Para obtener los valores apropiados de Kc, agrupándose el ciclo del cultivo en cuatro fases de desarrollo.

En el cuadro 8, se muestra la adecuación de las fases fenológicas del cultivo de papa a las fases propuestas por la FAO.

Cuadro 8. Adecuación de las fases fenológicas del cultivo de papa a las cuatro fases propuestas por la FAO.

FASES FAO	Fases fenológicas del cultivo de papa (*)
I : Fase inicial	1. Emergencia
II: Fase de desarrollo	2. Inicio de formación de estolones. 3. Inicio de tuberización.
III: Fase media	4. Inicio de la floración 5. Final de la floración
IV : Fase final	6. Final de la tuberización. 7. Madurez fisiológica

(*) Fuente: Lescano (1994).

3.4.5 CALCULO DE LA ETC POR LOS METODOS INDIRECTOS

Para la determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETC) por los diferentes métodos indirecto se utilizó la siguiente ecuación (Vásquez y Chang, 1992):

$$ETC = Kc \times ETP$$

Dónde:

ETC = Evapotranspiración del cultivo, en mm/día.

Kc = Coeficiente de cultivo (método FAO).

ETP = Evapotranspiración potencial del cultivo, en mm/día.

3.4.6 CALCULO DE LA PRECIPITACION EFECTIVA (PE)

Para poder determinar la precipitación efectiva, fue necesario analizar la precipitación total, con la finalidad de determinar el valor probable de la precipitación que cae.

La fórmula utilizada para determinar el valor probable de la precipitación es la de Weibull, cuya ecuación matemática es:

$$f = (m/N + 1) * 100$$

Dónde:

- f : Frecuencia o probabilidad de ocurrencia.
- m . Valor de posición de lluvia ordenada en forma creciente.
- N : Número total de valores de precipitación mensual.

La probabilidad de ocurrencia de la lluvia que se adopte, dependerá del valor económico del cultivo, teniendo en cuenta por lo general un valor de 75 % de probabilidad de ocurrencia como el más adecuado Vásquez y Chang (1992).

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizó el método de Water Power Resources Service (WPRS – USA), que considera la precipitación efectiva (cuadro 9)

Cuadro 9. Distribución de la PE por Water Power Resources Service USA.

Incremento de la precipitación pluvial (mm)	% de la precipitación Efectiva
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
150	25
>155	5

Fuente: Vásquez y Chang, 1992.

3.4.7 CALCULO DE LA DEMANDA DE AGUA DEL CULTIVO

Para establecer la demanda de agua en el cultivo de papa, se utilizó la ecuación propuesta por Vásquez y Chang (1992).

$$Da = ETC - PE$$

Dónde:

Da : Necesidad de riego o demanda de agua (mm/mes, m³/ha).

ETC : Evapotranspiración real o actual (mm/día, mm/mes).

PE : Precipitación efectiva (mm).

3.4.8 DESCRIPCION EXPERIMENTAL

El trabajo de investigación se ejecutó en la campaña agrícola 2010 – 2011, instalando el tanque de cultivo con un área de 1.44 m² siendo el área experimental, realizando la siembra del cultivo de papa dentro del TC, cuyos factores de estudio fueron:

- Cultivo de papa (*solanum tuberosum* Var. Silver) y sus diferentes fases fenológicas según Lescano (1994).
- El clima y su comportamiento en la campaña agrícola.
- El contenido de humedad del suelo fácilmente disponible durante el desarrollo del cultivo (porcentaje de humedad gravimétrica)

Las variables de respuesta que se plantearon fueron los siguientes:

- Necesidad de agua durante el periodo vegetativo del cultivo (mm. m³/ha).
- Lámina de agua evapotranspirada por fases del periodo vegetativo del cultivo.
- Coeficiente del cultivo (Kc) de las diferentes fases fenológicas del cultivo (adimensional).

3.4.9 CONDUCCION DEL EXPERIMENTO

3.4.9.1 PREPARACION DEL SUELO

La preparación del terreno se realizó dentro del tanque de cultivo del lisímetro para el cual se utilizó un zapapico, como también se realizó en el campo de cultivo fuera del lisímetro, eliminando los terrones dejando el suelo mullido, listo para la siembra.

3.4.9.2 PLANTACION

La plantación se realizó el 04 de noviembre del 2010, a un distanciamiento de 0.70 m entre surcos, 0.25 m entre plantas, y a una profundidad de siembra de 0,20 m, dimensiones que se utilizaron en el tanque de cultivo, como también en el campo de cultivo.

3.4.9.3 LABORES CULTURALES

- **Deshierbo.** El deshierbo se realizó manualmente, tres días antes del primer aporque, con la ayuda de un zapapico con la finalidad de eliminar las malas hierbas y de esta manera evitar la competencia de luz, agua espacio y nutrientes entre el cultivo y las malas hierbas.
- **Primer aporque.** Se realizó 29 de diciembre del 2010, cuando la planta alcanzo los 20 cm de altura, la labor fue realizada manualmente con la ayuda de un zapapico, colocando una capa de tierra hasta el cuello de la planta a fin de favorecer la formación de estolones y evitar el ingreso de algunas plagas.
- **Segundo aporque.** Se realizó el 02 de febrero del 2011, cuando la planta alcanzó los 50 cm de altura, la labor se realizó manualmente con la ayuda de un zapapico, cubriendo con tierra los tallos aéreos.

3.4.9.4 COSECHA

La cosecha se realizó el 04 de abril del 2011 en forma manual, cuando la planta alcanzó su madurez fisiológica, utilizando un piquillo con mucho cuidado para no dañar los tubérculos, luego se expusieron al sol por un par de

horas para luego pesarlo, obteniendo de esta manera el rendimiento en kg/1.44 m², Kg/m² y Kg/ha.

3.4.10 OBSERVACIONES EN EL EXPERIMENTO

3.4.10.1 FASES FENOLOGICAS DEL CULTIVO

El cultivo de la papa según (Lescano, 1994) presenta siete fases fenológicas, de acuerdo a la duración de su periodo vegetativo, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Cuadro 10. Duración de las fases fenológicas del cultivo de papa.

Fase fenológica de la papa	Días después de la siembra (*) y emergencia (-) (I)	Nº De días (I)	Fecha (II)	Días promedio después de la siembra (II)	Nº de días (II)
Emergencia	25 -35 (*)	35	05/12/2010	32	32
Formación de estolones	15 – 20 (-)	20	22/12/2010	49	17
Inicio de tuberización	35 – 40 (-)	20	11/01/2010	69	20
Inicio de floración	20 – 25	25	27/01/2011	85	16
Final de floración	55 – 85 (*)	20	24/02/2011	113	28
Final de tuberización		15	16/03/2011	133	20
Madurez fisiológica	135 -145 (-)	10	04/04/2011	152	19
Total periodo vegetativo:		145		152	152

(I): Duración en días de las fases según (Lescano, 1994)

(II): Duración en días de las fases observadas

En el cuadro 10, se muestra una comparación de la duración de las fases fenológicas del cultivo, el periodo vegetativo que es de 145 días según Lescano (1994), con respecto a la duración de las fases fenológicas y la duración del periodo vegetativo con 152 días, observadas en el tanque de cultivo sistema lisímetro NFC durante la campaña agrícola 2010 - 2011.

El cultivo en estudio presentó un periodo vegetativo de 152 días, el cual se encuentra dentro del rango indicado por Rodríguez (2000), donde menciona que la variedad silver es semiprecoz con un periodo vegetativo de 140 a 155 días.

Es así que en la tabla anterior se muestra la duración del periodo vegetativo del cultivo papa por fases fenológicas, que fue instalado en el tanque de cultivo del lisímetro sistema NFC.

3.4.10.2 ALTURA DE LA PLANTA DE PAPA

Cuadro 11. Altura de planta (cm) por fase fenológica en lisímetro (TC).

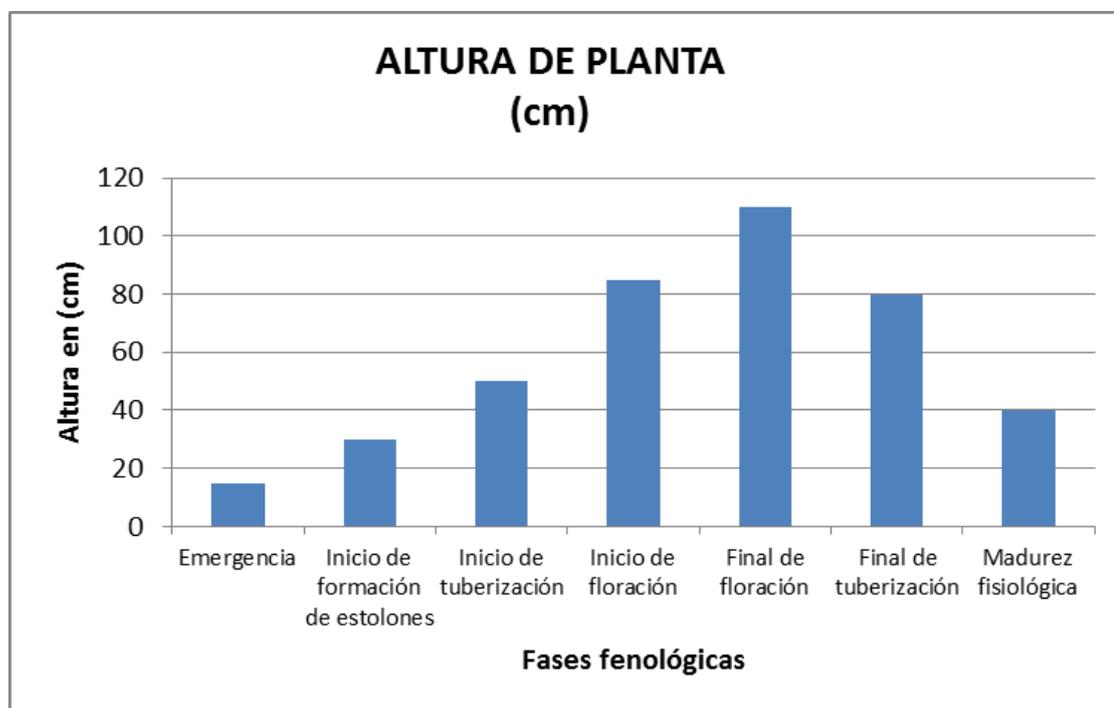
Fase Fenológica	Altura de la planta (cm)
Emergencia	15.00
Inicio de formación de estolones	30.00
Inicio de tuberización	50.00
Inicio de floración	85.00
Final de floración	110.00
Final de tuberización	80.00
Madurez fisiológica	40.00

En el cuadro 11, se muestra el comportamiento de la altura promedio de la planta dentro del tanque de cultivo del lisímetro en sus diferentes fases fenológicas. Según Rodríguez (2000), la variedad silver alcanza su desarrollo a una altura mayor a 80 cm. sin embargo el cultivo en estudio alcanzó su madurez a una altura de 110 cm, debido las condiciones que se presentó en el tanque de cultivo del lisímetro como la humedad que fue constante, las características físicas y químicas del suelo y el abonamiento con estiércol de vacuno durante los aporques que se realizaron, lo cual favoreció al desarrollo de la planta.

En el grafico 4, se ilustra que en la primera y segunda fase del cultivo el crecimiento de la planta no es acelerado, mientras que a inicio de floración la planta empieza a tomar altura, alcanzando su máximo crecimiento al final de la floración, mostrando su senescencia al final de la tuberización, llegando a

una altura de 80 cm, y de esta manera alcanza su madurez fisiológica a una altura de 40 cm.

Grafico 4. Comportamiento de altura de planta en el tanque de cultivo, por fases fenológicas.



3.4.10.3 RENDIMIENTO OBTENIDO

Para la evaluación del rendimiento, se estimó la producción en Kg por hectárea tomando en cuenta desde el tubérculo más grande hasta el más pequeño.

En el cuadro 12, se observa el rendimiento obtenido para el cultivo de la papa dentro del tanque de cultivo de lisímetro instalado en el CIP – Illpa de la UNA Puno durante la campaña agrícola 2010 – 2011.

Se puede apreciar que en el tanque de cultivo sistema NFC el rendimiento obtenido es de 8 Kg/1.44 m², lo que nos indica que en 1 hectárea podemos obtener un rendimiento de 56007 kg./has, con una producción de 56 TM/has, teniendo en cuenta que el peso máximo y mínimo de tubérculos por planta son de 1,652 y 1,124 Kg/planta respectivamente.

Cuadro 12. Producción y rendimiento de tubérculo papa en lisímetro (TC) y campo de cultivo.

DETERMINACION	LISIMETRO (TC)		CAMPO DE CULTIVO
	En 1.44 m ²	En 1.00 m ²	En 1.00 m ²
N. de plantas (und.)	6	4	4
Peso máximo de tubérculo/planta (gr.)	1652	1147	1140
Peso mínimo de tubérculo/planta (gr.)	1124	781	750
Peso promedio por tubérculo/planta (gr.)	1344	933	927
PESO TOTAL (gr.)	8065	5601	4610
Producción : (kg)	8	6	4.61
Rendimiento (Kg/Ha)	56007	56007	46100
Rendimiento (t/Ha)	56	56	46.1

El rendimiento obtenido en la presente campaña supera a los rendimientos logrados en el trabajo de investigación realizado por Rodríguez (2000), obteniendo un rendimiento de 42,540.0 Kg/Ha en el CIP – Camacani y 45,140 Kg/Ha en el CIP – Illpa, rendimientos que se obtuvieron en campo,

Se logró un mayor rendimiento para esta variedad, debido a que las condiciones edafo – climáticas son buenas y favorables, puesto que la textura del suelo en el que se desarrolló el cultivo es franco arcilloso siendo un suelo bueno para el normal crecimiento y desarrollo del cultivo de la papa, excepto por el contenido de nitrógeno que fue bajo, sin embargo se le aplicó estiércol de vacuno fermentado al momento de la plantación y durante los dos aporques que se realizaron, para que de esta manera no se presente problemas durante el desarrollo del cultivo, por otro lado la dotación de agua que fue suministrado por el tanque alimentador (TA), son aguas que se encuentran en la clasificación de buena calidad para todo tipo de cultivo, cabe mencionar que la no presencia de plagas y enfermedades, fue un factor que favoreció al cultivo, además que en el tanque de cultivo se conservó la humedad aproximada a capacidad de campo en la zona radicular del cultivo y las labores culturales que se realizaron fueron oportunamente.

3.4.10.4 COMPORTAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO

Durante el periodo de ejecución del experimento se determinó la humedad del suelo en porcentaje utilizándose el método gravimétrico, para tal

caso se tomó una muestra de suelo a una profundidad de 30 cm., los resultados obtenidos se muestran en el cuadro (13).

En el siguiente cuadro se muestra la humedad gravimétrica en porcentaje a una profundidad de 30 cm. desarrollándose en tres evaluaciones en distintas fechas obteniendo un promedio de contenido de humedad de 23.41%, determinándose de esta forma que se encuentra dentro del rango de capacidad de campo (23 – 31 %) para un suelo franco arcilloso Serruto (2003).

Cabe mencionar que el comportamiento de humedad en el suelo durante la presente campaña agrícola permitió que el suelo se encuentre a capacidad de campo, para que el cultivo pueda desarrollarse sin ninguna dificultad y así poder lograr un buen rendimiento.

Cuadro 13. Determinación de la densidad aparente y humedad del suelo.

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)				Humedad gravimétrica (%)			
	1 ^o Eval.	2 ^o Eval.	3 ^o Eval.	Prom.	1 ^o Eval.	2 ^o Eval.	3 ^o Eval.	Prom.
30	1.328	1.329	1.331	1.329	21.73	23.39	25.12	23.41

3.4.10.5 HUMEDAD DEL SUELO

Para determinar la humedad del suelo se usó el método gravimétrico el cual es considerado como un método directo, en donde se toma una muestra a una profundidad de 30 cm. del tanque de cultivo, luego se llevó a estufa por 24 horas a una temperatura de 105 °C. Para determinar el porcentaje de humedad que contiene el suelo, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$W = (M_w / M_s) * 100$$

$$M_w = M_t - M_s$$

W : % humedad del suelo

M_t : Peso de suelo húmedo

M_s : Peso de suelo seco



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DE PAPA (ETC) PARA FASES DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO

4.1.1 METODO DEL LISIMETRO

Los valores obtenidos de la evapotranspiración para cada fase fenológica del periodo vegetativo del cultivo de papa variedad silver, se determinaron por lecturas directas y diarias, obteniendo la cantidad de agua consumida en el tanque alimentador (TA) del lisímetro sistema NFC, que sirvió como base para la determinación del coeficiente del cultivo Kc, que vienen a ser las características fenológicas propias del cultivo que responden a los efectos de los factores climáticos de la zona en estudio.

Cuadro 14. ETC Método de lisímetro NFC, ETP (Ev) Kc. Campaña agrícola 2010-2011. Illpa – Puno.

Fases fenologica del cultivo de papa	Nº de Dias	ETC (mm)	FASE FAO (*)	Nº de Dias(*)	ETC (mm)(*)	ETP (mm)	Kc
Emergencia	32	84,64	I	32	84,64	184,59	0,46
Inicio de formacion de estolones	17	63,02	II	37	153,47	67,83	0,96
Inicio de tuberizacion	20	90,45				78,66	1,27
Inicio de la floracion	16	83,77	III	44	241,49	64,13	1,41
final de la floracion	28	157,73				92,72	1,80
Final de la tuberizacion	20	84,03	IV	39	131,16	62,70	1,35
Madurez fisiologica	19	47,14				52,35	0,96
TOTAL	152	610,76		152	610,76	603,0	

* Adecuación a fase fenológica de desarrollo propuesta por la FAO (Doorembos Pruit, 1982)

En el cuadro 14, se muestra los resultados consolidados para el cultivo de papa en sus siete fases fenológicas según Lescano (1994), alcanzando su desarrollo en un periodo vegetativo de 152 días y a la adecuación en las cuatro fases fenológicas propuestas por la FAO Doorembos y Pruit (1982); es así que se muestra los valores obtenidos de la evapotranspiración del cultivo (ETC), la evapotranspiración potencial (ETP); en el cual, la evaporación del

cultivo de papa está en función directa al estado de desarrollo de las plantas, como también se muestra el coeficiente de cultivo (K_c) para cada fase fenológica.

El cuadro en referencia muestra la evapotranspiración obtenida para el cultivo de papa, siendo de 610.76 mm de lámina hídrica (6107.6 m³/ha), teniendo en cuenta que la fase fenológica de mayor consumo de agua es al final de la floración con 157.73 mm de lámina de agua, seguido con el inicio de tuberización con 90.45 mm de lámina de agua, observando de esta forma, que en estas fases el cultivo presenta un mayor requerimiento hídrico, debido a que el cultivo se encuentra en pleno desarrollo y la planta cuenta con mayor cantidad de follaje, es por ello que los procesos de evaporación y transpiración son mayores; mientras que, la fase con menor consumo de agua es en la madurez fisiológica con 47,14 mm de lámina hídrica, puesto que en esta fase las hojas empiezan a marchitarse. Observándose de esta manera, que las etapas en que el cultivo requiere mayor cantidad de agua, es desde el inicio de la tuberización hasta el final de la tuberización; donde las plantas alcanzaron mayor crecimiento de altura gráfico (4), desarrollándose en esta etapa una mayor actividad fisiológica de las plantas.

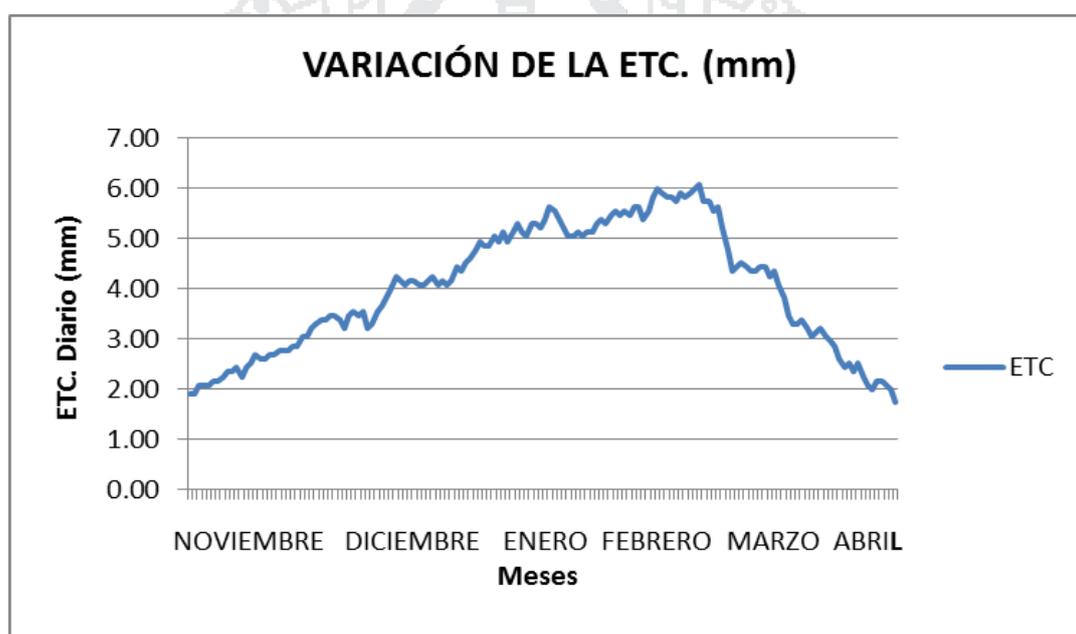
Los resultados obtenidos de ETC para el cultivo de papa en el lisímetro sistema NFC puede considerarse, que es confiable y aceptable para las condiciones de la zona, debido a que los factores que influyen en la ETC como son las temperaturas registradas durante la campaña agrícola 2010 – 2011 son ligeramente superiores a las temperaturas normales, como también la humedad que se mantuvo en el tanque de cultivo y considerando también la adecuada conducción del experimento.

Cabe mencionar que en trabajos similares en cuanto a la evapotranspiración en el cultivo de papa por el método lisímetro existe en la variedad imilla negra realizado por Coila (1981), obteniendo un ETC de 573.94 mm de lámina hídrica, indicándonos que en variedades distintas las exigencias del consumo de agua son diferentes, esto debido a la duración del

periodo vegetativo del cultivo, a los factores ambientales que se presentan en cada zona.

Considerando los resultados mostrados en el cuadro 14, se comprueba lo mencionado por Santa Olalla (2005), la transpiración aumenta a medida que crece y se desarrolla la cubierta vegetal, de manera que cuando la cobertura es total, la transpiración es la fuente principal de la pérdida de agua, pudiendo estar entre el 90 a 95 % la evapotranspiración (ET).

Grafico 5. Variación diaria de la evapotranspiración del cultivo de papa. Método lisímetro



Los últimos 27 días del mes de noviembre 2010.
Los primeros 4 días del mes de abril 2011.

En el grafico 5, se ilustra la variación de la evapotranspiración del cultivo (ETC) en el cultivo de papa, obtenido por el método directo del lisímetro, datos que se obtuvieron de las lecturas diarias del consumo de lámina de agua dentro del tanque de cultivo, registradas por el limnómetro, ubicado en el tanque alimentador, de esta manera mostrarnos los puntos máximos y mínimos que se presentaron en el estado de desarrollo del cultivo de papa durante el periodo vegetativo que fue de 152 días, la variación

mostrada se debe básicamente al comportamiento meteorológico ocurrido durante la campaña agrícola 2010 – 2011.

4.1.2 ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (ETP) POR METODOS INDIRECTOS

En la estimación de la Evapotranspiración potencial ETP por métodos indirectos, se determinaron por tres métodos los cuales fueron: Hargreaves en función a la temperatura, Hargreaves en función a horas sol y el método Serruto, en donde cada método requiere de algunos parámetros de información meteorológica

En el cuadro 15, se muestra los resultados obtenidos para cada método, en cada fase fenológica y en un periodo vegetativo de 152 días, demostrándonos que en método Hargreaves en función a la temperatura dio como resultado 685,74 mm, seguido por el método Serruto con 674,13 mm y finalmente el método Hargreaves en función a horas sol con 505,04 mm.

Cuadro 15. Evapotranspiración potencial (ETP) estimados por métodos indirectos para el cultivo de papa en mm.

FASES FENOLOGICAS	Nº de Dias	FASE (FAO*)	HARGRE F(T)	HARGRE F(hor. Sol)	SERRUTO
Emergencia	32	I	148,94	116,96	147,30
Inicio de formación de estolones	17	II	81,79	59,45	79,58
Inicio de tuberización	20	II	95,55	69,53	94,18
Inicio de la floración	16	III	76,01	55,36	75,71
final de la floración	28	III	126,99	89,09	126,67
Final de la tuberización	20	IV	81,68	59,63	80,09
Madurez fisiológica	19	IV	74,78	55,03	70,59
TOTAL	152		685,74	505,04	674,13

* Adecuación a fase fenológica de desarrollo propuesta por la FAO (Doorembos Pruit, 1982).

4.1.3 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO POR LOS METODOS INDIRECTOS

Los valores obtenidos para la evapotranspiración del cultivo ETC por métodos indirectos se determinaron por los tres métodos diferentes, en base a datos meteorológicos diferentes, como también a la aplicación de fórmulas diferentes, observándose en el cuadro 16.

Para estimar la evapotranspiración del cultivo en cada uno de los métodos y para cada fase fenológica del cultivo de papa durante su periodo vegetativo, se optó por utilizar los valores de Kc asumido que se muestra en la tabla 21 los que fueron aplicados para calcular la ETC por los tres métodos indirectos.

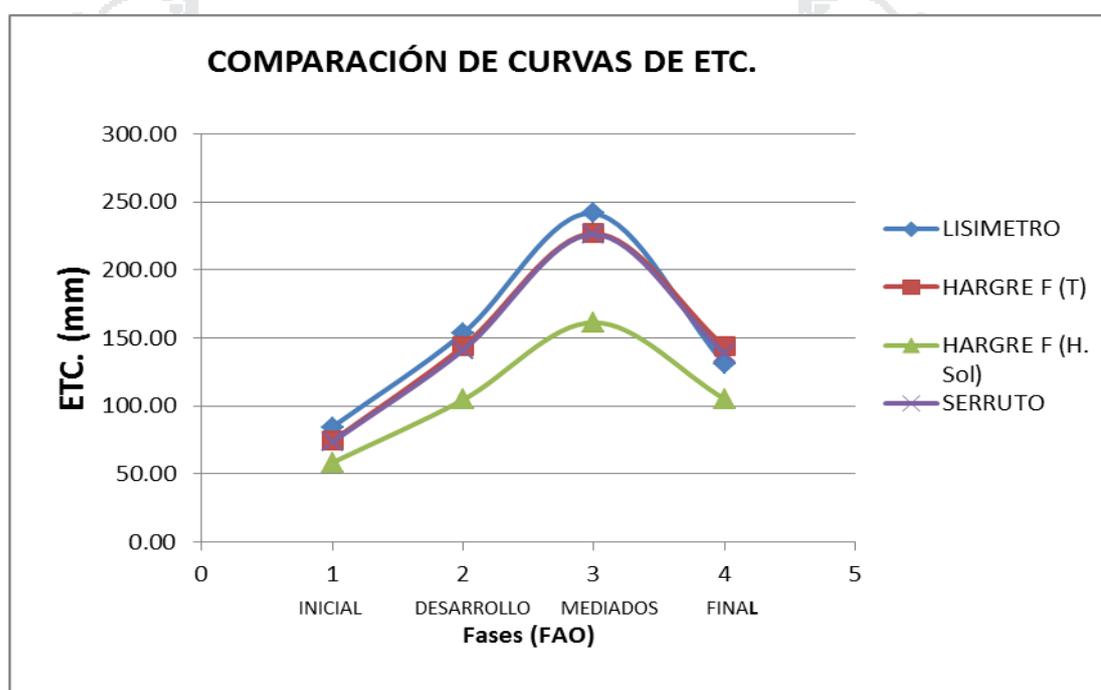
En el cuadro 16, se muestra los valores obtenidos de la evapotranspiración del cultivo como son Hargreaves en función a la temperatura, método Serruto y Hargreaves en función a horas sol con 588.87, 579.42 y 429.81 de lámina hídrica respectivamente, mostrándonos que los dos primeros valores se acercan al ETC del método directo del lisímetro.

Cuadro 16. Evapotranspiración del cultivo de (ETC) de papa por diferentes métodos para cada fase fenológica en mm de lámina de agua. Campaña agrícola 2010-2011; Illpa.

FASES FENOLOGICAS	Nº de Dias	LISIMETRO	HARGRE. F(T)	HARGRE. F(H. SOL)	SERRUTO
Emergencia	32	84,64	74,47	58,48	73,65
Inicio de formacion de estolones	17	63,02	53,98	39,23	52,52
Inicio de tuberizacion	20	90,45	89,82	65,36	88,53
Inicio de la floracion	16	83,77	85,89	62,56	85,56
final de la floracion	28	157,73	140,96	98,88	140,55
Final de la tuberizacion	20	84,03	81,68	59,63	80,02
Madurez fisiologica	19	47,14	62,07	45,67	58,59
TOTAL	152	610,76	588,87	429,81	579,42

Sin embargo, también se puede observar que en la fase fenológica con mayor evapotranspiración del cultivo fue al final de la floración con respecto a los cuatro métodos como son método directo e indirecto, debido a que en esta fase hay un buen comportamiento del clima, existe una mayor cobertura vegetal, con un contenido de humedad apropiada para el suelo, el número de días y la cantidad de follaje son mayores y es por estas razones que la evapotranspiración es mayor.

Grafico 6. Curva de evapotranspiración de cultivo (ETC) de papa, obtenido por diferentes métodos en base a la metodología propuesta por la FAO.



En el grafico 6, se ilustra las curvas de evapotranspiración de cultivo determinados por los cuatro métodos directo e indirectos durante la campaña agrícola 2010 - 2011, observando que la curva por el método lisímetro que es el directo se encuentra por encima de los métodos indirectos, sin embargo las curvas por el método Hargreaves en función a la temperatura y el método del Dr. Serruto son los que se aproximan a la curva del método directo, teniendo en consideración que los datos meteorológico y las formulas aplicadas son diferentes, que probablemente se ajuste a un determinado lugar.

4.1.4 ANALISIS ESTADISTICO DE LA EVAPOTRANSPIRACION DE CULTIVO (ETC)

El análisis estadístico se realizó con la finalidad de corroborar el análisis de los resultados de evapotranspiración del cultivo de papa, empleándose el Diseño Bloque Completo al azar (DBCA), donde los métodos utilizados para la obtención de ETC fueron los tratamientos, mientras que las fases fenológicas propuestas por la FAO en su publicación N°24 fueron los Bloque

En el cuadro 17, se observa los resultados obtenidos de evapotranspiración de cultivo ETC, por los diferentes métodos, para cada fase fenológica propuesta por la FAO.

Cuadro 17. Evapotranspiración del cultivo de (ETC) de papa por diferentes métodos para cada fase fenológica propuestas por las FAO en mm de lámina de agua. Campaña agrícola 2010-2011; Illpa

BLOQUES FASE FENOLOGICA (días)	TRATAMIENTOS (Métodos)			
	LISIMETRO	HARGRE F (T)	HARGRE F (H. Sol)	SERRUTO
I. INICIAL	84,64	74,47	58,48	73,65
II. DESARROLLO	153,47	143,80	104,59	141,05
III. MEDIA	241,49	226,85	161,44	226,10
IV. FINAL	131,16	143,75	105,30	138,61
TOTAL	610,76	588,87	429,81	579,42

Cabe mencionar que, para el agrupamiento de las fases fenológicas según Lescano (1994), a las fases según la FAO en su publicación N° 24 Doorembos y Pruit (1982), se observó "in situ" el proceso de desarrollo del cultivo y el número de días de acuerdo a la duración de las fases fenológicas según Lescano (1994), durante la campaña agrícola 2010 – 2011, en lo que fue ejecutado el experimento, como se menciona a continuación:

FASE INICIAL: Se considera esta fase desde la plantación hasta el 10% de la cobertura vegetal, el cual agrupa la fase de emergencia con un periodo vegetativo de 32 días.

FASE DE DESARROLLO: Comprende desde el final de la fase inicial hasta que se llegue a una cobertura sombreada efectiva completa del orden del 70 a 80 %; agrupando la fase de inicio de formación de estolones y la fase de inicio de tuberización con un periodo vegetativo de 37 días.

FASE MEDIA: Comprende desde que se obtiene la cobertura efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración de las hojas, agrupando las fases de inicio de floración y la fase final de floración con un periodo de 42 días.

FASE FINAL: Esta fase agrupa las fases de final de tuberización y la fase madurez fisiológica.

El cuadro 18, muestra el análisis de variancia (ANVA), observando que existe altas diferencias estadísticas significativas para bloques que vienen a ser las fases fenológicas, afirmándose que el requerimiento de agua en el cultivo de papa son diferentes para cada fase fenológica del cultivo, debido a la duración de cada fase fenológica que se presenta en días y al índice foliar del cultivo, también se puede presenciar la diferencia significativa en tratamientos que vienen a ser los métodos directo e indirectos para la obtención de la evapotranspiración del cultivo (ETC), indicando que cada método presenta diferentes necesidades hídricas debido a las diferentes variables meteorológicas y coeficiente, utilizadas para cada formula.

Cuadro 18. Análisis de variancia de evapotranspiración del cultivo de papa en la localidad de Illpa – Puno.

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL	SC	CM	Fc	Ft 0,05	Ft 0,01	Sig.
					0,05	0,01	
BLOQUE (FASES)	3	40382,2075	13460,7358	92,6719	3,86	6,99	**
TRATAMIENTO (MET.)	3	5123,35154	1707,78385	11,7574	3,86	6,99	**
ERROR EXPERIMENTAL	9	1307,2643	145,2516				
TOTAL	15	46812,8233					

CV = 8.85 %

En el cuadro 18, se presenta el ANVA donde la Ft tanto para bloques como para tratamiento nos muestra que existe alta diferencia estadística significativa, lo que nos indica que en las diferentes fases fenológicas (bloques) del cultivo de papa los requerimientos de agua en el cultivo son diferentes en cada fase. Como también para los tratamientos (métodos), resultado justificable por el empleo de diferentes variables meteorológicas y coeficientes en cada formula, lo que indica que algún método es diferente en la obtención de ETC de la papa.

Por otro lado se puede observar el coeficiente de variabilidad de CV = 8.85 %, el cual es considerado como aceptable para el tipo de experimento realizado, como indica Velásquez (1990), donde considera la escala para calificar la posición de los experimentos en campo en base al coeficiente de variabilidad siendo: de 5 – 10 excelente, 11-15 muy bueno, 16 – 20 bueno, 21 – 25 regular, 26 – 31 mala y mayores a 31 muy mala, considerándose que el trabajo fue ejecutado adecuadamente, indicándonos que los datos obtenidos son confiable y para ello se realizara las pruebas de comparación de medias de tukey a una probabilidad 0.05 para promedios de fases fenológicas y para promedios de métodos de ETC.

Cuadro 19. Prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para promedio de fases fenológicas del cultivo de papa en la localidad de Illpa – Puno.

Orden de merito	Fases fenologicas	ETC (mm)	$p \leq 0.05$
1	Media	213,97	a
2	Desarrollo	135,73	b
3	Final	129,71	b
4	Inicial	72,81	c

En el cuadro 19, se observa los resultados de la prueba de significancia Tukey a una probabilidad de $p \leq 0.05$, mostrando una variabilidad en la evapotranspiración del cultivo para cada fase fenológica, en un periodo vegetativo de 152 días en el cual la fase de mediados difiere estadísticamente de las demás fases con una evapotranspiración de 213,97 mm siendo en

esta fase de mayor consumo de agua, seguido por las fases de desarrollo y final con 135,73 y 129,71 mm respectivamente, el cual no difieren estadísticamente y por último la fase fenológica que solo requiere de 72,81 mm de agua con una diferencia significativa.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados podemos mencionar, que la fase en que el cultivo de papa variedad silver requiere de mayor cantidad de agua es en la fase de mediados; debido a que abarca el mayor número de días y es donde la planta presenta gran cantidad de follaje, por lo que existe una mayor actividad fotosintética y se presenta un mayor desarrollo de los tubérculos, por lo que la demandad de agua es mayor y es considerada la fase fenológica más exigente durante todo el periodo vegetativo.

Cuadro 20. Prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para entre métodos de obtención de ETC de papa en la localidad de Illpa – Puno.

Orden de merito	Metodos	ETC (mm)	$p \leq 0.05$
1	Lisimetro	152,69	a
2	Hargreaves F (T)	147,22	a
3	Serruto	144,85	a
4	Hargreaves F (Hs)	107,45	b

En el cuadro 20, se muestra los resultados de la prueba de significancia tukey a una probabilidad de $p \leq 0.05$ para los métodos utilizados para determina la evapotranspiración, en un periodo vegetativo de 152 días, donde se puede observar que el método directo, como es el lisímetro presenta una evapotranspiración de 152.69 mm, seguido del método de Hargreaves en función a la temperatura y. Serruto con una evapotranspiración de 147.22 y 144,85 mm respectivamente, por lo que no existe diferencias estadísticas significativas y finalmente el método de Hargreaves en función a horas sol con 107,45 mm, siendo inferiores estadísticamente a los demás métodos.

Cabe mencionar que el método lisímetro es estadísticamente superior y el más confiable para determinar la evapotranspiración, con respecto a los otros métodos utilizados, debido a las variables meteorológicas aplicadas, sin embargo, el método de Hargreaves en función a la temperatura y el método Serruto son los más cercanos al método directo por los que se puede decir que son factibles su utilización para la determinación de ETC en el cultivo de papa.

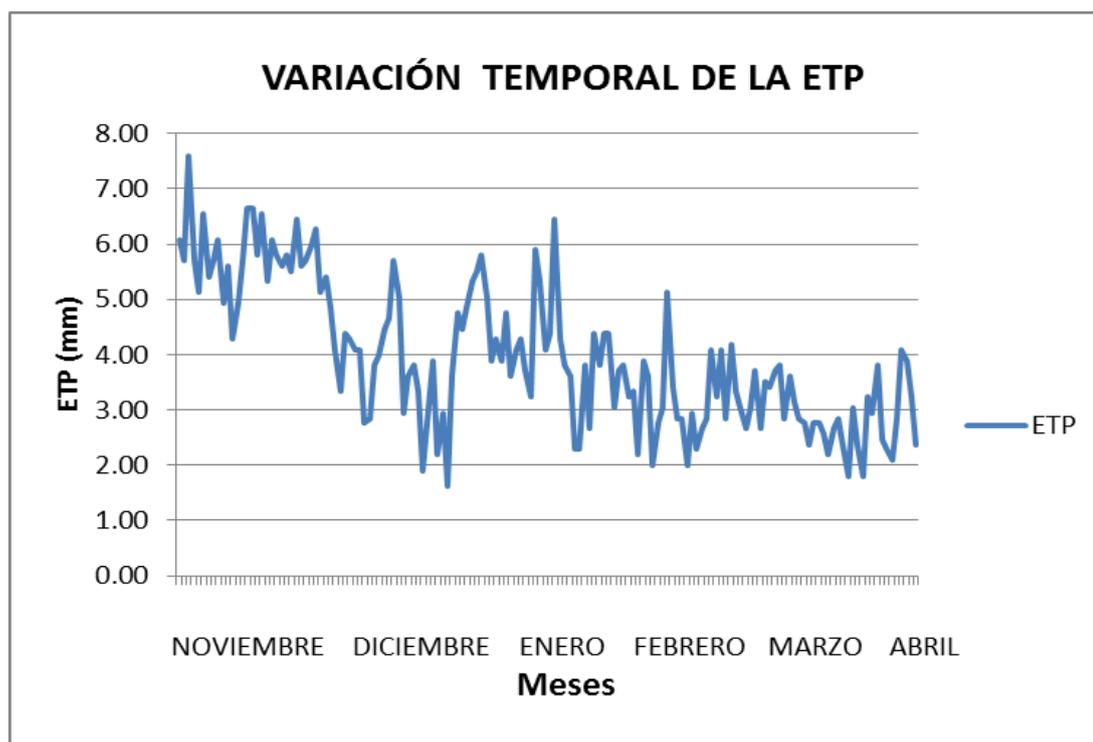
4.2 COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) PARA EL CULTIVO DE PAPA

4.2.1 DETERMINACION DE COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) POR EL METODO DEL LISIMETRO

Teniendo en cuenta que existen otras fuentes para asumir el coeficiente de cultivo K_c , como son los Organismos Internacionales y Nacionales; así tenemos la Organización de las Naciones Unida para la Agricultura y la alimentación (FAO), el Departamento de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norte América y la Asociación de Ingenieros Civiles (ASCE), no obstante existen diferencia en cada uno, debido a que publican resultados como una referencia a una información técnica y no para asumirlos, que responden a condiciones climáticas edafológicas propias de cada zona, es por ello la necesidad de obtener valores de coeficiente de cultivo (K_c) a través del lisímetro para las condiciones del altiplano de Puno.

En la determinación del coeficiente del cultivo (K_c) por el método de lisímetro primero se determinó la variación temporal de la ETP durante la campaña agrícola 2010 – 2011, mostrándonos en la (Grafico 7), ETP que se obtuvo a partir de la evaporación diaria registradas durante la campaña agrícola, en base a esa información se logró determinar el K_c para el cultivo de papa método lisímetro sistema NFC (Cuadro 28).

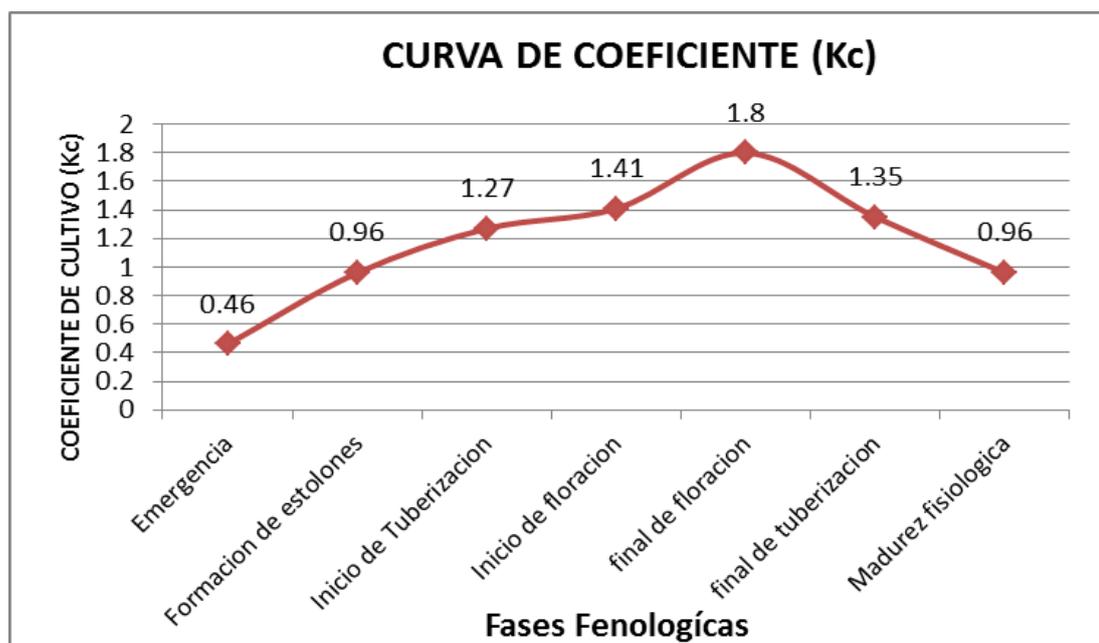
Grafico 7. Variación diaria de la evapotranspiración potencial en función a la evaporación del tanque Alimentador.



Los últimos 27 días del mes de noviembre 2010.
Los primeros 4 días del mes de abril 2011.

El grafico 8, muestra la curva de coeficiente de cultivo (K_c), en las diferentes fases fenológicas según (Lescano, 1994), durante la duración del periodo vegetativo del cultivo de papa; en donde se observa la variación de los valores obtenidos del K_c , desde la emergencia con un $K_c = 0,46$ en el cual la superficie del suelo está con poca cobertura vegetal, alcanzando a su máximo valor en la fase fenológica de final de floración con un $K_c = 1,8$ los cuales ocurrieron durante los meses de diciembre, enero y febrero, donde las temperaturas medias registradas fueron de $10,8^{\circ}\text{C}$, $11,3^{\circ}\text{C}$ y $10,6^{\circ}\text{C}$ respectivamente; a partir de ahí descendiendo su valor, hasta alcanzar la madurez fisiológica con un $K_c = 0.96$, en donde las hojas empiezan a tomar color amarillo y decaerse habiendo poco actividad fotosintética de la planta .

Grafico 8. Curva de coeficiente de cultivo (K_c) por fases fenológicas, para el cultivo de papa. Método del lisímetro NFC.



4.2.2 ESTIMACION DE COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) ASUMIDO POR LA METODOLOGIA FAO

Los valores obtenidos para el coeficiente de cultivo K_c por la metodología FAO, se estimaron de acuerdo a la duración del periodo vegetativo en el cultivo de papa, graficándose la curva de K_c (según la metodología propuesta por la FAO), y a partir del cual se obtuvo los valores interpolados del grafico (grafico 9) y optando el valor medio de K_c para cada fase fenológica (tomando en referencia a la duración de las fases fenológicas observados en el sistema de lisímetro).

En el cuadro 21, se muestra la adecuación de las fases fenológicas observadas en el campo según Lescano (1994) a la metodología propuesta por la FAO y observándose de esta forma los valores de K_c interpolados que corresponden a cada fase fenológica del cultivo de papa. Los valores obtenidos que se encuentran dentro del rango de 0,50 a 1,13 con una media de 0,88, siendo menores a los obtenidos por el método lisímetro (tabla 14), que se obtuvo una media de $K_c = 1,17$ demostrándonos que existe una

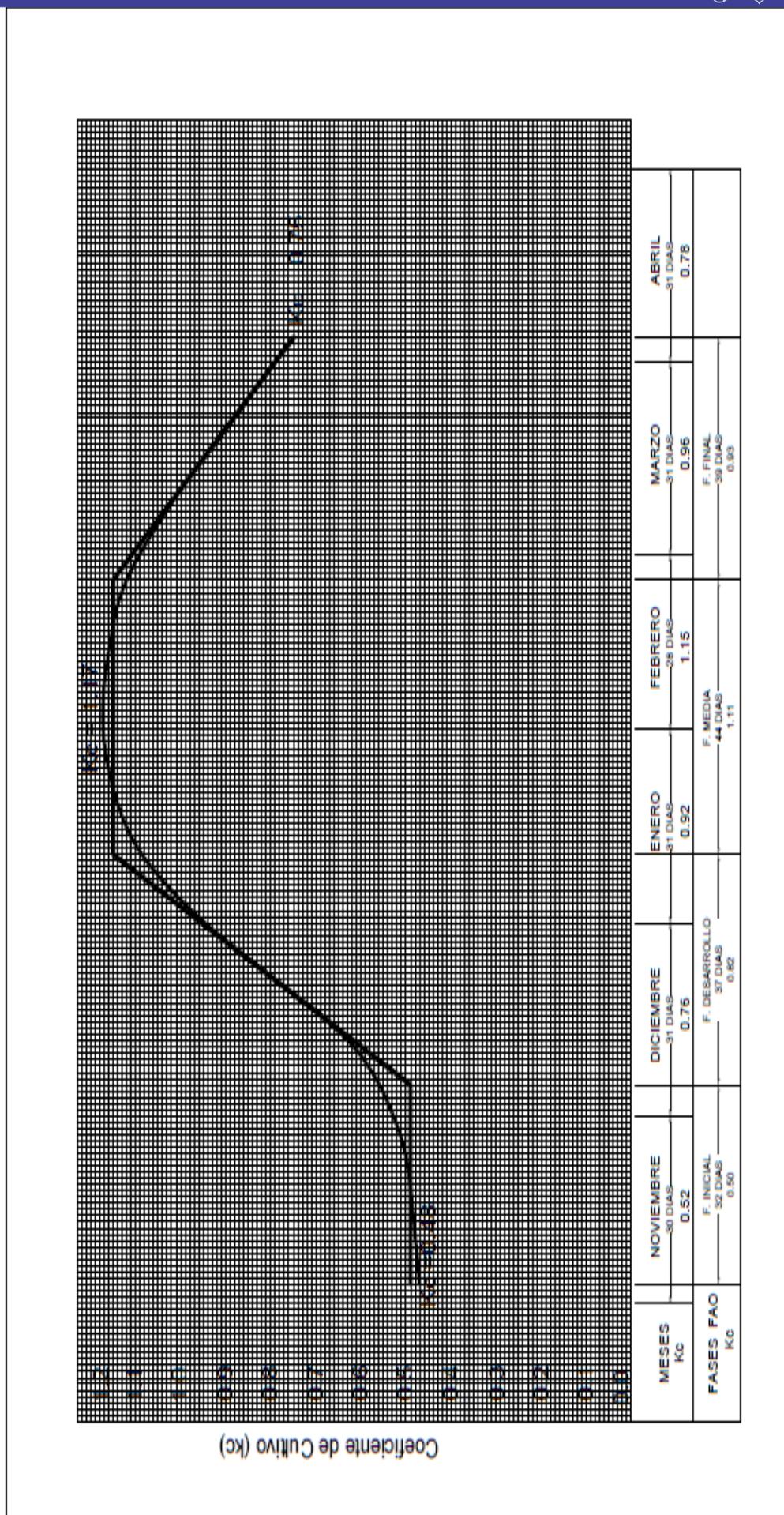
variación relativa en cuanto a los valores determinados por ambos métodos, dicho esto se considera que los datos obtenidos por el método directo son confiables, puesto que son datos obtenidos de la misma zona.

Cuadro 21. Coeficiente de cultivo interpolado a partir de la curva Kc (FAO).

FASES FENOLOGICAS	Nº de Dias	Kc Asumido	FASE (FAO*)	Kc Asumido (FAO*)
Emergencia	32	0,50	I	0,50
Inicio de formacion de estolones	17	0,66	II	0,82
Inicio de tuberizacion	20	0,94		
Inicio de la floracion	16	1,13	III	1,11
final de la floracion	28	1,11		
Final de la tuberizacion	20	1,00	IV	0,93
Madurez fisiologica	19	0,83		
TOTAL	152			

Sin embargo, se puede observar que los valores mayores de Kc corresponden a las fases inicio de floración y final de floración con Kc de 1,13 y 1,11 respectivamente, demostrándose así que en estas dos fases el cultivo presenta mayor desarrollo vegetativo, como también se muestra un Kc de 1.11 en la tercera fase siendo el valor más alto, para la metodología FAO.

Grafico 9. Curva de coeficiente de cultivo (Kc) para métodos indirectos, método FAO, para cultivo de papa.



4.3 CALCULO DE LA DEMANDA DE AGUA DEL CULTIVO DE PAPA (Da)

La demanda de agua fue calculada para determinar la cantidad de agua que requerirá el cultivo en una determinada zona el cual se dará en m³/ha, para ello primero se estimó la evapotranspiración del cultivo ETC y luego se determinó la precipitación efectiva (PE) a una probabilidad del 75 %, como se observa en el cuadro 48 (anexo), para ello se aplicó el procedimiento propuesto por (Vasquez y Chang, 1982), tomándose registros de promedios de precipitaciones pluviales de 10 años.

Cuadro 22. Demanda neta de riego para el cultivo de papa Var. Silver para cada fase fenológica, en mm., en la localidad Illpa-Puno.

FASES FENOLOGICAS	Nº de Dias	FASE (FAO)	LISIMETRO	HARGRE. F(T)	HARGRE. F(H. SOL)	SERRUTO
Emergencia	32	I	68,84	58,67	42,68	57,85
Inicio de form. de estolones	17	II	37,22	28,18	13,44	26,73
Inicio de tuberizacion	20		57,26	56,63	32,17	55,34
Inicio de la floracion	16	III	55,35	57,47	34,14	57,14
final de la floracion	28		74,56	57,79	15,72	57,38
Final de la tuberizacion	20	IV	34,48	32,14	10,08	30,47
Madurez fisiologica	19		10,63	25,57	9,17	22,09
TOTAL	152		338,36	316,46	157,41	307,01

En el cuadro 22, se muestra la demanda neta de riego para el cultivo de papa, mostrándonos en cada fase fenológica los valores requeridos, sin embargo también podemos observar que el método lisímetro requiere de 338,36 mm de lámina de agua siendo 3383,6 m³/ha, donde la fase de final floración es la fase en que requiere mayor demanda de agua con 74,56 mm de lámina de agua, luego se encuentra el método Hargreaves en función a la temperatura con 316,46 mm de lámina de agua, seguidamente el método Serruto con 307,01 mm de lámina de agua y por último el método de Hargreaves en función a horas sol con 157,41 mm.

Cuadro 23. Demanda neta de riego para el cultivo de papa Var. Silver para cada fase fenológica propuesta por la FAO, en mm., en la localidad Illpa-Puno.

FASE FENOLOGICA (días)	Nº de Días	LISIMETRO	HARGRE F (T)	HARGRE F (H. Sol)	SERRUTO
I. INICIAL	32	68.84	58.67	42.68	57.85
II. DESARROLLO	37	94.49	84.81	45.61	82.07
III. MEDIA	44	129.91	115.27	49.86	114.52
IV. FINAL	39	45.12	57.70	19.25	52.57
TOTAL	152	338.36	316.46	157.41	307.01

Sin embargo, se puede observar en el cuadro 23, que la demanda neta de riego en los cuatro métodos para las fases propuesta por la FAO donde se observa que, en la fase mediados, siendo en los meses de enero y febrero es donde el cultivo requiere de mayor cantidad de agua para su desarrollo.

Cuadro 24. Demanda neta de riego (Dn) por meses para el cultivo de papa var. Silver, en la localidad Illpa-Puno. Método lisímetro.

MESES	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
CONCEPTO	(-)					(*)	
ETC (mm/mes)	67,62	117,53	157,64	156,77	103,21	7,99	610,76
PE(mm)	8,21	47,04	55,05	88,74	71,43	1,94	272,41
Dn (mm/mes)	59,41	70,49	102,59	68,03	31,78	6,05	338,36
Da (m3/ha)	594,1	704,9	1025,9	680,3	317,8	60,5	3383,56

(-) Los últimos 27 días del mes de noviembre 2010.

(*) Los primeros 4 días del mes de abril 2011.

Por otro lado en el cuadro 24, se muestra la demanda neta de riego para los meses en que dure el periodo vegetativo del cultivo, desde el día en que se siembra hasta el día en que se cosecha, observando una demanda neta de 338,36 mm de lámina de agua para todo en periodo vegetativo y el mes en que la demanda es mayor es en el mes de enero con 102,59 mm, debido a que la temperatura media es alta, la ausencia de lluvias es frecuente, la duración de horas sol son mayores y por ende la presencia de veranillo; debido a ello la importancia de realizar el riego complementario en la zona.

Cuadro 25. Demanda neta de riego (Dn) por meses para el cultivo de papa var. Silver, en la localidad Illpa-Puno. Método Hargreaves F(T).

MESES	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
CONCEPTO	(-)					(*)	
ETP(mm/dia)	4,63	4,81	4,75	4,50	3,98	3,77	
ETP (mm/mes)	124,88	149,14	147,26	125,99	123,39	15,08	685,74
Kc	0,52	0,76	0,92	1,15	0,96	0,78	
ETC (mm/mes)	64,94	113,35	135,48	144,89	118,45	11,76	588,87
PE(mm)	8,21	47,04	55,05	88,74	71,43	1,94	272,41
Da (mm/mm)	56,73	66,31	80,43	56,15	47,02	9,82	316,46
Da (m3/ha)	567,31	663,07	804,31	561,47	470,21	98,22	3164,6

(-) Los últimos 27 días del mes de noviembre 2010.

(*) Los primeros 4 días del mes de abril 2011.

En el cuadro 25, se observa la demanda neta de riego por meses para el método hargreaves en función a la temperatura, en donde se puede observar la evapotranspiración del cultivo mensualmente para todo su periodo vegetativo del cultivo de papa, mostrándonos un ETC de 588,87 mm y una demanda neta de 316,46 mm de lámina hídrica (3164,6 m³/ha), por lo que también puede observarse que en el mes de enero la demanda neta es mayor con 80,43 mm.

Cuadro 26. Demanda neta de riego (Dn) por meses para el cultivo de papa var. Silver, en la localidad Illpa-Puno. Método Hargreaves F(h. sol).

MESES	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
CONCEPTO	(-)					(*)	
ETP(mm/dia)	3,68	3,50	3,46	3,14	2,94	2,72	
ETP (mm/mes)	99,48	108,40	107,26	87,79	91,23	10,88	505,04
Kc	0,52	0,76	0,92	1,15	0,96	0,78	
ETC (mm/mes)	51,73	82,38	98,68	100,95	87,58	8,49	429,81
PE(mm)	8,21	47,04	55,05	88,74	71,43	1,94	272,41
Da (mm/mm)	43,52	35,34	43,63	12,21	16,15	6,55	157,4
Da (m3/ha)	435,20	353,45	436,28	122,12	161,49	65,52	1574,1

(-) Los últimos 27 días del mes de noviembre 2010.

(*) Los primeros 4 días del mes de abril 2011.

Este método es en donde la evapotranspiración del cultivo y la demanda neta de riego son bajas como se observa en el cuadro 26, debido a las variables meteorológicas aplicadas para su desarrollo, por lo que se aleja significativamente de los resultados obtenidos por el método lisímetro

Mientras que el cuadro 27, muestra la demanda neta de riego y la evapotranspiración del cultivo para el método Serruto donde se observa para cada mes durante el periodo vegetativo de 152 día mostrándonos una demanda neta de 307,01 mm de lámina hídrica, por lo que se acerca al método lisímetro, por lo que cabe mencionar que el único parámetro meteorológico utilizado para determinar la ETC fue la temperatura media.

Cuadro 27. Demanda neta de riego (Dn) por meses para el cultivo de papa var. Silver, en la localidad Illpa-Puno. Método Serruto.

MESES	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
CONCEPTO	(-)					(*)	
ETP(mm/día)	4,59	4,68	4,73	4,49	3,88	3,09	
ETP (mm/mes)	123,89	145,12	146,69	125,70	120,38	12,35	674,13
Kc	0,52	0,76	0,92	1,15	0,96	0,78	
ETC (mm/mes)	64,42	110,29	134,96	144,56	115,56	9,63	579,42
PE(mm)	8,21	47,04	55,05	88,74	71,43	1,94	272,41
Da (mm/mm)	56,21	63,25	79,91	55,81	44,13	7,69	307,01
Da (m3/ha)	562,15	632,48	799,08	558,15	441,34	76,93	3070,1

(-) Los últimos 27 días del mes de noviembre 2010.

(*) Los primeros 4 días del mes de abril 2011.

V. CONCLUSIONES

Para las condiciones en que se produjo el experimento durante la campaña agrícola 2010-2011, en la determinación de la Evapotranspiración y coeficiente (K_c) del cultivo de papa variedad silver, durante su periodo vegetativo y en cada una de sus fases fenológicas, se emplearon cuatro métodos; un método del lisímetro y tres métodos indirectos, Hargreaves en función a la temperatura, Hargreaves en función a la radiación solar y el método Serruto, en la localidad de ILLPA – PUNO, se llegaron a las siguientes conclusiones.

1. Los resultados de la evapotranspiración del cultivo de papa están relacionados directamente en función a su periodo vegetativo que se da en 152 días, obteniendo un resultado de 610,76 mm de lámina hídrica para el método directo del lisímetro y para los métodos indirectos como son: Hargreaves en función a la temperatura con 588,87 mm de lámina hídrica, Hargreaves en función a la radiación solar con 429,81 mm de lámina hídrica y el método Serruto con 579,42 mm de lámina hídrica. Realizando una comparación de los resultados de la evapotranspiración del cultivo para los diferentes métodos se concluye que los valores del método Hargreaves en función a la temperatura y el método Serruto son los que se aproximan a los valores del método lisímetro, mientras que el resultado por el método Hargreaves en función a la radiación solar es inferior a los demás métodos.
2. El coeficiente de cultivo (K_c) para el cultivo de papa por el método de lisímetro varía, puesto que está en función a la duración del periodo vegetativo de acuerdo a sus fases fenológicas, observando la fase de emergencia con un K_c de 0,46 siendo el valor mínimo, mientras que en la fase final de la floración se tiene un K_c de 1,8 siendo el valor máximo, durante el periodo vegetativo de 152 días, mostrándonos una ligera variación en cuanto a la estimación de coeficiente de cultivo (K_c) para la metodología propuesta por la FAO, con un K_c de 0,50 para la fase de

emergencia siendo el valor mínimo y para la fase de inicio de floración con un Kc de 1,13 siendo el valor máximo

3. Con respecto a la demanda neta de riego para el cultivo de papa durante su periodo vegetativo, se concluye que por el método de lisímetro se obtuvo una lámina hídrica de 338,36 mm, siendo superior a los métodos indirectos utilizados; como son: Hargreaves en función a la temperatura, Hargreaves en función a horas sol y método Serruto que obtuvieron una lámina hídrica de 316,46; 157,41 y 307,01 mm. respectivamente, considerando una precipitación efectiva de 272,41 mm. para los métodos ya mencionados.



VI. RECOMENDACIONES

Una vez culminada el presente trabajo con las conclusiones ya realizadas se pueden dar las siguientes recomendaciones.

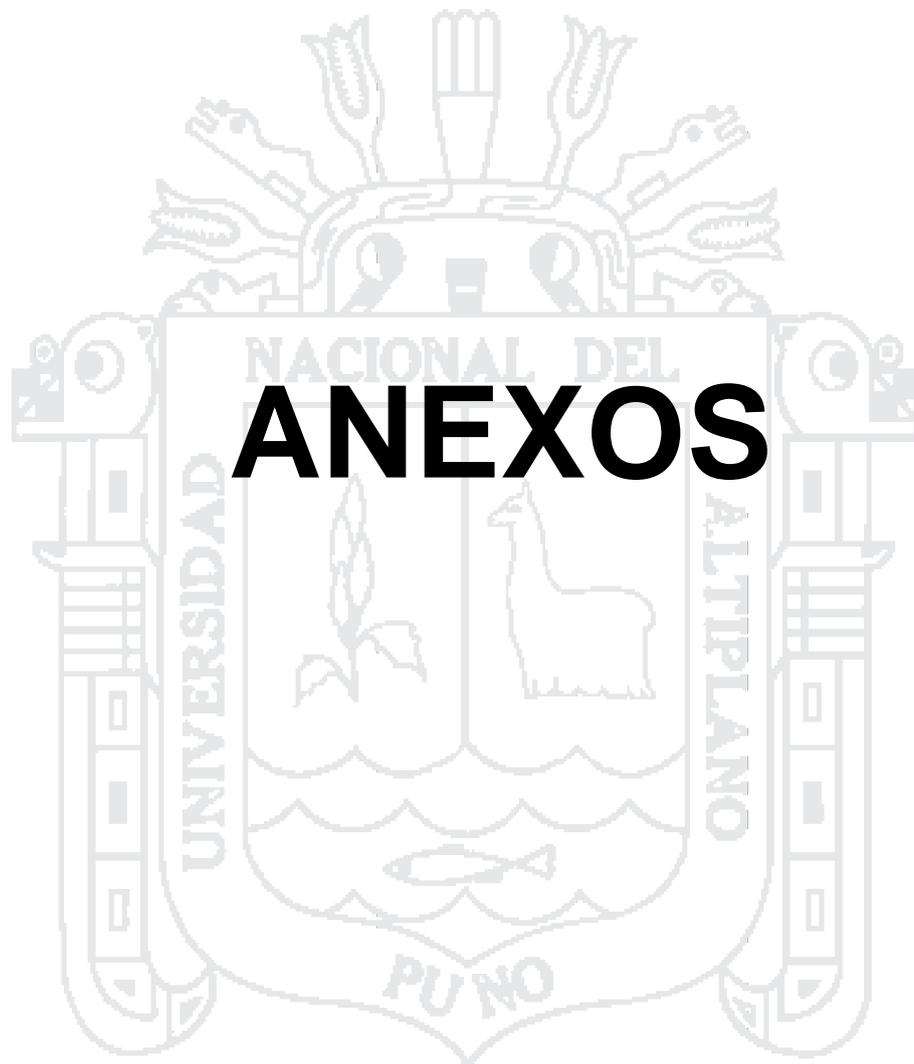
1. Se recomienda realizar trabajos de investigaciones similares, en zonas potenciales del cultivo de papa.
2. Realizar trabajos de evapotranspiración del cultivo para las diferentes variedades de papa.
3. Se recomienda realizar trabajos para determinar el Kc en los diferentes cultivos para la región del altiplano Puneño.
4. Se recomienda la instalación de estaciones meteorológicas por pisos ecológicos, para obtener informaciones sobre Ev, T^o, P y así poder calcular con precisión la ETC de los cultivos.

VII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Aparicio, M. J. 2004. Fundamentos de hidrología de superficie, duodécima impresión. Editorial Limusa balderas- Mexico. 303 p.
- Aldabe, L. y Santiago, D. 2006. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa. Universidad de la República - Facultad de Agronomía, Uruguay 16 p.
- Brenes, A. 2008. Recolecta, Conservación y Caracterización de las papas silvestres de Costa Rica. Universidad de Costa Rica 596p.
- Castellvi, S. F. 1996 Agrometeorología. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Barcelona, España, Mundi Prensa. 517p
- Cahuana, R. y Arcos J. 1993. Variedades de Papa más importantes en Puno y lineamientos para su caracterización. Del programa interinstitucional de waru waru PIWA/PELT/INADE – IC/COTESU Puno, Perú 52p
- Coaquira, D. 2009. Determinación de las Necesidades de agua en el Cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd. Var. Salcedo Inia) en Puno, Tesis Ing. Agronómica, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. 80 p.
- Coila, D. 1981. Uso Consuntivo en el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* Juz et Buk) Variedad Imilla negra. Tesis Ing. Agronómica Universidad Nacional Técnica del Altiplano. Puno, Perú. 49 p.
- De Santa Olalla, M. F. 2005. Agua y Agronomía. Editorial Mundi Prensa. España. 600 p.
- Doorembos, J. y Pruit, W. O. 1982. Las necesidades de agua de los cultivos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú 192p.
- García, V. J. 1992. Agro meteorología. Editorial E. Martell. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú. 176 p.

- Gurovich, L. A. 1999. Riego superficial tecnificado. 4ª ed. Edit. Alfa Omega. México, D. F. 610 p.
- Hargreaves, H.G. 1975. "Manual de requerimiento de agua para los cultivos bajo riego y la agricultura bajo secano". AID, de los EE.UU. de Norte América 37p.
- Lescano, R. J. 1994. Genética y Mejoramiento de cultivos alto andinos, Convenio PELT – INADE- COTESU. 85p.
- Luque, J. A. 1981. Hidrología Agrícola Aplicada. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires. Argentina. 362 p.
- Mamani, R. 1989. Necesidad de Agua para el Cultivo de Oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) En el Distrito de Puno. Tesis Ing. Agronómica Universidad Nacional Técnica del Altiplano – Puno, Perú. 45 p
- Medardo, M. 1975. Hidrología. Universidad Nacional Agraria La Molina., Departamento de Recursos de Agua y Tierra, Lima, Perú. 260 p.
- Monsalve, S. G. 1999, Hidrología en la Ingeniera. Segunda edición Alfa Omega 879 p.
- Naranjo, H. 1991. Aspectos de tecnología del cultivo de papa. Ecuador de la fundación para el desarrollo agropecuario de papa Quito, Ecuador. 124 p.
- Olivera, V, S. 1997. Determinación de Uso Consuntivo en el Cultivo de avena y alfalfa en el Sector de Riego Canteria. Tesis Ing. Agronómica Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Perú. 84 p
- Pacheco, J. y Alonso, N. 1995. Riego y Drenaje. 3ª Ed., "S.I.", Editorial Pueblo y Educación, 414 p.
- Parson, D. 1989. Manuales para educación agropecuaria papa. 1º ed. Editorial trillas México. 141 p.

- Pizarro, C. F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 3ª ed. Ediciones Mundi – Prensa. España. 513 p.
- Ramirez, C. M. 2001. Determinación de la evapotranspiración del cultivo de maca en Puno. Tesis Ing. Agronómica Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Perú. 79 p
- Reyes, L.V. 1992. Hidrología Básica. Concejo Nacional de la Ciencia y Tecnología, CONCITEC Lima, Perú. 222p
- Rodriguez, P. M. 2000. Obtención de nuevas variedades rendidoras de papa mediante selección recurrente en Puno. Tesis Maestría en Cultivos andinos. Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Perú. 120 p.
- Serruto, A. R. 2003. Riegos y Drenajes. Curso de actualización para examen de suficiencia profesional. Facultad de Ciencias Agrarias, UNA – Puno. Perú. 69 p.
- Solano, M. 2000. Botánica Sistemática. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú 85 p.
- Vásquez, A. y Chang, L. 1992. El Riego. Tomo I. Lima. Perú. 160 p
- Vásquez, A y Vásquez, I. 1997 Principios Básicos del Riego. FIMART S.A.C. Ediciones 265 p.
- Velásquez, R. 1990. Diseños experimentales. Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Perú. 60 p.
- Villapando, J. y Ariel, J. 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Noriega Editores – México. 340 p
- Zanabria, E. y Benegas, M. 1997. Entomología Económica sostenible. 1º ed. Aquarium Impresiones Puno, Perú. 168 p.



Anexo 1. ETC, ETP Y Kc determinados para cada día, mes y fase fenológica del cultivo de papa, Método del Lisímetro.

Tanque alimentador: (TA)
Área: 1250 cm²
Área: 12.5 dm²
h: Lectura TA/día (mm)

Tanque de cultivo: (TC)
Área: 1.44m²
Kp: 0.90

Nº días	Fecha	h. TA (mm)	ETC Diario (mm)	ETP Diario (mm)	COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)	
					(Kc) DIARO	PROMEDIO
						MES Fase Fenológica
1	4/11/2010	22	1,91	6,08	0,31	Siembra
2	5	22	1,91	5,70	0,34	
3	6	24	2,08	7,60	0,27	
4	7	24	2,08	5,70	0,37	
5	8	24	2,08	5,13	0,41	
6	9	25	2,17	6,56	0,33	
7	10	25	2,17	5,42	0,40	
8	11	26	2,26	5,70	0,40	
9	12	27	2,34	6,08	0,39	
10	13	27	2,34	4,94	0,47	
11	14	28	2,43	5,61	0,43	
12	15	26	2,26	4,28	0,53	
13	16	28	2,43	4,94	0,49	
14	17	29	2,52	5,70	0,44	
15	18	31	2,69	6,65	0,40	
16	19	30	2,60	6,65	0,39	
17	20	30	2,60	5,80	0,45	
18	21	31	2,69	6,56	0,41	
19	22	31	2,69	5,32	0,51	
20	23	32	2,78	6,08	0,46	
21	24	32	2,78	5,80	0,48	
22	25	32	2,78	5,61	0,50	
23	26	33	2,86	5,80	0,49	
24	27	33	2,86	5,51	0,52	
25	28	35	3,04	6,46	0,47	
26	29	35	3,04	5,61	0,54	
27	30	37	3,21	5,70	0,56	
28	01/12/2010	38	3,30	5,99	0,55	Emergencia
29	2	39	3,39	6,27	0,54	
30	3	39	3,39	5,13	0,66	
31	4	40	3,47	5,42	0,64	
32	5	40	3,47	4,85	0,72	

33	6	39	3,39	4,09	0,83		
34	7	37	3,21	3,33	0,97		
35	8	40	3,47	4,37	0,79		
36	9	41	3,56	4,28	0,83		
37	10	40	3,47	4,09	0,85		
38	11	41	3,56	4,09	0,87		
39	12	37	3,21	2,76	1,17		
40	13	38	3,30	2,85	1,16		
41	14	41	3,56	3,80	0,94		
42	15	42	3,65	3,99	0,91		
43	16	44	3,82	4,47	0,86		
44	17	46	3,99	4,66	0,86		
45	18	49	4,25	5,70	0,75		
46	19	48	4,17	5,04	0,83		
47	20	47	4,08	2,95	1,39		
48	21	48	4,17	3,61	1,15		
49	22	48	4,17	3,80	1,10		
50	23	47	4,08	3,33	1,23		
51	24	47	4,08	1,90	2,15		
52	25	48	4,17	3,04	1,37		
53	26	49	4,25	3,90	1,09		
54	27	47	4,08	2,19	1,87		
55	28	48	4,17	2,95	1,41		
56	29	47	4,08	1,62	2,53		
57	30	48	4,17	3,61	1,15		
58	31	51	4,43	4,75	0,93	1,07	
59	01/01/2011	50	4,34	4,47	0,97		
60	2	52	4,51	4,85	0,93		
61	3	53	4,60	5,32	0,86		
62	4	55	4,77	5,51	0,87		
63	5	57	4,95	5,80	0,85		
64	6	56	4,86	5,04	0,97		
65	7	56	4,86	3,90	1,25		
66	8	58	5,03	4,28	1,18		
67	9	57	4,95	3,90	1,27		
68	10	59	5,12	4,75	1,08		
69	11	57	4,95	3,61	1,37		
70	12	59	5,12	4,09	1,25		
71	13	61	5,30	4,28	1,24		
72	14	59	5,12	3,71	1,38		
73	15	58	5,03	3,23	1,56		
74	16	61	5,30	5,89	0,90		
75	17	61	5,30	5,32	1,00		
76	18	60	5,21	4,09	1,27		

Inicio de
Formación
de estolones
0,96

Inicio de
Tuberización
1,27

77	19	62	5,38	4,37	1,23			
78	20	65	5,64	6,46	0,87			
79	21	64	5,56	4,28	1,30			
80	22	62	5,38	3,80	1,42			
81	23	60	5,21	3,61	1,44			
82	24	58	5,03	2,28	2,21			
83	25	58	5,03	2,28	2,21			
84	26	59	5,12	3,80	1,35			
85	27	58	5,03	2,66	1,89			
86	28	59	5,12	4,37	1,17			
87	29	59	5,12	3,80	1,35			
88	30	61	5,30	4,37	1,21			
89	31	62	5,38	4,37	1,23	1,26		
90	01/02/2011	61	5,30	3,04	1,74			
91	2	63	5,47	3,71	1,48			
92	3	64	5,56	3,80	1,46			
93	4	63	5,47	3,23	1,69			
94	5	64	5,56	3,33	1,67			
95	6	63	5,47	2,19	2,50			
96	7	65	5,64	3,90	1,45			
97	8	65	5,64	3,61	1,56			
98	9	62	5,38	2,00	2,70			
99	10	64	5,56	2,76	2,02			
100	11	67	5,82	3,04	1,91			
101	12	69	5,99	5,13	1,17			
102	13	68	5,90	3,42	1,73			
103	14	67	5,82	2,85	2,04			
104	15	67	5,82	2,85	2,04			
105	16	66	5,73	2,00	2,87			
106	17	68	5,90	2,95	2,00			
107	18	67	5,82	2,28	2,55			
108	19	68	5,90	2,66	2,22			
109	20	69	5,99	2,85	2,10			
110	21	70	6,08	4,09	1,49			
111	22	66	5,73	3,23	1,77			
112	23	66	5,73	4,09	1,40			
113	24	64	5,56	2,85	1,95			
114	25	65	5,64	4,18	1,35			
115	26	60	5,21	3,33	1,57			
116	27	55	4,77	3,04	1,57			
117	28	50	4,34	2,66	1,63	1,84		
118	01/03/2011	51	4,43	3,04	1,46			
119	2	52	4,51	3,71	1,22			
120	3	51	4,43	2,66	1,66			
							Inicio de floración	
								1,41
							Final de la Floración	
								1,80

121	4	50	4,34	3,52	1,23		
122	5	50	4,34	3,42	1,27		
123	6	51	4,43	3,71	1,19		
124	7	51	4,43	3,80	1,17		
125	8	49	4,25	2,85	1,49		
126	9	50	4,34	3,61	1,20		
127	10	47	4,08	3,14	1,30		
128	11	44	3,82	2,85	1,34		
129	12	40	3,47	2,76	1,26		
130	13	38	3,30	2,38	1,39		
131	14	38	3,30	2,76	1,20		
132	15	39	3,39	2,76	1,23		
133	16	37	3,21	2,57	1,25		
134	17	35	3,04	2,19	1,39		
135	18	36	3,13	2,66	1,17		
136	19	37	3,21	2,85	1,13		
137	20	35	3,04	2,38	1,28		
138	21	34	2,95	1,81	1,64		
139	22	33	2,86	3,04	0,94		
140	23	30	2,60	2,38	1,10		
141	24	28	2,43	1,81	1,35		
142	25	29	2,52	3,23	0,78		
143	26	27	2,34	2,95	0,80		
144	27	29	2,52	3,80	0,66		
145	28	26	2,26	2,47	0,91		
146	29	24	2,08	2,28	0,91		
147	30	23	2,00	2,09	0,96		
148	31	25	2,17	2,85	0,76	1,18	
149	01/04/2011	25	2,17	4,09	0,53		
150	2	24	2,08	3,90	0,53		
151	3	23	2,00	3,23	0,62		
152	4	20	1,74	2,38	0,73	0,60	
TOTAL	152	7036	610,76	603,0			
							Final de la Tuberización 1,35
							1,18
							Madurez Fisiológica 0,96

Fórmula aplicada para la obtención del ETC diario por método lisímetro:

$$ETC = ((\text{Área del TA} * h. \text{ del agua de TA mm}) / \text{Área del TC})$$

Ejm. Para ETC diario del primer día:

$$ETC = ((125000 \text{ mm}^2 * 22 \text{ mm}) / 1440000 \text{ mm}^2)$$

$$ETC = 1.91 \text{ mm}$$

Fórmula aplicada para la obtención del ETP diario por método lisímetro:

$$ETP = K_p * E_v$$

Ejm. Para ETP diario del primer día:

$$ETP = 0.95 * 6.4 \text{ mm}$$

$$ETP = 6.08 \text{ mm}$$

Fórmula aplicada para la obtención del Kc diario por método lisímetro:

$$K_c = ETC / ETP$$

Ejm. Para Kc diario del primer día:

$$K_c = 1.91 / 6.08$$

Anexo 2. Resumen por fase fenológica de ETC, ETP, y Kc Método del lisímetro NFC. 2010 – 2011 CIP – Illpa.

Fases fenologica del cultivo	Nº de Dias	ETC (mm)	FASE FAO (*)	Nº de Dias(*)	ETC (mm)(*)	ETP (mm)	Kc
Emergencia	32	84,64	I	32	84,64	184,59	0,46
Inicio de formacion de estolones	17	63,02	II	37	153,47	67,83	0,96
Inicio de tuberizacion	20	90,45				78,66	1,27
Inicio de la floracion	16	83,77	III	44	241,49	64,13	1,41
final de la floracion	28	157,73				92,72	1,80
Final de la tuberizacion	20	84,03	IV	39	131,16	62,70	1,35
Madurez fisiologica	19	47,14				52,35	0,96
TOTAL	152	610,76		152	610,76	603,0	

(*) Adecuación de acuerdo a las fases del periodo vegetativo propuesta por la FAO.

Anexo 3. Resumen por meses de ETC, ETP y Kc método de lisímetro NFC.

Campaña agrícola 2010 - 2011 CIP – Illpa

MESES	NOV (-)	DIC	FEB	MAR	ABR (*)	TOTAL
COMCEPTO						
ETC (mm/mes)	67,62	117,53	156,77	103,21	7,99	610,76
ETP (mm/mes)	156,94	122,74	89,02	88,26	13,59	603,0
ETP (mm/dia)	5,81	3,96	3,18	2,85	3,40	23,47
Kc Determinado	0,44	1,07	1,84	1,18	0,60	6,39

(-) Los últimos 27 días del mes de noviembre.

(*) Los primeros 4 días del mes de abril.

Anexo 4. Altura de planta (promedio) por fase fenológica del cultivo de papa
SLNFC: CIP – Illpa

Nº de matas en el TC: 6
Fecha de siembra: 04-11-2010
Fecha de cosecha: 04-04-2011
Periodo vegetativo: 152 días

Fecha	Fase Fenológica	Altura de la planta (cm)
05-12/2010	Emergencia	8.00
22/12/2010	Formación de estolones	30.00
11/01/2011	Inicio de tuberización	50.00
27/01/2011	Inicio de floración	85.00
24/02/2011	Final de floración	110.00
16/03/2011	Final de tuberización	80.00
04/04/2011	Madurez fisiológica	40.00

Anexo 5. Evaluación de la cosecha del cultivo de papa (TC)

Nº Planta	Altura de planta (cm)	Peso de tubérculos (gr.)	Peso (Kgr.)
1 Planta	115	1392	1,392
2 Planta	100	1124	1,124
3 Planta	105	1216	1,216
4 Planta	105	1196	1,196
5 Planta	115	1485	1,485
6 Planta	120	1652	1,652
PROM.	110	1344,17	1,34
MAX.	120	1652	1,652
MIN.	100	1124	1,124
TOTAL	-	8065	8,065

Anexo 6. Evaluación de la cosecha del cultivo de papa variedad Sylvre Sistema
lisímetro NFC

DETERMINACION	CULTIVO
Promedio (Kg.)	1344,17
SD	184,27
CV (%)	1,01
Max. (gr.)	1,652
Min. (gr.)	1,124
Produccion TC: Kg/1.44m2	8,065
Rendimiento (Kg./ha)	56006,94

Anexo 7. Determinación de la densidad aparente y humedad del suelo en el
tanque de cultivo.

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)				Humedad gravimétrica (%)			
	1º Eval.	2º Eval.	3º Eva.	Prom.	1º Eva.	2º Eva.	3º Eva.	Prom.
	15/11/10	03/01/11	18/03/11		15/11/10	03/01/11	18/03/11	
30	1.328	1.329	1.331	1.329	21.73	23.39	25.12	23.41

Anexo 8. Propiedades físicas del suelo.

Localidad: CIP – Illpa – Puno.

Arena: 38 % Arcilla: 27% Limo: 35%

Textura del suelo	θ CC %	θ PMP %	Densidad aparente g/cm ³
Franco arcilloso	27 (23-31)	13 (11-15)	1.35 (1.30-1.40)

Anexo 10. Evaporación diaria en mm, en la campaña agrícola 2010/2011

ESTACION: CO. 115060 LATITUD:15°26'39" DEPARTAMENTO: PUNO
 LONGITUD:70°12'28.2 " PROVINCIA: SAN ROMAN
 JULIACA MOCAYACHE ALTITUD: 3826 m.s.n.m DISTRITO: JULIACA

DIA/MES	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1	6,5	6,3	4,7	3,2	3,2	4,3
2	6,8	6,6	5,1	3,9	3,9	4,1
3	5,6	5,4	5,6	4	2,8	3,4
4	6,4	5,7	5,8	3,4	3,7	2,5
5	6	5,1	6,1	3,5	3,6	2,4
6	8	4,3	5,3	2,3	3,9	2,8
7	6	3,5	4,1	4,1	4	2,7
8	5,4	4,6	4,5	3,8	3	2,9
9	6,9	4,5	4,1	2,1	3,8	3,2
10	5,7	4,3	5	2,9	3,3	3,2
11	6	4,3	3,8	3,2	3	3,6
12	6,4	2,9	4,3	5,4	2,9	3,8
13	5,2	3	4,5	3,6	2,5	3,9
14	5,9	4	3,9	3	2,9	3,4
15	4,5	4,2	3,4	3	2,9	4
16	5,2	4,7	6,2	2,1	2,7	4,1
17	6	4,9	5,6	3,1	2,3	2,3
18	7	6	4,3	2,4	2,8	2,5
19	7	5,3	4,6	2,8	3	2
20	6,1	3,1	6,8	3	2,5	2,4
21	6,9	3,8	4,5	4,3	1,9	2,6
22	5,6	4	4	3,4	3,2	3,8
23	6,4	3,5	3,8	4,3	2,5	3,2
24	6,1	2	2,4	3	1,9	2,5
25	5,9	3,2	2,4	4,4	3,4	3
26	6,1	4,1	4	3,5	3,1	3,2
27	5,8	2,3	2,8	3,2	4	3
28	6,8	3,1	4,6	2,8	2,6	5,4
29	5,9	1,7	4		2,4	2,4
30	6	3,8	4,6		2,2	3,6
31		5	4,6		3	
Total	184,1	129,2	139,4	93,7	92,9	96,2
Prom	6,1	4,2	4,5	3,3	3,0	3,2

Anexo 11. Datos meteorológicos de temperaturas máximas (°C), de 10 años
Illpa – Puno.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1999	16,88	15	15,3	15,09	15,73	15,91	15,74	16,38	16,79	16,28	18,25	18,73
2000	15,85	14,8	15,6	16,47	16,96	15,69	15,44	16,76	18,37	16,51	19,47	16,95
2001	14,15	14,4	14,54	15,46	15,82	15,2	15,11	15,2	16,57	17,35	18,6	17,31
2002	16,74	15,55	15,71	15,48	15,60	15,82	14,71	16	16,63	16,68	17,47	17,23
2003	17,4	16,64	16,39	16,78	15,92	14,62	16,23	16,34	16,7	17,68	19,1	19,98
2004	17,19	17,69	18,45	18,9	17,03	16,02	15,94	17,08	18,23	18,87	18,81	17,27
2005	18,71	18,13	18,68	17,7	16,10	18,33	18,19	18,09	18,18	18,39	18,6	17,13
2006	15,34	14,72	15,33	15,56	15,5	14,9	14,65	15,5	17,32	18,19	16,2	16,17
2007	13,47	13,85	13,52	13,82	14,71	15,39	15,27	14,89	15,91	17,32	17,64	18,52
2008	16,98	16,26	17,21	17,52	17,88	17,58	16,94	17,71	19,22	18,79	19,85	17,66
Media	16,27	15,70	16,07	16,28	16,13	15,95	15,82	16,40	17,39	17,61	18,40	17,70

Fuente: Estación meteorológica INIA Illpa-Puno

Anexo 12. Datos meteorológicos de temperaturas mínima (°C), de 10 años
Illpa – Puno.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1999	3,53	3,3	2,85	0,62	-4,4	-7,48	-6,87	-4,1	-0,08	-0,15	2,05	3,1
2000	4,73	4,1	3,23	-0,7	-3,38	-6,01	-6,55	-3,59	-2,36	0,6	-1,03	1,95
2001	4,51	5,24	4,37	2,05	-1,66	-3,55	-5,72	-3,87	-0,53	0,71	2,18	2,28
2002	3,25	4,96	4,7	2,44	-1,18	-4,17	-5,69	-3,35	-1,54	1,29	2,19	2,14
2003	3,31	3,54	3,59	1,74	-1,97	-7,86	-7,3	-5,65	-3,52	-1,72	-0,79	2,06
2004	4,58	3,61	1,68	-0,07	-10,05	-7,46	-6,34	-1,69	3,62	0,94	2,36	3,07
2005	1,06	2,93	1,47	0,09	-5,13	-10,35	-12,39	-6,16	2,08	2,36	1,92	3,08
2006	3,82	4,89	3,68	1,7	-4,38	-7,25	-7,14	-3,45	-4,83	-0,76	1,73	4,56
2007	6,01	5,92	3,41	0,46	-5,81	-4,72	-6,81	-2,55	-1,94	0,29	2,41	3,63
2008	3,44	3,59	2,74	-1,16	-6,26	-9,64	-8,62	-7	-4,62	0,57	1,37	3,58
Media	3,82	4,21	3,17	0,72	-4,42	-6,85	-7,34	-4,14	-1,37	0,41	1,44	2,95

Fuente: INIA Illpa-Puno

Anexo 13. Datos meteorológicos de temperaturas media mensual (°C), de 10 años Illpa – Puno.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1999	10,44	9,98	10,14	8,55	6,39	4,25	5,03	6,35	7,01	8,63	9,07	10,32
2000	10,3	9,46	9,43	7,89	6,8	4,84	4,45	6,59	7,87	8,56	9,22	9,45
2001	9,52	9,83	9,46	8,76	7,08	5,84	4,73	5,69	8,04	9,05	10,42	9,82
2002	10,02	10,29	10,23	8,99	7,24	5,84	4,53	6,35	7,57	9,01	9,85	9,71
2003	10,38	10,12	10,02	9,29	7	3,38	4,48	5,36	6,61	8	9,18	11,05
2004	10,91	10,68	10,1	9,44	3,52	4,31	4,82	7,71	10,95	9,94	10,61	10,19
2005	9,91	10,55	10,1	9,91	5,5	4,01	2,92	5,98	10,15	10,38	10,28	10,11
2006	9,62	9,98	8,52	8,19	5,41	3,92	3,81	6,1	6,45	8,9	9,01	9,98
2007	9,75	9,91	8,51	7,12	4,65	5,42	4,23	6,2	7,01	8,92	9,02	9,88
2008	10,23	9,95	10,01	8,21	5,85	4	4,18	5,39	7,33	9,71	10,63	10,65
PROM.	10,11	10,08	9,65	8,64	5,94	4,58	4,32	6,17	7,90	9,11	9,73	10,12

Fuente: INIA Illpa-Puno

Anexo 14. Promedios mensuales de horas y decimas de sol de 5 años

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2004	5,51	6,03	6,93	8,14	9,65	7,87	8,58	7,78	8,53	9,40	8,23	7,50
2005	7,89	5,22	7,45	7,31	9,76	9,87	10,10	10,44	8,94	7,22	8,47	5,93
2006	6,90	6,18	6,27	7,63	10,10	9,28	10,21	8,35	9,13	7,68	6,15	7,79
2007	7,35	5,51	5,62	6,67	8,72	8,96	8,80	9,84	6,97	8,72	7,93	7,60
2008	6,49	6,08	3,36	3,59	9,67	9,44	10,10	9,73	9,47	8,52	9,65	6,72
PROM	6,83	5,80	5,93	6,67	9,58	9,08	9,56	9,23	8,61	8,31	8,09	7,11

Fuente: SENAMHI índice Juliaca

Anexo 15. Promedios mensuales de evaporación (2000-2008)

MESES	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	PROM.
NOV	141,5	170,8	168,2	131,9	124,9	148,7	162,3	145,1	184,1	153,1
DIC	125,2	158,4	163,4	121,9	139,3	142,5	127,4	141,8	129,2	138,8
ENE	149,2	106,9	112,4	138,6	102,7	121,2	100,5	121,4	127,8	120,1
FEB	86,2	97,2	97,7	93,8	101,9	116	98,5	90	117,1	99,8
MAR	116,8	100,3	113,7	119,4	111,8	110,9	104,2	103,3	104,4	109,4
ABRI	83,3	83,3	91,2	97,2	86,6	82,3	107,6	105,4	115,9	94,8

Anexo 16. Variable de tiempo registrado en la estación meteorológica INIA Illpa – Puno, series.

Región Puno Latitud Sur: 15°41'
 Provincia: Puno Long. Oeste: 70°05'
 Distrito: Paucarcolla Altitud: 3815 msnm.
 Localidad: Illpa.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	SERIE
Tem. Max. (°C)	16,27	15,70	16,07	16,28	16,13	15,95	15,82	16,40	17,39	17,61	18,40	17,70	99-08
Tem. Min. (°C)	3,82	4,21	3,17	0,72	-4,42	-6,85	-7,34	-4,14	-1,37	0,41	1,44	2,95	99-08
Tem. Med. (°C)	10,11	10,08	9,65	8,64	5,94	4,58	4,32	6,17	7,90	9,11	9,73	10,12	99-08
Precip. Pluvial (mm)	125,2	134,1	98,44	34,39	7,3	1,66	2,13	6,34	15,64	44,55	27,41	73	99-08
Humedad Relativa (%)	60,43	63,2	59	61	46,6	41,2	38,2	40,2	41,5	40,2	47,73	63,48	89-08
Hora Sol	6,83	5,80	5,93	6,67	9,58	9,08	9,56	9,23	8,61	8,31	8,09	7,11	04 08
Vel. de Viento (m/s)	1,47	1,68	1,55	1,28	1,29	1,53	1,6	1,56	2,16	2,03	1,75	2,04	99-08
Evaporación Media	3,83	3,53	3,58	3,01	3,06	2,75	3,08	3,78	4,29	5,12	5,14	4,61	01 08

Anexo 17. Factor de evapotranspiración potencial (MF) en mm por meses.

LAT. SUR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
15°00'	2.707	2.326	3.334	2.937	1.700	1.500	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.738
15°42'38.02"	2.726	2.335	2.332	2.210	1.676	1.474	1.586	1.846	2.121	2.499	2.604	2.760
16°00"	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769

Fuente: Vásquez y Chang, 1992.

Anexo 18. Duración máxima diaria media de las horas de insolación (N) en diferentes meses y latitudes.

LAT. SUR	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
20°00'	13.20	12.80	12.30	11.70	11.20	10.90	11.00	11.50	12.00	12.60	13.10	13.30
15°42'38.02"	12.94	12.63	12.21	11.79	11.37	11.16	11.26	11.59	12.51	12.51	12.84	13.04
15°00'	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20	11.30	11.60	12.50	12.50	12.80	13.00

Fuente: Serruto, 1987.

Anexo 19. Radiación extraterrestre (Ra) expresada en equivalente de evaporación en mm/día.

LAT. SUR	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
16°00'	16.90	16.40	15.20	13.50	11.70	10.80	11.20	12.60	14.30	15.80	16.70	16.80
15°42'38.02"	16.87	16.40	15.21	13.53	11.76	10.86	11.26	12.64	14.33	15.80	16.67	16.77
14°00'	16.70	16.40	15.30	13.70	12.10	11.20	11.60	12.90	14.50	15.80	16.50	16.60

Fuente: Serruto, 1987.

Anexo 20. Distribución de la Pe por Water Power Resource Service USA

Incremento de la precipitación pluvia (mm)	% de la precipitación Efectiva
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
150	25
>155	5

Fuente: Vásquez y Chang, 1992.

Anexo 21. Precipitaciones pluviales en mm, en INIA Illpa – Puno (1999-2008)

Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1999	131,1	145,1	120,3	75,2	7,7	0	0	4	19,9	124,1	21,9	95,1	744,4
2000	164,1	167,5	107,1	38,8	0	4,8	0,2	20,1	10,8	77,2	13,2	90,8	694,6
2001	263,3	159,3	142,1	54,4	0,6	0	3,3	7,3	35,8	55,32	13,2	92,2	826,8
2002	64,5	158,6	90,5	41,7	16,6	7,6	13,2	7,4	10	54,5	33,7	55,6	563,9
2003	107,4	74,7	94,4	27,4	31,1	4,2	0	0	36,6	4,4	29,7	57,7	467,6
2004	140,3	86,7	44,3	35,6	0	0	4,1	14,5	7,2	17,8	47,2	49,4	447,1
2005	126,7	171,6	55,7	23,8	0	0	0	0	8,8	18,4	26,2	31,2	462,4
2006	122,7	119,7	124	20,3	4,1	0	0	0	16,3	36,6	52,6	73,2	569,5
2007	71,8	103,1	123,3	14,8	12,9	0	0,5	10,1	10,4	18	14,6	97,2	476,7
2008	50,5	154,9	82,7	11,9	0	0	0	0	0,6	39,2	21,8	87,6	449,2
Suma	1242,4	1341,2	984,4	343,9	73	16,6	21,3	63,4	156,4	445,52	274,1	730	
Media	124,24	134,12	98,44	34,39	7,3	1,66	2,13	6,34	15,64	44,552	27,41	73	

Anexo 22. Precipitación probable (PPr) por la formula Wibull al 75% de probabilidad y precipitación Efectiva (PE).

m	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	$F=(m/N+1)*100$
1	263.3	171.6	142.1	75.2	31.1	7.6	13.2	20.1	36.6	124.1	52.6	97.2	9.091
2	164.1	167.5	124	54.4	16.6	4.8	4.1	14.5	35.8	77.2	47.2	95.1	18.182
3	140.3	159.3	123.3	41.7	12.9	4.2	3.3	10.1	19.9	55.32	33.7	92.2	27.273
4	131.1	158.6	120.3	38.8	7.7	0	0.5	7.4	16.3	54.5	29.7	90.8	36.364
5	126.7	154.9	107.1	35.6	4.1	0	0.2	7.3	10.8	39.2	26.2	87.6	45.455
6	122.7	145.1	94.4	27.4	0.6	0	0	4	10.4	36.6	21.9	73.2	54.545
7	107.4	119.7	90.5	23.8	0	0	0	0	10	18.4	21.8	57.7	63.636
8	64.5	103.1	82.7	20.3	0	0	0	0	8.3	18	14.6	55.6	72.727
9	61.8	86.7	55.7	14.8	0	0	0	0	7.2	17.8	13.2	49.4	81.818
10	50.5	74.7	44.3	11.9	0	0	0	0	0.6	4.4	13.2	31.2	90.909
PPr	64.5	103.1	82.7	20.3	0	0	0	0	8.3	18	14.6	55.6	Prob. 75%
PE (mm)	55.05	88.74	71.43	1.94	0	0	0	0	3.14	12.35	8.21	47.04	

Anexo 23. Calculo de la ETP ETC de papa por el método de Hargreaves en función a las temperaturas por meses.

MESES	Nº DIAS	MF (mm/mes)	ALTITUD (m)	TMM (°C)	TMF (°F)	HR (%)	CH	CE	ETP (mm/mes)	ETP (mm/dia)	Kc	ETC (mm/dia)
NOV	30	2,604	3812	9,73	49,5122	47,73	1	1,076	138,76	4,63	0,52	2,41
DIC	31	2,76	3812	10,12	50,2088	63,48	1	1,076	149,14	4,81	0,76	3,66
ENE	31	2,726	3812	10,11	50,1944	60,43	1	1,076	147,26	4,75	0,92	4,37
FEB	28	2,335	3812	10,08	50,135	63,2	1	1,076	125,99	4,50	1,15	5,17
MAR	31	2,322	3812	9,65	49,3736	59	1	1,076	123,39	3,98	0,96	3,82
ABR	30	2,21	3812	8,64	47,543	61	1	1,076	113,08	3,77	0,78	2,94

Anexo 24. Calculo de la ETP ETC de papa por el método de Hargreaves en función a horas sol por meses.

MESES	Ra (mm/dia)	DM (dias)	RMM (mm/mes)	n (hor sol prom)	N (Hor. ins)	S(%de H. Sol)	RSM(m m/mes)	TMM (°C)	TMF (°F)	ETP (mm/mes)	ETP(mm/dia)	Kc	ETC (mm/dia)
NOV	16,67	30	500,1	8,09	12,84	62,98	297,65	9,73	49,51	110,53	3,68	0,52	1,92
DIC	16,77	31	519,87	7,11	13,04	54,51	287,87	10,12	50,21	108,40	3,50	0,76	2,66
ENE	16,87	31	522,97	6,83	12,94	52,77	284,92	10,11	50,19	107,26	3,46	0,92	3,18
FEB	16,4	28	459,2	5,80	12,63	45,95	233,47	10,08	50,14	87,79	3,14	1,15	3,61
MAR	15,21	31	471,51	5,93	12,21	48,53	246,36	9,65	49,37	91,23	2,94	0,96	2,83
ABR	13,53	30	405,9	6,67	11,79	56,56	228,94	8,64	47,54	81,63	2,72	0,78	2,12

Anexo 25. Calculo de la ETP ETC de papa por el método Serruto por meses.

MESES	Radiacion Solar Extr. RS (mm/dia)	TMM (°C)	ETP(mm/dia)	Kc	ETC (mm/dia)
NOV	16,67	9,73	4,59	0,52	2,39
DIC	16,77	10,12	4,68	0,76	3,56
ENE	16,87	10,11	4,73	0,92	4,35
FEB	16,4	10,08	4,49	1,15	5,16
MAR	15,21	9,65	3,88	0,96	3,73
ABR	13,53	8,64	3,09	0,78	2,41

**TABLAS AUXILIARES MENSUALES PARA EL CULTIVO DE PAPA
CAMPAÑA AGRICOLA 2010-2011**

Anexo 26. Demanda de agua (Da) por meses para el cultivo de papa
Hargreaves en función a temperatura.

MESES	NOV (-)	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR (*)	TOTAL
CONCEPTO							
ETP(mm/dia)	4,63	4,81	4,75	4,50	3,98	3,77	
ETP (mm/mes)	124,88	149,14	147,26	125,99	123,39	15,08	685,74
Kc	0,52	0,76	0,92	1,15	0,96	0,78	
ETC (mm/mes)	64,94	113,35	135,48	144,89	118,45	11,76	588,9
PE(mm)	8,21	47,04	55,05	88,74	71,43	1,94	272,4
Da (mm/mm)	56,73	66,31	80,43	56,15	47,02	9,82	316,5
Da (m3/ha)	567,31	663,07	804,31	561,47	470,21	98,22	3164,6

Anexo 27. Demanda de agua (Da) por meses para el cultivo de papa
Hargreaves en función a horas sol.

MESES	NOV (-)	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR (*)	TOTAL
CONCEPTO							
ETP(mm/dia)	3,68	3,50	3,46	3,14	2,94	2,72	
ETP (mm/mes)	99,48	108,40	107,26	87,79	91,23	10,88	505,04
Kc	0,52	0,76	0,92	1,15	0,96	0,78	
ETC (mm/mes)	51,73	82,38	98,68	100,95	87,58	8,49	429,81
PE(mm)	8,21	47,04	55,05	88,74	71,43	1,94	272,41
Da (mm/mm)	43,52	35,34	43,63	12,21	16,15	6,55	157,4
Da (m3/ha)	435,20	353,45	436,28	122,12	161,49	65,52	1574,1

Anexo 28. Demanda de agua (Da) por meses para el cultivo de papa método Serruto

MESES	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
CONCEPTO	(-)					(*)	
ETP(mm/día)	4,59	4,68	4,73	4,49	3,88	3,09	
ETP (mm/mes)	123,89	145,12	146,69	125,70	120,38	12,35	674,13
Kc	0,52	0,76	0,92	1,15	0,96	0,78	
ETC (mm/mes)	64,42	110,29	134,96	144,56	115,56	9,63	579,42
PE(mm)	8,21	47,04	55,05	88,74	71,43	1,94	272,41
Da (mm/mm)	56,21	63,25	79,91	55,81	44,13	7,69	307,01
Da (m3/ha)	562,15	632,48	799,08	558,15	441,34	76,93	3070,1

Anexo 29. Demanda de agua (Da) por meses para el cultivo de papa por método de lisímetro

MESES	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
CONCEPTO	(-)					(*)	
ETC (mm/mes)	67,62	117,53	157,64	156,77	103,21	7,99	610,76
PE(mm)	8,21	47,04	55,05	88,74	71,43	1,94	272,41
Dn (mm/mes)	59,41	70,49	102,59	68,03	31,78	6,05	338,4
Da (m3/ha)	594,1	704,9	1025,9	680,3	317,8	60,5	3383,56

(-) Los últimos 27 días del mes de noviembre

(*) Los primeros 4 días del mes de abril

Anexo 30. Demanda de agua (Da en m³/ha) por fases fenológicas de papa para diferentes métodos de obtención de ETC.

FASES FENOLOGICAS	Nº de Dias	FASE (FAO)	LISIMETRO	HARGRE. F(T)	HARGRE. F(H. SOL)	SERRUTO
Emergencia	32	I	688.40	586.74	426.85	578.53
Inicio de formacion de estolones	17	II	372.25	281.83	134.38	267.26
Inicio de tuberizacion	20		646.55	640.24	395.63	627.36
Inicio de la floracion	16	III	505.77	526.96	293.66	523.65
final de la floracion	28		719.38	551.75	130.97	547.59
Final de la tuberizacion	20	IV	344.83	321.37	100.82	304.74
Madurez fisiologica	19		106.35	255.67	91.72	220.93
TOTAL	152		3383.5	3164.6	1574.0	3070.0

Anexo 31. Valores de Kc recomendados por la FAO.

CULTIVO REFERENTE	HUMEDAD	HR min > 75%		HR min < 75%	
	VIENTO m/s	0 – 5	5 – 8	0 – 5	5 - 8
	FASE				
PAPA	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,70	0,70	0,75	0,75
CEVADA	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,25	0,25	0,20	0,20
AVENA	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,25	0,25	0,20	0,20

Fuente: Serruto 1987.

Anexo 32. Coeficiente Kp, para diferentes cubiertas y niveles de humedad relativa media y vientos durante las 24 horas.

		Caso A Cubeta rodeada de Cubierta verde baja			Caso B Cubeta rodeada de barbecho de secano			
HR media %		Baja 40	Media 40-70	Alta 70		Baja 40	Media 40-70	Alta 70
Viento Km/día	Distancia a barlovento de la cubierta verde (en m.)				Distancia a barlovento del barbecho de secano (en m.)			
Débiles 175	0	0.75	0.75	0.8	0	1.1	1.1	1.1
	10	1.0	1.0	1.0	10	0.85	0.85	0.85
	100	1.1	1.1	1.1	100	0.75	0.75	0.8
	1000				1000	0.7	0.7	0.75
Moderados 175-425	0	0.65	0.7	0.7	0	0.95	0.95	0.95
	10	0.85	0.85	0.9	10	0.75	0.75	0.75
	100	0.95	0.95	0.95	100	0.65	0.65	0.7
	1000				1000	0.6	0.6	0.65
Fuerte 425-700	0	0.55	0.6	0.65	0	0.8	0.8	0.8
	10	0.75	0.75	0.75	10	0.65	0.65	0.65
	100	0.8	0.8	0.8	100	0.55	0.6	0.65
	1000				1000	0.5	0.55	0.6
Muy fuerte > 700	0	0.5	0.55	0.6	0	0.7	0.75	0.75
	10	0.65	0.7	0.7	10	0.55	0.6	0.65
	100	0.7	0.75	0.75	100	0.5	0.55	0.6
	1000				1000	0.45	0.5	0.55

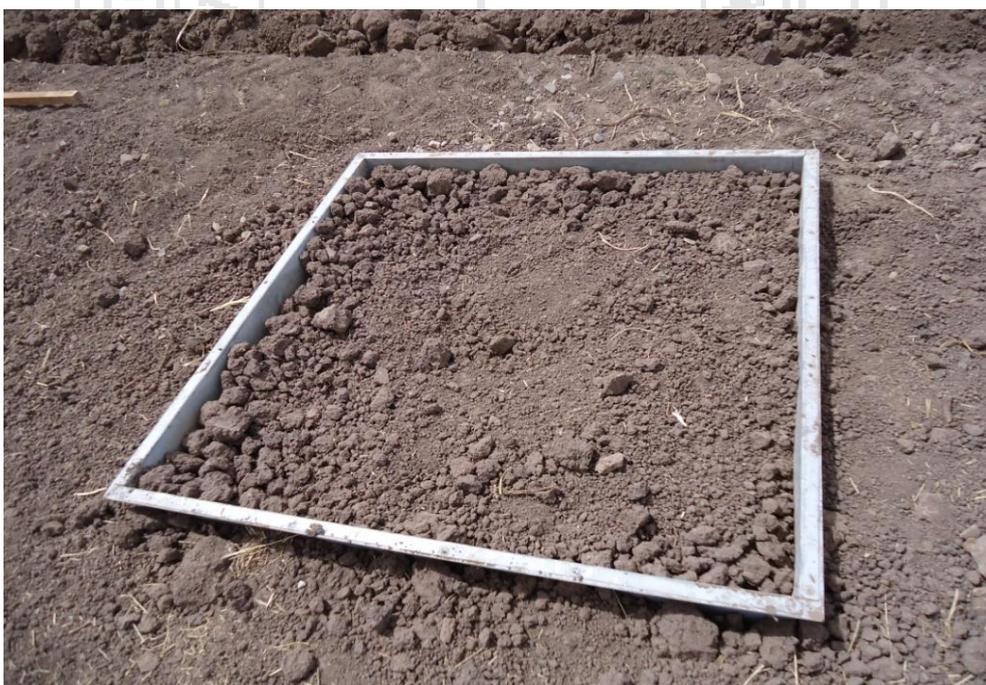
Fuente: Santa Olalla y Juan Valero (1993)

Fotografía 1. Instalación del Lisímetro en el campo de cultivo.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 20/10/2010

Fotografía 2. Tanque de Cultivo instalado con sustrato de suelo.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 22/10/2010

Fotografía 3. Instalación del Tanque de Cultivo con cobertizo.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 30/10/2010

Fotografía 4. Emergencia del cultivo de papa.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 05/12/2012

Fotografía 5. Formación de estolones.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 22/12/2010

Fotografía 6. Inicio de la tuberización.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 11/01/2011

Fotografía 7. Inicio de la floración del cultivo.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 27/01/2011

Fotografía 8. Medición de altura de la planta.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 27/01/2011

Fotografía 9. Plena floración.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 19/02/2011

Fotografía 10. Final de la floración.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 24/02/2012

Fotografía 11. Final de la tuberización.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 16/03/2011

Fotografía 12. Madurez fisiológica.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 04/04/2011

Fotografía 13. Cosecha del cultivo.



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 04/04/2011

Fotografía 14. Producción obtenida del tanque de cultivo



Lugar: CIP – UNA Puno
Fecha: 04/04/2011



SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHI - PUNO

"SENAMHI ÓRGANO OFICIAL Y RECTOR DEL SISTEMA HIDROMETEOROLOGICO NACIONAL AL SERVICIO DEL DESARROLLO SOCIO ECONOMICO DEL PAÍS"

ESTACIÓN: CO. 115060 LATITUD 15°26'39" DEPARTAMENTO PUNO
 LONGITUD 70°12'28,2" PROVINCIA SAN ROMÁN
 JULIACA MOCAYACHE ALTITUD 3826 DISTRITO JULIACA

PARÁMETRO : EVAPORACIÓN DIARIA EN mm.

DÍAS	NOV-2010	DIC-2010	ENE-2011	FEB-2011	MAR-2011	ABRIL-2011
1	6.5	6.3	4.7	3.2	3.2	4.3
2	6.8	6.6	5.1	3.9	3.9	4.1
3	5.6	5.4	5.6	4.0	2.8	3.4
4	6.4	5.7	5.8	3.4	3.7	2.5
5	6.0	5.1	6.1	3.5	3.6	2.4
6	8.0	4.3	5.3	2.3	3.9	2.8
7	6.0	3.5	4.1	4.1	4.0	2.7
8	5.4	4.6	4.5	3.8	3.0	2.9
9	6.9	4.5	4.1	2.1	3.8	3.2
10	5.7	4.3	5.0	2.9	3.3	3.2
11	6.0	4.3	3.8	3.2	3.0	3.6
12	6.4	2.9	4.3	5.4	2.9	3.8
13	5.2	3.0	4.5	3.6	1.2	3.9
14	5.9	4.0	3.9	3.0	2.9	3.4
15	4.5	4.2	3.4	3.0	2.9	4.0
16	5.2	4.7	6.2	2.1	2.7	4.1
17	6.0	4.9	5.6	3.1	2.3	2.3
18	7.0	8.0	4.3	2.4	2.8	2.5
19	7.0	5.3	4.6	2.8	3.0	2.0
20	6.1	3.1	6.8	3.0	2.5	2.4
21	6.9	3.8	4.5	4.3	1.9	2.6
22	5.6	4.0	4.0	3.4	3.2	3.8
23	6.4	3.5	3.8	4.3	2.5	3.2
24	6.1	2.0	2.4	3.0	1.9	2.5
25	5.9	3.2	2.4	4.4	3.4	3.0
26	6.1	4.1	4.0	3.5	3.1	3.2
27	5.8	2.3	2.8	3.2	4.0	3.0
28	6.8	3.1	4.6	2.8	2.8	5.4
29	5.9	1.7	4.0		2.4	2.4
30	6.0	3.8	4.6		2.2	3.6
31		5.0	4.6		3.0	
TOTAL	184.1	129.2	139.4	93.7	92.9	96.2
PROM.	6.1	4.2	4.5	3.3	2.9	3.2

RCC.

INFORMACIÓN PROCESADA PARA : MARINA CANLLAHUI MAMANI

Puno, 01 de Junio de 2011

Ing. Silvio Marcos Bencho
 DIRECTOR REGIONAL
 SENAMHI - PUNO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHI - PUNO

"SENAMHI ÓRGANO OFICIAL Y RECTOR DEL SISTEMA HIDROMETEOROLOGICO NACIONAL AL SERVICIO DEL DESARROLLO SOCIO ECONOMICO DEL PAÍS"

ESTACIÓN: CO. 115060 LATITUD 15°26'39" DEPARTAMENTO PUNO
 LONGITUD 70°12'28,2" PROVINCIA SAN ROMÁN
 JULIACA MOCAYACHE ALTITUD 3826 DISTRITO JULIACA

PARÁMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MÁXIMA °C

ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2010											21.1	18.3
2011	18.2	15.8	16.3	17.8								

PARÁMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MÍNIMA °C

ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2010											-0.3	3.3
2011	4.4	5.4	4.4	1.1								

PARÁMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE OSCILACIÓN DE TEMPERATURA °C

ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2010											21.4	15.0
2011	13.8	10.4	11.9	16.7								

PARÁMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MEDIA °C

ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2010											10.4	10.8
2011	11.3	10.6	10.4	9.4								

PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN MM.

ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2010											19.9	98.6
2011	49.2	184.0	71.8	12.7								

PARÁMETRO : EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL EN MM.

ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2010											184.1	129.2
2011	139.4	93.7	92.9	96.2								

RCC

INFOMACION PROCESADA PARA : MARINA CANLLAHUI MAMANI

Puno, 01 de Junio de 2011

Ing. Sixto Flores Sanchez
 DIRECTOR REGIONAL
 SENAMHI - PUNO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA SENAMHI - PUNO

"SENAMHI ÓRGANO OFICIAL Y RECTOR DEL SISTEMA HIDROMETEOROLOGICO NACIONAL AL SERVICIO DEL DESARROLLO SOCIO ECONOMICO DEL PAÍS"

ESTACIÓN: CO. 115060 LATITUD 15°26'39" DEPARTAMENTO PUNO
 LONGITUD 70°12'28,2" PROVINCIA SAN ROMÁN
 JULIACA MOCAYACHE ALTITUD 3826 DISTRITO JULIACA

PARÁMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE HORAS Y DÉCIMAS DE SOL

ANOS	EME.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2004	146.8	196.9	214.7	244.3	299.0	236.1	266.0	241.3	256.0	291.5	276.9	263.6
2005	223.0	160.2	230.8	219.2	302.5	305.9	313.0	323.5	268.3	223.8	254.1	214.7
2006	176.6	206.6	194.3	229.0	313.0	287.7	316.4	258.9	273.9	238.2	214.5	241.4
2007	202.3	194.3	174.2	200.1	270.4	277.8	272.8	305.1	209.3	270.2	237.9	235.5
2008	129.9	198.3	104.2	107.6	299.7	292.5	312.6	301.8	284.2	264.0	289.6	208.2

PARÁMETRO : EVAPORACION TOTAL MENSUAL EN mm.

ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2000	149.2	86.2	116.8	83.3							141.5	125.2
2001	106.9	97.2	100.3	83.3							170.8	158.4
2002	112.4	97.7	113.7	91.2							168.2	163.4
2003	138.6	93.8	119.4	97.2							131.9	121.9
2004	102.7	101.9	111.8	86.6							124.9	139.3
2005	121.2	116.0	110.9	82.3							148.7	142.5
2006	100.5	98.5	104.2	107.6							182.3	127.4
2007	121.4	90.0	103.3	105.4							145.1	141.8
2008	127.8	117.1	104.4	115.9							184.1	129.2

RCC

INFORMACION PROCESADA PARA : MARINA CANLLAHUI MAMANI

Puno, 18 de Julib de 2011



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 LABORATORIO DE ANALISIS
 ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Of. Principal: Av. La Molina 1981 - La Molina Lima



ANALISIS DE FERTILIDAD

Nombre : Marina Canlahui Mamani. Fecha de Recepción : 27 de Octubre del 2010.
 Dirección : Procedencia : Illpa UNA Puno.
 N° de Boletín : 0267C5. Fecha de Certificación : 29 de Octubre del 2010.

Cod. Lab.	COD. USUARIO	ANALISIS MECANICO				N %	P (ppm)	K (ppm)	Suelo:Agua 1:2.5		M.O. %	Al (mg/l 100 gr)	CO ₂ Ca %
		Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura				pH	C.E. mhos/cm			
267C5	Illpa UNA Puno.	38	27	35	Far-F	0.08	9.20	1013.58	7.26	0.245	2.26	0.00	0.22

Referencias:
 Métodos of análisis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1988. 195p.
 Conclusiones:
 La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciados.
 Nota:
 Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. T= TRAZS
 Observaciones: (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 Ing° JORGE CANILAHUI ROJAS
 Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso del Laboratorio.

PUNO (Sede) : Rinconada de Salcedo, Telefax: (051) 36-3812 Telf.: (051) 622760
 ILLPA : Carretera Puno - Juliaca, Km. 22 Telf.: (054) 62-2779.
 e-mail : illpa@mail.cosapidata.com.pe, j.canihua@hotmail.com
 Casilla Postal : N° 488 - Puno



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 LABORATORIO DE ANALISIS
 ESTACION EXPERIMENTAL: AGRARIA ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad		Nitrógeno	Fósforo Disponible	Potasio Disponible	Relaciones Catiónicas	
Clasificación	CE(es)	Materia Orgánica %	ppm P	ppm K	Clasificación	Ca/Mg
Muy ligeramente salino	<2	<2,0	<7,0	<100	Normal	5 a 9
Ligeramente salino	2 a 4	2 a 4	7,0 a 14	100-240	Deficiente Mg	>0,5
Moderadamente salino	4 a 8	>4,0	>14	>240	Deficiente K	>0,2
Fuertemente salino	>8				Deficiente Mg	>10

Reacción ó pH Clasificación	pH	Clases Texturales		Distribución de Cationes	
		Clasificación	Texturales	Clasificación	Cationes
Fuertemente ácido	<5,5	A	FArA	Ca ²⁺	60-75
Moderadamente ácido	5,6-6,0	AF	FAr	Mg ²⁺	15-20
Ligeramente ácido	6,1-6,5	FA	FArL	K ⁺	3 a 7
Neutro	7,0	Fr	ArA	Na ⁺	<15
Ligeramente alcalino	7,1-7,8	FL	ArL		
Moderadamente alcalino	7,9-8,4	L	Ar		
Fuertemente alcalino	>8,5				

Equivalencias:

- 1 ppm = 1 mg/kilogramo.
- 1 milimho (mmho/cm) = 1 deciSiemens/metro.
- 1 meliequivalente/100g = 1 cmol(+)/kilogramo.
- Saltes solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x Cees.
- CE (1 : 2,5) mmho/cm x 2 = CE (es) mmho/cm.
- T = Trazas.

*F= Floculo (excesiva presencia de sales, se sugiere realizar análisis de Salinidad, por extracto de saturación).



INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Mg^o JORGE CANALUA ROJAS
 Jefe de Laboratorio de Analisis



ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



SOLICITANTE
INTERESADO
PROCEDENCIA
LUGAR
N° MUESTRAS
TIPO DE ANÁLISIS
FECHA DE RECEPCIÓN
FECHA DE CERTIFICACIÓN

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 876
: Marina Canllahui Mamani.
:
: CIP Ilpa UNA Puno.
: Manantial.
: 01.
: Con fines de riego.
: 27 de Octubre del 2010.
: 29 de Octubre del 2010.

Clave Laboratorio	1087
Clave Usuario	Manantial
N° Muestras	01
Temperatura °C.	16,98
pH.	6,97
C. E. mmhos/cm 25 °C	0,310
STD mg/l.	279,00
Ca meq/l.	1,10
Mg meq/l.	1,32
Na meq/l.	0,35
K meq/l.	0,91
Suma de Cationes	3,68
CO ₃ meq/l.	0,00
HCO ₃ meq/l.,	3,29
Cl meq/l.	0,41
SO ₄ meq/l.	1,18
NO ₃ meq/l.	2,10
Suma de Aniones	6,98
SAR	0,30
Boro ppm	
Clasificación	C2S1

Referencia Bibliográfica:

1. - Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1988.195p.
 2. - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC. USA, 693p.
- Determinación de pH Potenciometro Calomelano (electrodos de vidrio).
 Determinación de Conductividad Eléctrica Conductimetro de tres anillos.
 Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
 Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
 Determinación de Carbonatos Fenolftaleina Titulación Con Acido Sulfúrico.
 Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
 Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Nota: Ninguna.



INIA
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
MARCE CANIHUA ROJAS
Analista
SALCEDO

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso del Laboratorio.

ILLPA : Carretera Puno - Juliaca , Km. 22 Telf. (051) 62-2779
 PUNO (Sede): Rinconada de Salcedo, Telefax (051) 36-3812 Cel. (051) 62-2760
 e-mail : illpa@inia.gob.pe, illpa@inia.gob.pe j.canihua@hotmail.com





LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av. La Molina 1981 - La Molina Lima



CLAVE

PELIGRO DE SALES

C1 Salinidad baja	(0,00-0,25 mmhos)	Buenos para riego de diferentes cultivos. Solo peligro de salinización de suelos muy impermeables de difícil drenaje interno
C2 Salinidad moderada	(0,25-0,75 mmhos)	De calidad buena para cultivos que se adaptan ó toleran moderadamente la sal. Peligro para plantas muy sensibles y suelos impermeables.
C3 Salinidad entre media y alta	(0,75-2,25 mmhos)	El suelo debe tener buena permeabilidad. El cultivo seleccionado debe ser tolerante a la sal.
C4 Salinidad alta	(2,25-4,00 mmhos)	Solo para plantas tolerantes y suelos permeables y donde pueden ser necesarios lavados especiales para remover las sales.
C5 Salinidad muy alta	(4,00-6,00 mmhos)	Solo para plantas muy tolerantes, suelos muy permeables y donde se pueden aplicar lavados frecuentes para remover el exceso de sales.
C6 Salinidad excesiva	(Más de 6,00 mmhos)	Deben tomarse precauciones para su uso. (Pueden usarse en suelos muy permeables y/o mezclados con agua de buena calidad).

PELIGRO DE SODIO

S1 Poco sódico	Sin peligro
S2 Medio sódica	Peligro en suelos de textura fina ó arcillosa con alta capacidad de cambio especialmente si la permeabilidad es baja, a menos que el suelo lo contenga yeso. Uede usarse en suelos de textura gruesa entre la arenosa y franca ú orgánicas con permeabilidad adecuada.
S3 Muy sódica	Peligro en suelos sin yeso, requieren estos suelos buen drenaje, adición de materia orgánica y eventuales enmiendas químicas tales como yeso ó azufre, que no son efectivos si las aguas son de salinidad alta C4.
S4 Excesivamente sódica	No sirven generalmente para riego. Solo cuando la salinidad es baja ó media donde la solución del calcio del suelo ó el uso del yeso u otras enmiendas puedan hacer factibles el uso de esta agua.

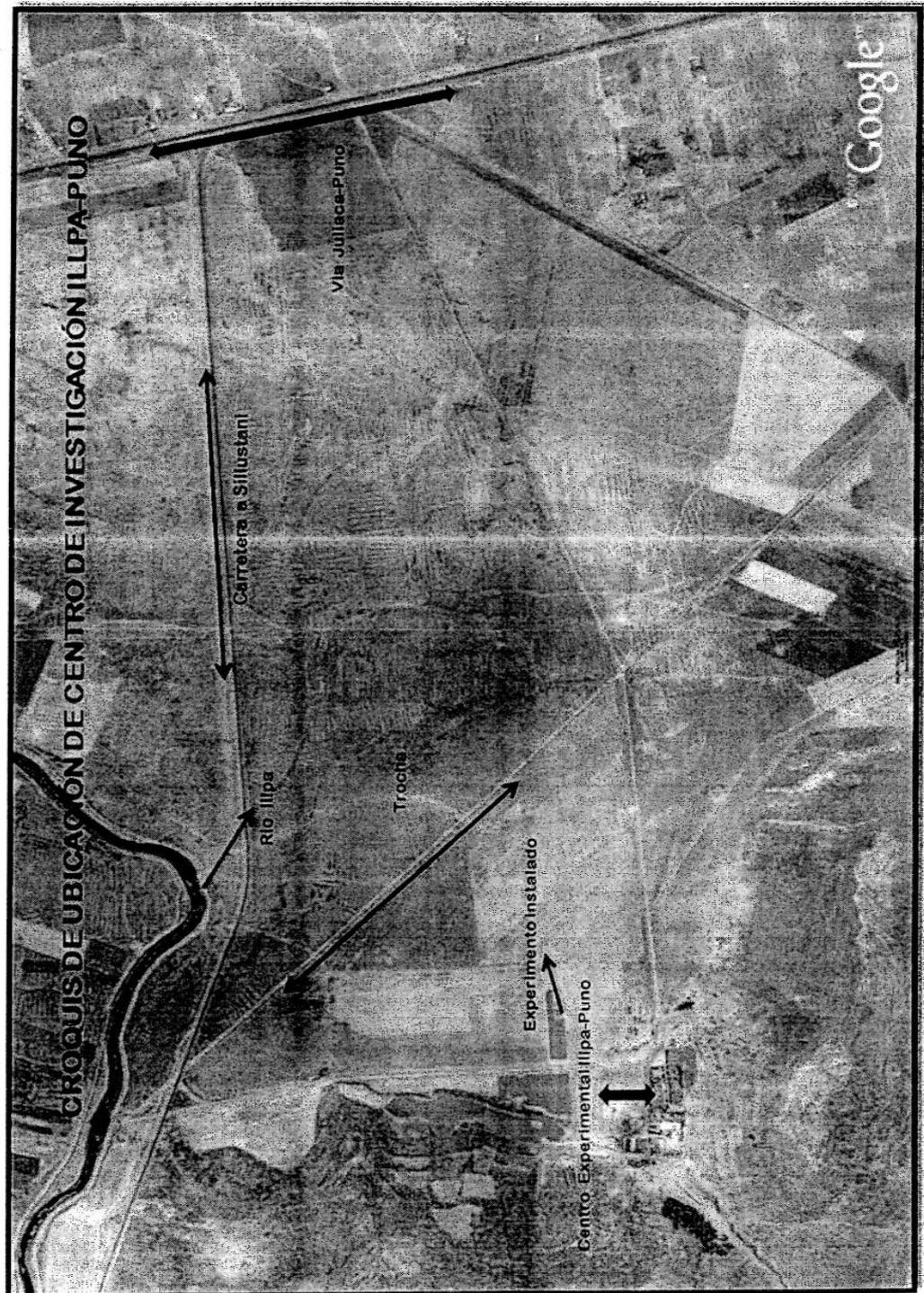
Salcedo, 29 de Octubre del 2010

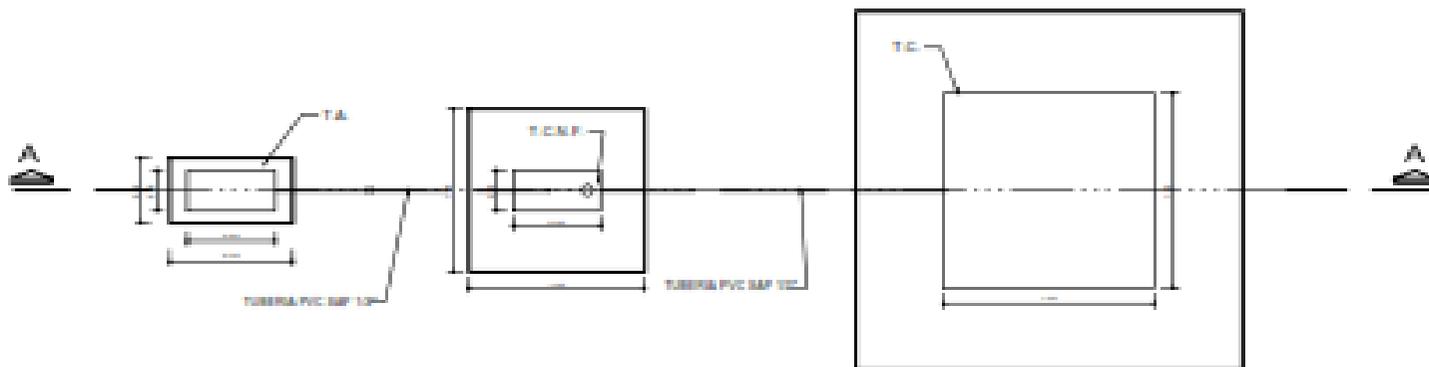


INIA
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

ILLPA : Carretera Puno - Juliaca , Km. 22 Telf. (051) 82-2779
PUNO (Sede): Rincónada de Salcedo, Telefax (051) 36-3812 Cel. (051) 82-2760
e-mail : illpa@inia.gob.pe, illpaunit@inia.gob.pe j.canihua@hotmail.com

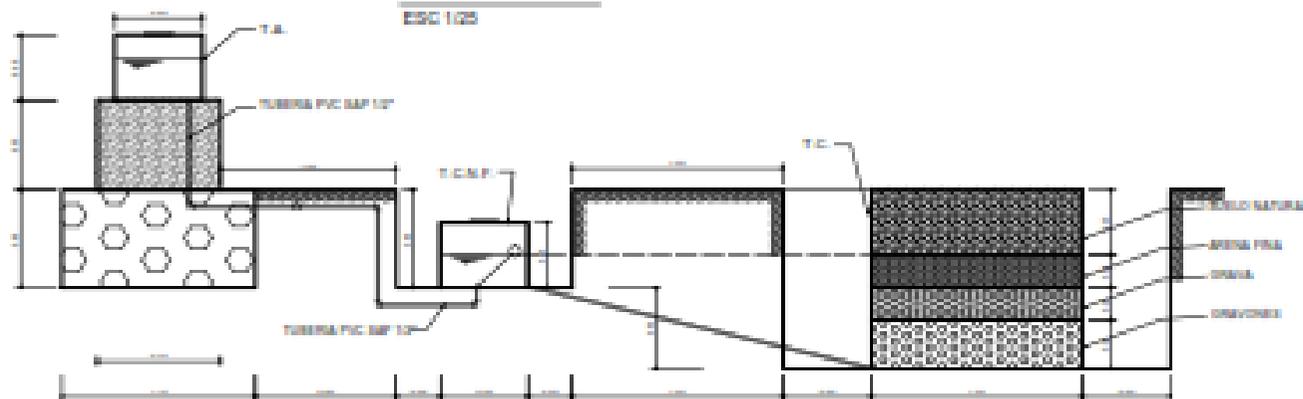






PLANTA

ESC 1:25



CORTE A - A

ESC 1:25

DONDE:
 T.A.: TANQUE ALIMENTADOR
 T.C.N.P.: TANQUE CONTROL NIVEL PRÁCTICO
 T.C.: TANQUE DE CULTIVO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS		E.P. INGENIERIA AGRONOMICA	
UNIVERSIDAD	CP - ILLPA	DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y		CONSUMOS DEL CULTIVO DE PAPA EN EL CP ILLPA-PUNO	
PROF.	PUNO	PLANTA, LISIMETRO		1.00	
PROF.	PUNO	MARINA CANLLAHEJI MAMANI		01	
PASAPORTE		ING. M.Sc. EUGENIO U. HUACRA QUIROZ			



