

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA**



**TESIS**

**ZONIFICACIÓN EDAFOCLIMÁTICA PARA EL CULTIVO DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd.) EN LAS MICROCUENCAS DE SAN JOSÉ Y  
TINTIRI DEL RÍO AZÁNGARO**

**PRESENTADA POR:**

**WASHINGTON WALTER GOYZUETA HANCCO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGÍSTER SCIENTIAE EN ECOLOGÍA  
MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2019**

## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado a Dios, por bendecirme y guiarme durante mi existencia y darme fortaleza para continuar en este proceso de mejora personal y de obtener mis anhelos.

A mi esposa Mery Maribel, a mis padres Florentino y Lucila, por su amor, apoyo incondicional, inculcarme valores, y a todos mis hermanos por su apoyo moral.

A todos mis amigos que, en distintas circunstancias de la vida, me brindaron su apoyo, para el desarrollo del presente trabajo de investigación, gracias por su amistad.

## AGRADECIMIENTOS

- Al Programa Nacional de Innovación Agraria – PNIA, por el soporte económico y apoyo técnico en la culminación de estudios de maestría y ejecución de la tesis.
- La Universidad Nacional del Altiplano de Puno, alma mater de Ciencia y Tecnología.
- Al Programa de Maestría en Ecología de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano, a los docentes que me impartieron sus conocimientos.
- La Facultad de Ciencias Biológicas y Ciencias Agrarias de la UNA – Puno, por la formación impartida.
- A los miembros del jurado, por sus acertadas y oportunas correcciones en la formulación y desarrollo del presente trabajo de investigación.
- Al M. Sc. Flavio Ortiz Calcina, por su apoyo técnico científico, quien supo guiarme adecuadamente en la formulación, desarrollo y conclusión del presente trabajo de investigación.
- A los agricultores del cultivo de quinua de la Provincia de Azángaro, por su colaboración en la recopilación de información primaria y muestreo de suelos, para el adecuado desarrollo del presente trabajo de investigación.
- Finalmente, quiero agradecer a todos mis compañeros de estudio que siempre me han apoyado incondicionalmente, brindándome sabios consejos y a todas las personas que de una u otra manera aportaron, para la ejecución del presente trabajo de investigación.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

**CAPITULO I****REVISION DE LITERATURA**

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Centro de origen de cultivo de quinua	3
1.1.2 Clasificación taxonómica	4
1.1.3 Características morfológicas y fenotípicas	4
1.1.4 Requerimientos del cultivo	5
1.1.5 Estadísticas productivas del cultivo de quinua	6
1.1.6 Clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor	12
1.1.7 Conflictos de uso de la tierra	14
1.1.8 Definición de los sistemas de información geográfica (SIG)	14
1.1.9 El papel del SIG en el modelamiento y simulación	14
1.1.10 Modelos de datos	15
1.1.11 La teledetección	16
1.1.12 Método estadístico: Prueba Chi Cuadrado de Kruskal Wallis	17
1.1.13 Niveles de zonificación	18
1.1.14 Regionalización	21
1.1.15 Modelamiento ambiental	21
1.1.16 Normas Legales	22
1.2 Antecedentes	25

**CAPÍTULO II****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Identificación del problema	34
---------------------------------	----

2.2	Enunciados del problema	35
2.3	Justificación	35
2.4	Objetivos	36
2.4.1	Objetivo general	36
2.4.2	Objetivos específicos	36
2.5	Hipótesis	36
2.5.1	Hipótesis general	36
2.5.2	Hipótesis específicas	36
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
3.1	Lugar de estudio	38
3.2	Población	39
3.3	Muestra	39
3.4	Método de investigación	39
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	40
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
4.1	VARIABLES edafoclimáticas influyentes y dependientes en la fisiología del cultivo de quinua en el espacio territorial de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	51
4.2	Zonificación de las potencialidades y limitaciones edafoclimáticas para el cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	54
4.3	Modelamiento de unidades integrales de tierras óptimas para el cultivo de quinua en el ámbito de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	64
CONCLUSIONES		65
RECOMENDACIONES		66
BIBLIOGRAFÍA		67
ANEXOS		74

Puno, 19 de julio del 2019

**ÁREA:** Ciencias de la Ingeniería**TEMA:** Zonificación edafológica para el cultivo de quinua**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Manejo agronómico de cultivos

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Variables productivas de quinua a nivel nacional y regional	9
2. Matriz de dependencia e influencia de variables estratégicas	41
3. Clases de fertilidad del suelo	43
4. Clases de textura del suelo	44
5. Textura de suelos por capacidad de uso mayor de tierras	45
6. Clasificador de rangos de pH del suelo	46
7. Matriz de valoración de dependencia e influencia de variables estratégicas	52
8. Base de datos de microzonificación por altitud	54
9. Base de datos de clases de pendientes del suelo	55
10. Aptitud de tierras por fertilidad del suelo	56
11. Niveles de materia orgánica del suelo	57
12. Distribución de Niveles de M.O. por rangos	59
13. Niveles de textura del suelo	60
14. Rangos de pH del suelo	60
15. Clasificación de Isotermas del área de estudio	61
16. Base de datos de rangos de las Isoyetas	63
17. Aptitud edafoclimática para el cultivo de quinua	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Principales países productores de quinua (Tn)	6
2. Rendimiento mundial de quinua (kg/ha)	7
3. Área cosechada mundial de quinua (ha)	8
4. Producción nacional de quinua (Tn)	9
5. Rendimiento nacional de quinua (kg/ha)	10
6. Superficie cosechada de quinua a nivel nacional (ha)	10
7. Producción y rendimiento regional de quinua	11
8. Superficie cosechada de quinua en la región Puno (ha)	12
9. Modelo raster y modelo vector sobre la tierra	16
10. Elementos de un proceso de teledetección	17
11. Área de estudio	38
12. Correlación entre temperatura y altitud	62
13. Trabajo coordinación con las autoridades comunales del Distrito de Azángaro, para intervención, sondeo, toma de muestras de suelo y georreferenciación	75
14. Trabajo coordinación con las autoridades comunales del Distrito de Muñani, para intervención, sondeo, toma de muestras de suelo y georreferenciación	75
15. Trabajo coordinación con las autoridades comunales del Distrito de San José, para intervención, sondeo, toma de muestras de suelo y georreferenciación	75
16. Toma de muestras de suelo, en compañía del asesor de tesis y equipo técnico de apoyo del Laboratorio de Análisis de Aguas y suelos de la FCA – UNA Puno, en la zona de estudio	76
17. Demostración de método de la correcta toma de muestras de suelo, especialista del Laboratorio de Análisis de Aguas y suelos de la FCA – UNA Puno, en la zona de estudio	76
18. Especialista del Laboratorio de Análisis de Aguas y suelos de la FCA – UNA Puno, georreferenciando, la zona de estudio	76
19. Toma de muestras y georreferenciación, en el ámbito de estudio	77
20. Profundidad de Toma de muestras, en el ámbito de estudio	77
21. Zonas de muestreo, Distrito de Azángaro	78
22. Zonas de muestreo, Distrito de Muñani	78
23. Parcelas de quinua de la variedad Cankolla, Distrito de Muñani	78



24. Parcelas de quinua de la variedad Cankolla, Distrito de Azángaro	79
25. Parcelas de quinua de la variedad Cankolla, Distrito de San José	79



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Galería de fotos	75
2. Etapas de Análisis Estructural de Variables para el Diagnóstico y Prospectiva de escenarios	80
3. Clave de Norma Técnica Peruana para clasificación de tierras DS.17-2009-AG	80
4. Análisis de fertilidad de suelos	81
5. Localización geográfica de puntos de control de muestreo de suelos	92
6. Microzonas de vida por altitud (Adaptado por el Dr. J. Pulgar Vidal)	93
7. Clasificación de textura de suelos (Clave 10 del DS: 017-2009-AG.)	94
8. Consolidado de niveles de pH de los suelos de las microcuencas	94
9. Base de datos de temperaturas y precipitaciones media anual de 50 años comprendidos desde el año 1962 hasta 2012, de 26 Estaciones Meteorológicas – SENAMHI Perú	95
10. Niveles de materia orgánica clasificado con la Clave 10 del DS: 017-2009-AG	96
11. Valores críticos de la distribución F(0.05)	97
12. Mapa Base de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	98
13. Mapa Fisiográfico y puntos de control de muestreo de suelos	99
14. Mapa de pendiente de microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	100
15. Mapa de temperatura media anual de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	101
16. Mapa de niveles de materia orgánica de los suelos de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	102
17. Mapa de niveles de pH de los suelos de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	103
18. Mapa de textura de suelos de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	104
19. Mapa de Isoyetas media anual de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	105
20. Mapa Microzonas de Vida de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	106
21. Mapa Modelamiento de aptitud Edafoclimática de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro	107

## RESUMEN

El presente estudio, sobre “Zonificación edafoclimática para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)”, se desarrolló en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro. Se condujo con los objetivos siguientes: identificar las variables edafoclimáticas influyentes y dependientes en la fisiología del cultivo de quinua, zonificar las potencialidades y limitaciones edáficas y climáticas, y modelar las unidades integrales de tierras óptimas para el cultivo de quinua. La metodología empleada fue: la estadística descriptiva y geoestadística correlacional ordinario, con los cuales se generaron la interpolación de los datos cartográficos; las variables de suelo y clima, fueron identificados utilizando el análisis de variables estratégicas, para la zonificación de parámetros edáficos y climáticos, se utilizaron los modelos matemáticos del algoritmo de Spline y el método geoestadístico teórico de Kruskal Wallis, y finalmente en el modelamiento de potencialidades de suelo y clima se aplicó la superposición de parámetros, utilizando la herramienta Map Algebra del programa ArcGis10.3, para el ámbito de estudio. De los resultados se establece que: la materia orgánica es una variable edafológica de alta dependencia e influencia en los rendimientos de quinua, el cultivo se adapta en la microzona de vida Suni Alta, que abarca altitudes entre 3875 a 4000 msnm, las pendientes optimas ocupan tierras de 2-4% y moderadas de 4-15%, los suelos presentan niveles de materia orgánica; Alta >4%, en 22,899.0134 ha (25.37%), moderada 2-4% de MO en 46,095.2461ha (51.08%), con respecto a la textura; Media 65% y Moderadamente Fina 15%. Se determinaron suelos con pH moderadamente y muy fuertemente ácidos que presentan el 43% y 27%, respectivamente. El escenario presenta temperaturas altas y bajas, las aptas para el cultivo son 7 a 9 °C, y precipitaciones medias anuales aptas de 642.74 mm; en el modelamiento, la aptitud edafoclimática optima abarca 6,676.4899 ha, representa 6.91% y tierras de aptitud media 27,562.8785 ha, (28.54%). Estos resultados serán considerados como herramienta de planificación en el manejo sostenible del cultivo quinua en el ámbito de estudio.

**Palabras clave:** Edafoclimática, modelamiento, quinua, SIG y zonificación.

## ABSTRACT

The present research study, on "Edaphoclimatic zoning for the cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)", Developed in the microbasins of San José and Tintiri of the Azángaro river. The objectives consisted of: identifying the influential and dependent edaphoclimatic variables, zoning the edaphic and climatic potentialities and limitations, and modeling the integral units of optimal lands for the cropping of quinoa. The methodology was: descriptive statistics and ordinary correlational geostatistics, with which the interpolation of the cartographic data was generated; To identify the variables of soil and climate, the analysis of strategic variables was used, for the zoning of edaphic and climatic parameters, the mathematical models of the Spline algorithm and the theoretical geostatistical method of Kruskal Wallis were used, and finally in the modeling of Soil and climate potentialities were applied to the superposition of parameters, using the Map Algebra tool of the ArcGis10.3 program, for the field of study. From the results: organic matter is an edaphological variable of high dependence and influence on quinoa yields, the crop is adapted in the Suni Alta life micro-zone, which covers altitudes between 3875 and 4000 msnm, the optimal slopes occupy land of 2 -4% and moderate 4-15%, the soils have levels of organic matter; High > 4%, with 22,899.0134 ha (25.37%), moderate of 2-4% of OM with 46.095.2461ha (51.08%), with respect to the texture, Medium 65% and Moderately Fine 15%. It was observed soils with pH moderately and very strongly Acids that present 43% and 27%, respectively. The scenario presents high and low temperatures, those suitable for cultivation are 7 to 9 ° C, and average annual precipitations of 642.74 mm; in the modeling, the optimum edaphoclimatic aptitude covers 6,676.4899 ha, represents 6.91% and lands of average aptitude 27.562.8785 ha, (28.54%). These results will be considered as a planning tool in the sustainable management of the quinoa crop in the field of study.

**Keywords:** Edafoclimatic, GIS, modeling, quinoa y zoning.

## INTRODUCCIÓN

Dentro del desafío del actual milenio de incrementar la producción de alimentos de calidad para alimentar a la población mundial en el contexto del cambio climático, la quinua tanto por sus características nutricionales como por su versatilidad agronómica se presenta como una importante opción para contribuir a la seguridad alimentaria regional y mundial en especial donde existen limitaciones para la producción de alimentos, en este sentido, los países andinos en su calidad de productores originarios de quinua se encuentran en un lugar privilegiado para promover, en el mediano plazo, la producción de quinua con una mirada de sostenibilidad, ahondando esfuerzos en la promoción del valor nutricional y cultural que la quinua representa (FAO, 2016).

El cultivo de quinua, es un recurso de alto valor nutritivo y base de la alimentación de los pobladores rurales de la región Puno, el mismo que requiere de características edafoclimáticas, específicas para su desarrollo. En las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro, aún no se cuentan con estudios específicos sobre modelos de aptitud edafoclimática, para zonificar las áreas de este cultivo a fin de mejorar y aprovechar al máximo el recurso clima y ampliar las áreas del cultivo de quinua, asimismo el incremento de la productividad para mejorar la calidad de vida de la población.

La zonificación edafoclimática es una de las primeras etapas de ordenamiento del planeamiento territorial. Hoy es casi imposible imaginar un plano de gestión ambiental, de adecuación de las técnicas agrícolas o de monitoreo ambiental, en cualquier escala sin la utilización de la zonificación, apoyándose en las técnicas de los sistemas de información geográfica. En la región, el aprovechamiento de las tierras de cultivo se realiza en su mayor parte sin conocer las potenciales del recurso suelo para determinado cultivo, lo que no permite aprovechar al máximo la productividad de los cultivos. La zonificación edafoclimática representa, la posibilidad de direccionar el proceso de ocupación territorial, respetando las potencialidades y las restricciones de los recursos ambientales.

El presente trabajo de investigación, planteó el modelamiento de las potencialidades y aptitudes por unidades ambientales de tierras en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro, para el cultivo quinua, con aplicación de la herramienta; sistema de información geográfica y técnicas de teledetección agrícola. Los objetivos específicos fueron: selección de las variables estratégicas dependientes, e influyentes, en la

conducción de cultivo de quinua, zonificación de las potencialidades de tierras por unidades edafoclimáticas similares, y sus diferencias, relacionado con las variables claves en el escenario de las microcuencas, y modelamiento de la aptitud de las tierras para el cultivo de quinua sobre la base de oferta de variables edáficas y climáticas, seleccionadas y requeridas por el cultivo.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Centro de origen de cultivo de quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), fue descrita por primera vez, en lo que respecta a sus aspectos botánicos por Willdenow en 1778, considerada como especie nativa de América del Sur, cuyo centro de diversidad genética, según Ruas *et al.* (1999), se encuentra de Perú y Bolivia. Encontrándose ahí el área de dispersión geográfica bien amplia, no solo por su importancia social y económica, sino por la mayor diversidad de ecotipos, cultivares y ecotipos tanto cultivados técnicamente como en estado silvestre (Cárdenas, 1944).

La región andina, es una de las ocho zonas de origen de las plantas cultivadas; la quinua, es entre los ocho cultivos alto andinos el que esta difundido desde la región Nariño en Colombia; en Ecuador la zona de la sierra, entre las cordilleras andinas oriental y occidental; en el Perú toda la zona andina, los valles interandinos desde Cajamarca hasta Cusco, zonas altas de Arequipa y la Región del Altiplano en Puno; en Bolivia desde la zonas del altiplano hasta los salares de Uyuni y Garci Mendoza; en la Argentina se encuentra en forma aislada en la Provincia de Jujuy, en la quebrada de Humahuaca; en Chile en la zona de Valdivia y Concepción y la zona del Altiplano Chileno zona de Isluga (Lescano, 1994).

Desde el punto de vista de su variabilidad genética puede considerarse como una especie oligocentrica, con centro de origen de amplia distribución y diversificación múltiple, siendo la región andina y dentro de ella, las orillas del Lago Titicaca, las

que muestran mayor diversidad y variación genética (FAO, 2011).

### 1.1.2 Clasificación taxonómica

El género *Chenopodium* posee más de 120 especies (Fuentes *et al.*, 2009), siendo *Chenopodium quinoa* la especie más importante desde el punto de vista económico. La quinua fue descrita por primera vez, en sus aspectos botánicos por Carl Ludwig Willdenow en 1778 y fue considerada como parte de la familia Chenopodiaceae. Sin embargo, de acuerdo al Sistema de Clasificación APG II (2003), por sus siglas en inglés Angiosperm Phylogeny Group, se clasificó a las Chenopodiaceae como subfamilia de la familia Amaranthaceae en base a datos moleculares.

Clasificación taxonómica según NCBI (2014).

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliposida
Orden	: Caryophyllales
Familia	: Amaranthaceae
Subfamilia	: Chenopodioideae
Género	: <i>Chenopodium</i>
Especie	: <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

### 1.1.3 Características morfológicas y fenotípicas

La quinua es una planta erguida, en el altiplano sur puede alcanzar 1.80 m de alto, dependiendo del tipo de quinua, de los genotipos, de las condiciones ambientales donde crece; con una raíz pivotante, vigorosa, profunda, bastante ramificada y fibrosa; presenta hojas alternas con una forma polimorfa en la misma planta con colores diferentes; su inflorescencia es una panoja típica, con flores pequeñas, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos y al madurar tienen un fruto en aquenio, que se deriva de un ovario supero unilocular y de simetríadorso ventral (Tapia *et al.*, 1979).

#### 1.1.4 Requerimientos del cultivo

##### 1.1.4.1 Clima

El altiplano puneño está sujeto a grandes variaciones climáticas, que significan alto riesgo en la agricultura, las sequías y heladas son continuas, y su magnitud, frecuentemente, causa la disminución o pérdida de las cosechas, del mismo modo presenta facultades de adaptación a condiciones adversas del clima, como tolerancia al frío y a la sequía (Apaza, 1996).

El cultivo de quinua por su amplia variabilidad genética se adapta a diferentes climas desde el desierto, caluroso y seco en la costa hasta el frío y seco de las grandes altiplanicies, pasando por los valles interandinos templados y lluviosos, llegando incluso hasta las cabeceras de la ceja de selva con mayor humedad relativa y en forma sorprendente a la puna y zonas cordilleranas de grandes altitudes (Tapia, 2000).

##### 1.1.4.2 Precipitación

El cultivo de quinua requiere 408 mm de agua en los 161 días de su periodo vegetativo, la falta de humedad del suelo afecta sensiblemente el normal crecimiento y desarrollo de la planta, afectando sus principales funciones, disminuyendo su potencial productivo o rendimiento de sus órganos lo cual puede ocurrir en cualquier fase fenológica (Apaza *et al.*, 2005).

En las últimas investigaciones efectuadas se ha determinado que la humedad del suelo adecuada para el cultivo de quinua, es de solo 3/4 de la capacidad de campo, para obtener una producción ideal; en los suelos desérticos y arenosos como en la costa peruana, la capacidad de campo de los suelos está alrededor de 9% mientras que en el altiplano peruano los suelos franco arcilloso alcanzan la capacidad de campo con el 22% de humedad (Mujica *et al.*, 2001).

##### 1.1.4.3 Temperatura

La temperatura media adecuada para el cultivo de la quinua esta alrededor de 15-20°C, sin embargo, se ha observado que a temperaturas medias de 10°C se desarrolla perfectamente el cultivo, así como a temperaturas medias



y altas de 25°C prospera adecuadamente, al respecto se ha determinado, que esta planta también posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas, pudiendo soportar hasta menos 8°C en determinadas etapas fenológicas, siendo la más tolerante la ramificación y la más susceptible, la floración y llenado de grano (Frére *et al.*, 1978).

El mismo autor indica que con respecto a las temperaturas extremas altas, se ha observado que temperaturas por encima de los 38°C produce aborto de flores y muertes de estigmas y estambres, imposibilitando la formación de polen y, por tanto, impidiendo la formación de granos.

#### 1.1.4.4 Altitud

La quinua se cultiva en altitudes comprendidas desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm, sin embargo, se estima que la altitud ideal para su cultivo se encuentra de 2500 a 3900 msnm (Apaza *et al.*, 2005) y (Tapia, 2000).

#### 1.1.5 Estadísticas productivas del cultivo de quinua

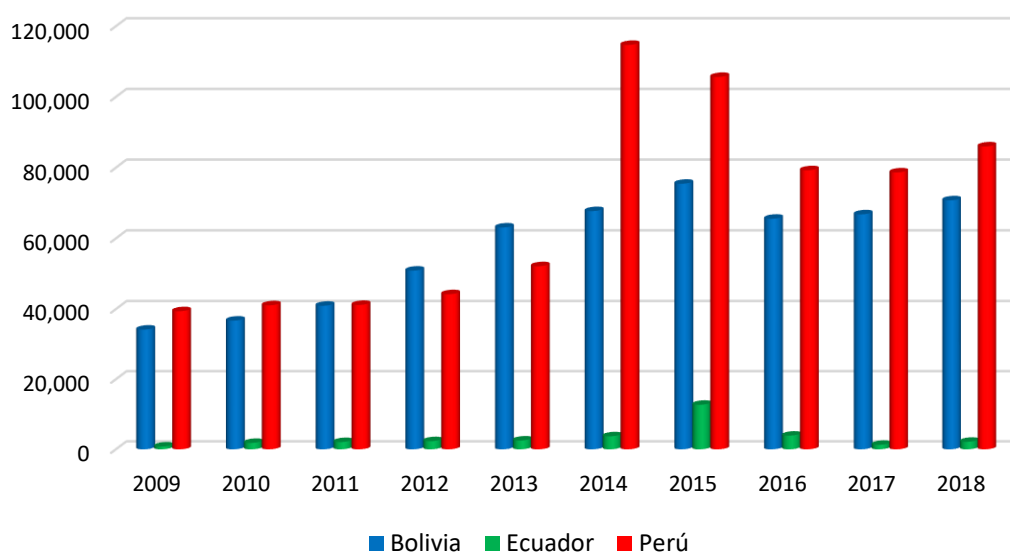


Figura 1. Principales países productores de quinua (Tn)

Fuente: FAOSTAT (2018)

##### 1.1.5.1 Producción mundial de quinua

La producción del cultivo de quinua, a nivel mundial; como se ilustra en la figura 1; la serie histórica, muestra a partir del año 2009 hasta el año 2018, donde Perú es el país, que claramente muestra una producción sobresaliente; con 39,397 Tn

en el año 2009 incrementando a 86,011 Tn en el año 2018, a excepción de los años 2012 y 2013, donde Bolivia, supera la producción de Perú, seguidamente se encuentra Bolivia con una producción de 34,156 Tn, en el año 2009 que incrementa a 70,763 Tn, en el año 2018, finalmente Ecuador es el tercer país con mayor producción de quinua; es así que en el año 2009; tiene 800 Tn, incrementado a 2,146 Tn, en el año 2018.

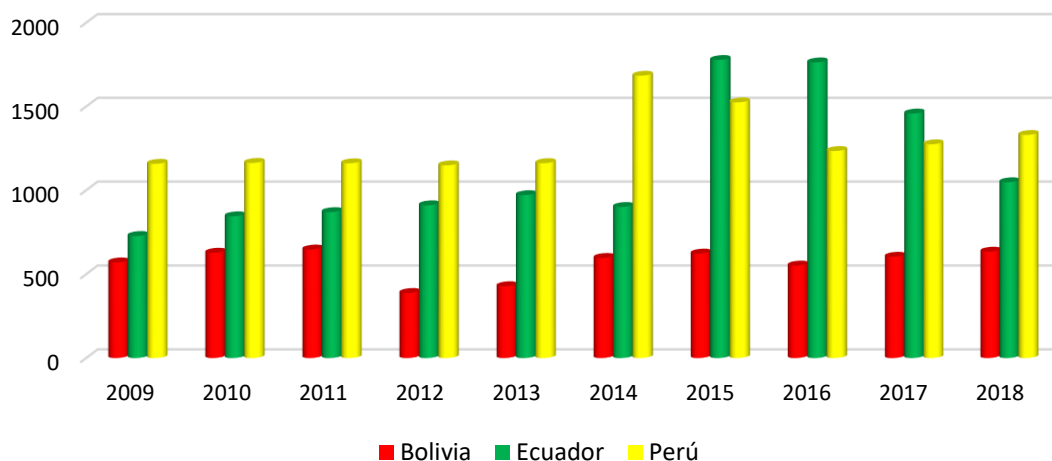


Figura 2. Rendimiento mundial de quinua (kg/ha)

Fuente: FAOSTAT (2018)

### 1.1.5.2 Rendimiento mundial de quinua

Con respecto al rendimiento del cultivo de quinua a nivel mundial, como se ilustra en la figura 2; la serie histórica, muestra que a partir del año 2009, hasta el año 2018; donde Perú es el país, que muestra un mayor rendimiento con respecto a otros países; con 1,157.8 kg/ha en el año 2009 incrementando a 1,330.2 kg/ha en el año 2018, a excepción de los años 2015, 2016 y 2017, donde Ecuador, supera los rendimientos de Perú, seguidamente se encuentra Ecuador con un rendimiento de 727.3 kg/ha, en el año 2009, que incrementa a 1,047.9 kg/ha, en el año 2018, finalmente, Bolivia muestra rendimientos bajos de quinua; es así que en el año 2009; tiene 570 kg/ha, incrementando a 634 kg/ha, en el año 2018.

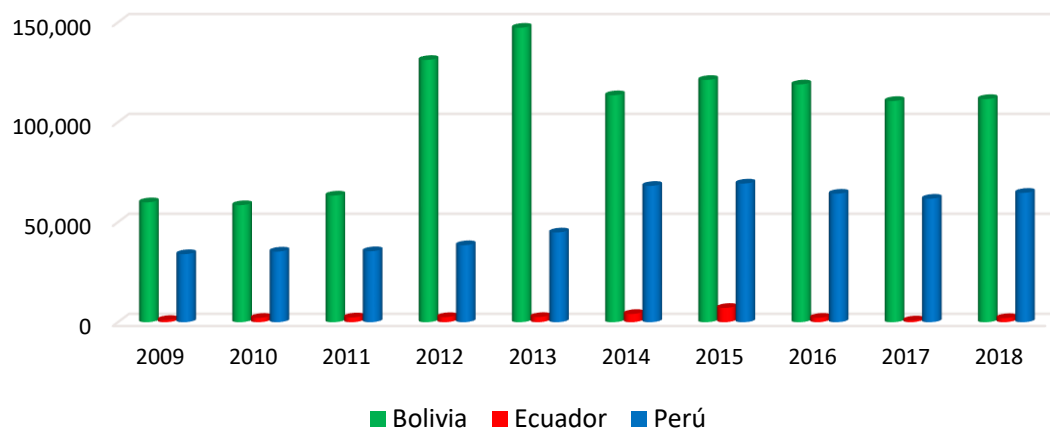


Figura 3. Área cosechada mundial de quinua (ha)

Fuente: FAOSTAT (2018)

### 1.1.5.3 Área cosechada mundial de quinua

Con relación al área cosechada del cultivo de quinua a nivel mundial, como se ilustra en la figura 3; la serie histórica, muestra a partir del año 2009 hasta el año 2018; donde Bolivia es el país, que presenta mayor área productiva de quinua, con respecto a otros países; con 59,924 has, en el año 2009, incrementando a 111,605 has en el año 2018, seguidamente se encuentra Perú, con un área de 34,026 has, en el año 2009 que incrementa a 64,660 has, en el año 2018, finalmente, Ecuador muestra áreas menores de quinua, con respecto a los anteriores países mencionados; es así que en el año 2009; tiene 1,100 has, incrementando a 2,048 has, en el año 2018.

Entre los años 2008-2015, la producción de quinua creció a una tasa de 4,5% promedio anual, registrando 105 mil toneladas en el año 2015; excepcionalmente los últimos dos años la producción ha disminuido, esto debido a los precios bajos de la quinua en el mercado, pero en comparación de los años pasados la producción sigue siendo aún mayor. Para la FAO, en el año 2017, solo hubo la producción de tres países, Bolivia, Ecuador y Perú, quienes alcanzaron una producción de 146,735 Tn de quinua a nivel mundial y una superficie de 173,242 ha.

Tabla 1

*Variables productivas de quinua a nivel nacional y regional*

Año	Producción total nacional (Perú)			Producción total (Puno)		
	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (Tn)	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (Tn)
2008	31163	958	29867	23385	970	22691
2009	34026	1158	39397	26095	1194	31160
2010	35313	1163	41079	26342	1213	31951
2011	35475	1161	41182	27337	1198	32740
2012	38498	1148	44213	27445	1100	30179
2013	44868	1162	52130	29886	981	29331
2014	68140	1684	114725	32261	1121	36158
2015	69303	1525	105666	34167	1119	38221
2016	64223	1234	79269	35694	985	35166
2017	61721	1274	78657	35269	1123	39610

Fuente: FAOSTAT (2018)

**1.1.5.4 Producción y rendimiento nacional de quinua**

A nivel nacional, la producción, es más sobresaliente en la región de Puno, con 39,610 Tn, representando alrededor del 50 % de la producción nacional, le sigue la región de Ayacucho, Apurímac y Cuzco que representan el 34%. En cuanto al rendimiento la región de Arequipa tiene un rendimiento de 3,213 kg/ha, mientras que la región de Puno ocupa el 12° lugar con un rendimiento promedio de 1,123 kg/ha; tal como se muestra en la figura 4 y 5, según la Dirección General de Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura y Riego - Perú (MINAGRI, 2017).

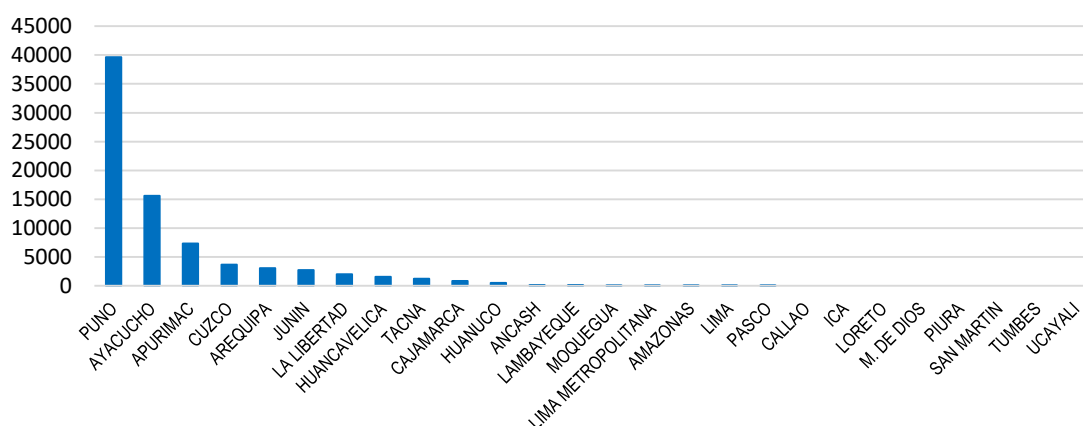


Figura 4. Producción nacional de quinua (Tn)

Fuente: MINAGRI (2017)

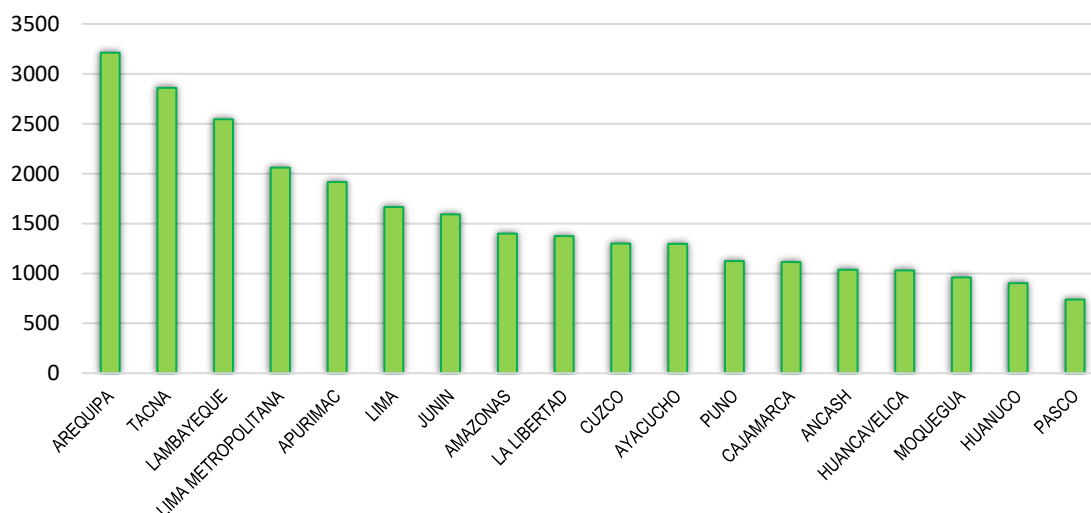


Figura 5. Rendimiento nacional de quinua (kg/ha)

Fuente: MINAGRI (2017)

Así mismo, la superficie cosechada a nivel nacional es también mayor en la región de Puno, con 35 269 ha, que representa el 57% de la superficie a nivel nacional, las regiones de Ayacucho, Apurímac y Cusco representan el 30 % de la superficie cosechada.

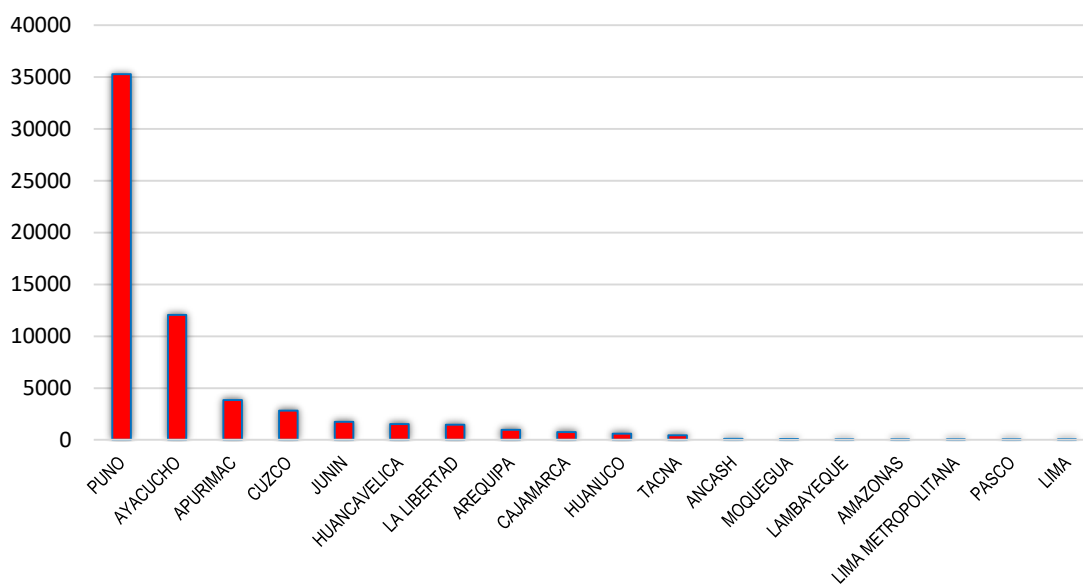


Figura 6. Superficie cosechada de quinua a nivel nacional (ha)

Fuente: MINAGRI (2017)

### 1.1.5.5 Producción y rendimiento regional de quinua

La región de Puno, tiene alrededor del 50% de la producción nacional, dentro de sus provincias, la más representativa en este aspecto es la provincia de Azángaro con 9,501 Tn, que representa el 24% de la producción regional, y con un rendimiento promedio de 1,169 kg/ha, ocupando el tercer lugar en rendimiento; en producción le sigue las provincias de El Collao, San Román, Puno, Huancané, Chucuito. La provincia de Lampa tiene una producción de 3,253 Tn, que representa el 9% de la producción regional, con un rendimiento de 1,136 kg/ha; cabe mencionar que la provincia con mayor rendimiento es Yunguyo con 1,303 kg/ha. Las zonas de intervención se tienen un rendimiento y producción promedio en la región que fortalece su capacidad productiva en este cultivo, según datos de la Dirección de Estadística Agraria e Informática (DEAI), de la Dirección Regional Agraria Puno (DRA-Puno, 2018).

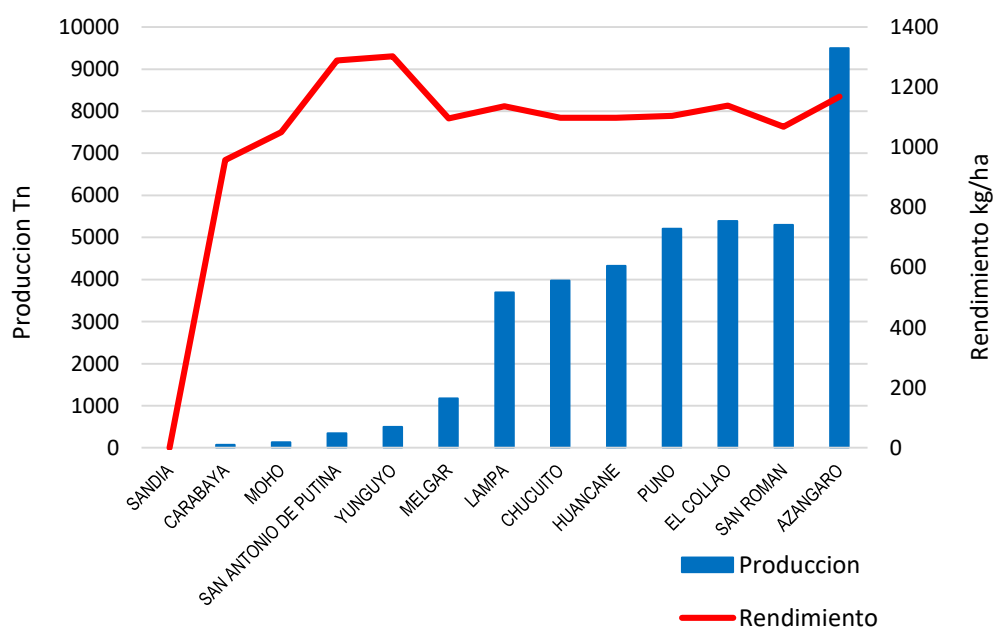


Figura 7. Producción y rendimiento regional de quinua

Fuente: DRA-Puno (2018)

En la superficie cultiva en la región, la provincia de Azángaro, tiene el mayor porcentaje de área, con 8 130 ha, que representa el 23% de la región, ahí le sigue la provincia de San Román, El Collao, Puno, Huancané, Chucuito y Lampa. Las zonas de intervención representan el 32% de la superficie cosechada de la región de Puno, lo que da realce al trabajo que se viene desarrollando.

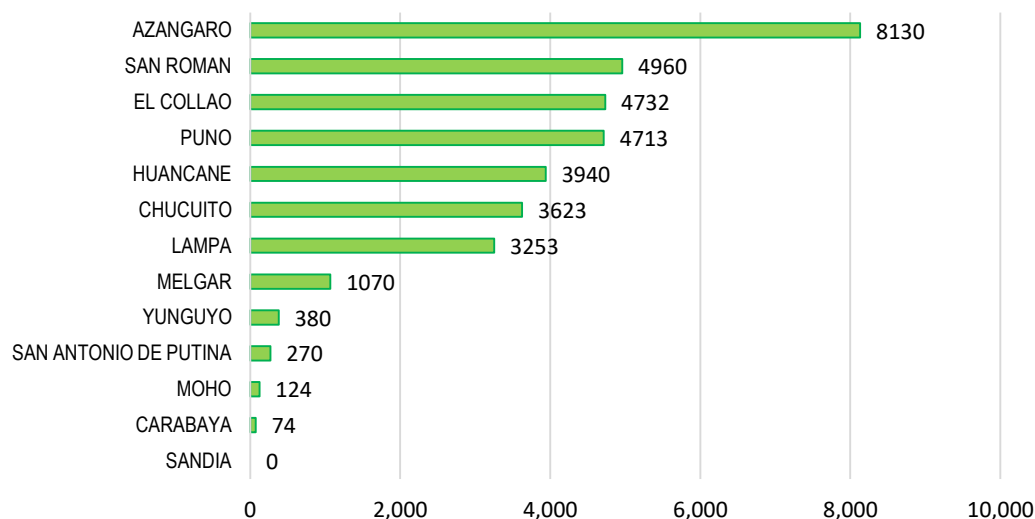


Figura 8. Superficie cosechada de quinua en la región Puno (ha)

Fuente: DRA-Puno (2018)

### 1.1.6 Clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor

Fue adoptada por el Ministerio de Agricultura (MINAG) del Perú, a través del Departamento de Tierras y Aguas, esta categoría representa la más alta abstracción, agrupando suelos de acuerdo a su vocación máxima de su uso. Reúne los suelos que presentan características y cualidades en cuanto a su aptitud natural para la producción. El sistema establece los siguientes grupos de Capacidad Mayor de las tierras (MINAG, 2009).

#### 1.1.6.1 Tierras aptas para el cultivo en limpio (símbolo A)

Reúnen condiciones ecológicas que permiten la remoción periódica y continuada del suelo para el sembrío de plantas herbáceas y semiarbusivas de corto periodo vegetativo, bajo técnicas económicamente accesibles a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del suelo, ni alteración del régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras por su alta calidad agrológica podrán dedicarse a otros fines (Cultivos permanentes, pastos, producción forestal y protección), cuando en esta forma se obtenga un rendimiento económico superior al que obtendría de su utilización con fines de cultivo en limpio o cuando el interés social del Estado requiera (MINAG, 2009).

#### **1.1.6.2 Tierras aptas para cultivo permanente (símbolo C)**

Son aquellas cuyas condiciones ecológicas no son adecuadas a la remoción periódica (no arables) y continuada del suelo, pero que permiten la implantación de cultivos perennes, sean herbáceas, arbustivas o arbóreas (frutales, principalmente); así como forrajeras, bajo técnicas económicas accesibles a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del suelo ni alteración del régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras podrán dedicarse a otros fines (pastos, producción forestal y protección), cuando en esta forma obtenga un rendimiento económico superior al que se obtendría de su utilización con fines de cultivos permanente o cuando el interés social del estado requiera (MINAG, 2009).

#### **1.1.6.3 Tierras aptas para pastos (símbolo P)**

Son aquellas que reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivos en limpio o permanentes, pero que permiten su uso continuado o temporal para el pastoreo, bajo técnicas económicamente accesibles a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del recurso, ni alteración del régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras podrán dedicarse para otros fines (producción forestal y protección), cuando en esta forma se obtenga un rendimiento económico superior al que se obtendría de su utilización con fines de pastoreo o cuando el interés social del Estado lo requiera (MINAG, 2009).

#### **1.1.6.4 Tierras aptas para producción forestal (símbolo F)**

No reúne las condiciones ecológicas requeridas para su cultivo o pastoreo, pero permiten su uso para la producción de maderas y otros productos forestales, siempre que sean manejadas en forma técnica para no causar deterioro en la capacidad productiva del recurso ni alterar el régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras podrán dedicarse a protección, cuando el interés social y económico del Estado requiera (MINAG, 2009).



#### **1.1.6.5 Tierras aptas para protección (símbolo X)**

Están constituidas por aquellas que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivos, pastoreo, producción forestal. Se incluyen dentro de este grupo: picos, nevados, pantanos, playas, cauces de ríos y otras tierras que, aunque presentan vegetación natural boscosa, arbustiva o herbácea, su uso no es económico y deben ser manejados con fines de protección de cuencas hidrográficas, vida silvestre, valores escénicos, científicos, recreativos y otros que impliquen beneficio colectivo o de interés social. Aquí se incluyen los parques Nacionales y reservas de biosfera (MINAG, 2009).

#### **1.1.7 Conflictos de uso de la tierra**

Para la definición de los conflictos de uso se ha definido que cuando la tierra es utilizada de acuerdo a su capacidad se dice que está en uso adecuado, en el caso contrario está en conflicto, se pueden tener dos tipos de conflictos; el primero se da cuando la actividad que se está realizando es de mayor intensidad a la que la tierra puede soportar en este caso el conflicto es el sobreuso, el segundo caso es el sub uso que se da cuando la tierra se utiliza por debajo de su potencial, como ejemplo, tendríamos un sobreuso en una zona agrícola que está en pendientes fuertes porque provoca un alto grado de erosión, esta actividad sobrepasa la capacidad de la tierra para mantener el suelo con un grado de erosión aceptable (MINAM, 2016).

#### **1.1.8 Definición de los sistemas de información geográfica (SIG)**

El modelamiento de procesos y las simulaciones cobijan los conceptos teóricos y los métodos computacionales, que describen, representan y simulan el funcionamiento de los procesos del mundo real, los modelos son abstracciones simplificadas de la realidad que representan o describen sus más importantes elementos de conducción y sus interacciones, las simulaciones pueden ser consideradas como modelos que se corren para ciertas condiciones iniciales reales o diseñadas (Medellín, 2013).

#### **1.1.9 El papel del SIG en el modelamiento y simulación**

El SIG juega un papel importante como el de almacenar y manejar los datos de entrada y los resultados, pre-procesamiento de datos de entrada (Edición, transformación, interpolación, derivación de parámetros, etc.), análisis y

visualización de los resultados, además de proveer el ambiente computacional y las herramientas para la simulación; en relación con el modelamiento, los SIG cada vez ofrecen más facilidades de desarrollar modelos y simulaciones de procesos del mundo real, a través del modelamiento simple soportando por la mayoría de los SIG comerciales, bien sea en estructuras de datos Raster o Vector. Otros SIG han desarrollado numerosas extensiones para la integración de modelos complejos (3D, métodos matemáticos, modelos hidrológicos) (Medellín, 2013).

#### **1.1.10 Modelos de datos**

##### **1.1.10.1 Modelo vectorial**

El modelo vectorial representa los objetos espaciales codificando de modo explícito, sus “fronteras” (el límite o perímetro que separa el objeto del contorno). Las líneas que actúan de fronteras son representadas mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman. De este modo, los objetos puntuales (Dimensión topológica) se representa mediante un par de coordenadas, la X y la Y de la posición del objeto (Bosque, 2000).

Este modelo permite diseñar digitalmente utilizando tres entidades propias de todo mapa: los puntos, las líneas y áreas cerradas (polígonos) (Buzai, 2000).

##### **1.1.10.2 Modelo raster**

Gutiérrez *et al.* (2013), indica que el modelo raster centra su interés más en las propiedades del espacio que en la representación precisa de los elementos que lo conforman. Para ello la estructura del espacio en una serie de elementos discretos por medio de una retícula regular, generalmente compuesta por celdas cuadradas, también llamadas “pixel”. Cada una de esas celdas se considera como indivisible y es identificable por su número de fila y columna.

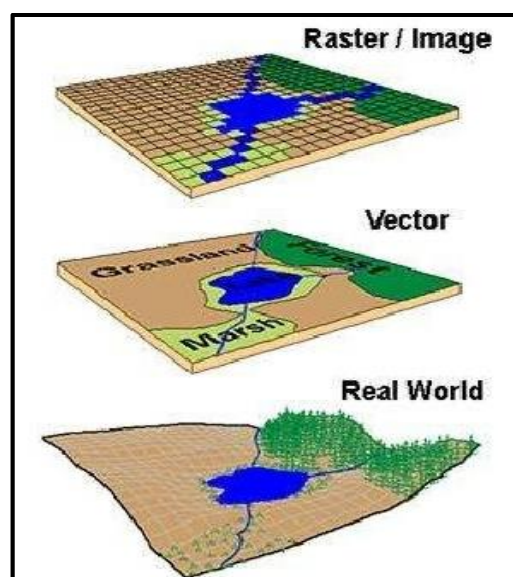


Figura 9. Modelo raster y modelo vector sobre la tierra

Fuente: Gutiérrez *et al.* (2013)

### 1.1.11 La teledetección

La teledetección o la percepción remota es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, gracias a la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra (Chuvienco, 1995).

#### 1.1.11.1 Elementos de un proceso de teledetección

- a. **Fuente de energía o iluminación.** El primer requerimiento en teledetección es disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía electromagnética al objeto de interés.
- b. **Radiación y la atmosfera.** La energía “viaja” desde la fuente al objeto, entra en contacto e interacciona con la atmosfera. Esta interacción tiene lugar una segunda vez cuando la energía “viaja” desde el objeto al sensor.
- c. **Interacción con el objeto.** La energía interactúa con el objeto dependiendo de las propiedades de este y de la radiación incidente.
- d. **Detección de energía por el sensor.** Se necesita un sensor remoto que recoja y grabe la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objeto y la atmosfera.

- e. Transmisión, Recepción y Procesamiento.** La energía grabada por el sensor debe ser transmitida, normalmente en forma electrónica, a una estación de recepción y procesamiento donde los datos son convertidos a imágenes digitales.
- f. Interpretación y análisis.** La imagen procesada se interpreta, visualmente o digitalmente, para extraer información acerca del objeto que fue iluminado (o que emitió radiación).
- g. Aplicación.** El paso final en el proceso de teledetección se alcanza en el momento en que se aplica la información extraída de las imágenes del objeto para un mejor conocimiento del mismo.

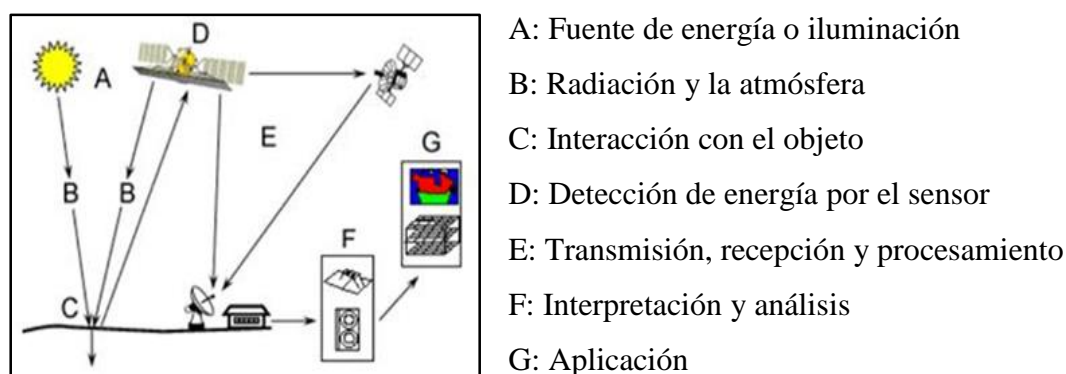


Figura 10. Elementos de un proceso de teledetección

Fuente: Chuvieco (1995)

### 1.1.12 Método estadístico: Prueba Chi Cuadrado de Kruskal Wallis

En este apartado se presentan dos pruebas que permiten contrastar si  $k > 2$  muestras ( $k$ , muestras independientes) aleatorias e independientes procedentes de una misma población, es decir, si un factor que subdivide la población de origen incide de forma significativa sobre el valor central de la población. Estos contrastes son alternativas no paramétricas al análisis de la varianza cuando se incumple alguno de los supuestos básicos de dicho análisis. El único requisito para aplicar estos contrastes es que la variable esté expresando en la mediana de las medidas al menos en una escala ordinal de tamaño de distribución de superficie por grupos de optimidad de tierras (Amat, 2017).

Esta prueba no paramétrica es análoga a la prueba paramétrica ANOVA de una vía. Aquí se prueba si varias muestras independientes (más de dos muestras o lo que es

lo mismo decir  $k$  muestras independientes) provienen o no de la misma población. La prueba de hipótesis puede ser considerada como una generalización de la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon. Asume que la variable tiene una distribución continua y requiere que la medida esté en una escala ordinal (Amat, 2017).

Si los resultados de las muestras independientes entre la misma población se asemejan, entonces nuestra zonificación por Zonas Agroecológicas, tienen resultados biofísicos similares o diferentes (filosofía de la zonificación espacial) (Amat, 2017).

Hipótesis:

$H_0$ : Med1= Med2

$H_1$ : Med1  $\neq$  Med2 al menos para un par  $(i,j)$

El estadígrafo  $H$  de Kruskal Wallis que para 3 o más grupos de tamaño 5 o mayor, tiene una distribución  $\chi^2$  con  $k-1$  grados de libertad.

El estadístico de prueba es:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(n+1)$$

Donde:

$H$  = Hipótesis planteada.

$n$  = Número de población observada.

$R^2$  = Frecuencias de distribución de datos de las categorías.

$n_j$  =  $j$ ésima repetición de datos de distribución de unidades espaciales de  $R$ .

Si  $H_0$  es verdadera y los tamaños muestrales son todos mayores que 5, el estadístico  $H$  se distribuye aproximadamente como chi-cuadrado con  $k-1$  grados de libertad. La aproximación es tanto mejor cuanto mayor es el número de muestras y el tamaño de las mismas.

### 1.1.13 Niveles de zonificación

#### 1.1.13.1 Microzonificación

La macro zonificación es aplicada a nivel nacional, macro-regional, regional y a nivel de provincias, cuencas hidrográficas y otros ámbitos espaciales con

superficies relativamente grandes, delimitando grandes unidades espaciales en el territorio, definidos con criterios: físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales; También puede ser tomada como referencia para definir prioridades espaciales en los otros niveles de mayor acercamiento espacial (meso y microzonificación) (MINAM, 2010).

La cartografía aplicable a los estudios del medio biofísico de grandes ecosistemas y paisajes, corresponde a una escala de trabajo menor o igual a 1:250 000, mientras que la información socioeconómica debe corresponder, por lo menos a las unidades espaciales provinciales o distritales, según las características de cada territorio, así también el grado de participación a este nivel involucra las diversas instituciones públicas y representantes de las organizaciones de la sociedad civil (MINAM, 2010).

#### **1.1.13.2 Meso zonificación**

La mesozonificación puede ser aplicada a nivel regional, provincial y distrital, a nivel de cuencas hidrográficas y otros ámbitos espaciales con superficies relativamente no muy grandes, incluyendo el área de influencia de zonas metropolitanas, delimitando unidades espaciales del territorio a semi detalles, con los mismos criterios de la macro zonificación, a su vez es marco de referencia para definir prioridades espaciales a nivel de microzonificación (MINAM, 2010).

La aplicación cartográfica para los estudios del medio biofísico (grandes ecosistemas y paisajes) corresponde a una escala de trabajo mayor o igual a 1:100 000, cuyas unidades espaciales para la información socioeconómica deben corresponder a los distritos o micro cuencas (MINAM, 2010).

El grado de participación dependerá de las instituciones públicas y privadas con actuación directa en el territorio comprometido, en especial los Gobiernos Provinciales y Distritales, las instancias territoriales del Gobierno Regional y Direcciones Sectoriales, ONGs, asociación de productores, comunidades campesinas e indígenas, gremios empresariales, medios de comunicación, entre otros (MINAM, 2010).

### 1.1.13.3 Microzonificación

La microzonificación, genera información sobre las potencialidades y limitaciones del territorio que sirva de base para la elaboración, aprobación y promoción de los proyectos de desarrollo, planes de manejo en áreas y temas específicos en el ámbito local. Igualmente, contribuye al ordenamiento y/o acondicionamiento territorial, así como al plan de desarrollo urbano y rural, cobertura espacial: áreas específicas de interés (MINAG, 2004).

La microzonificación se aplica a nivel local, en ámbitos espaciales con superficies relativamente pequeñas, incluyendo el área de influencia de zonas urbanas, delimitando unidades espaciales del territorio a nivel de detalle, con criterios biofísicos, a nivel de atributos específicos del paisaje, y criterio socioeconómico, a nivel de área de influencia de centros poblados o comunidades (MINAG, 2004).

El nivel micro es más detallado y está orientado a identificar los usos existentes y potenciales, para definir los usos específicos en determinadas áreas donde se requiere de información más precisa, al igual que la macro y mesozonificación, permite generar información sobre las potencialidades y limitaciones del territorio, para la elaboración, aprobación y promoción de los proyectos de desarrollo, planes de manejo en áreas y temas específicos en el ámbito local; igualmente, contribuye al ordenamiento y/o acondicionamiento territorial, así como al plan de desarrollo urbano y rural (MINAG, 2004).

La cartografía aplicable a estudios del medio biofísico corresponde a una escala de trabajo mayor o igual a 1:25 000, depende de la extensión y de las características del área de estudio, así también las unidades espaciales para la información socioeconómica, debe corresponder a los centros poblados; en el caso de las zonas marino costeras, la unidad espacial de análisis socioeconómica será diferenciada en concordancia a las actividades desarrolladas en este ámbito (MINAG, 2004).

#### **1.1.14 Regionalización**

Son resultantes de la acción recíproca de los diversos factores como la latitud, el cual determina la intensidad de la radiación solar; la altitud determina la temperatura y precipitación (Chuvieco, 1995).

#### **1.1.15 Modelamiento ambiental**

Los programas de modelación de la distribución de especies identifican sitios con ambientes similares a aquellos donde ya se ha encontrado la presencia de una especie como áreas de posible incidencia. Los datos requeridos para identificar estas áreas de distribución potencial incluyen puntos de presencia de especies, así como raster de variables ambientales de toda el área de estudio. Primero, se define un nicho con base en los valores ambientales que corresponden a los puntos de presencia utilizados en el análisis. Luego, para cada celda del raster en el área de estudio, se calculan las similitudes entre los valores ambientales en una celda específica y los valores del nicho de la especie, u objetos modelados. Con esta información, el modelo calcula la probabilidad de la presencia de una especie en cada celda del raster. Aunque el siguiente análisis se basa en datos climáticos, Maxent y otros programas de nicho también permiten incluir otros tipos de variables en el modelo como variables edáficas (Scheldeman y Zonneveld, 2011).

Es una metodología en la planificación territorial prospectiva, en el cuadro se diferencia la etapa de la planificación; el diagnóstico y la prospectiva. En planificación territorial se habla de la prospectiva estratégica como herramienta para promover la competitividad y el desarrollo integral de los habitantes. Sirve para articular el territorio con las dinámicas globales a través de estrategias nacionales, planes de desarrollo local y regional, planes exportadores y de ordenamiento territorial (Soms, 2005).

Sun (2000), indica; la versatilidad y la interactividad de un SIG proporciona una visión general del sistema agroecológico y de sus elementos constitutivos, así como muestra su valía al integrar todas las variables de los procesos agrícolas, ofreciendo una infraestructura jerárquica que puede llevarse hasta el nivel administración y manejo.



### 1.1.16 Normas Legales

En este ítem se ha considerado principalmente las herramientas utilizadas en la presente investigación:

- Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE).
- Decreto Supremo N° 007-2008 – MINAM
- Decreto Supremo N° 017-2009-AG, reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor.
- Decreto Supremo N° 013-2010-AG, reglamento para la ejecución del levantamiento de suelos.
- III Plan Operativo Bienal Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial 2011-2013, MINAM,
- Decreto Legislativo N° 1013, señala que la Dirección General de Ordenamiento Territorial, es responsable de promover los proceso de ZEE y OT en el país, y hacer el seguimiento respectivo a través del Plan Operativo Bienal de Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial, que tiene por finalidad orientar y planificar los procesos que se desarrollan a nivel nacional.

#### 1.1.16.1 Potencialidades de tierras por capacidad de uso mayor

A continuación, se describe en qué consisten estas herramientas:

Según el Congreso de la República del Perú MINAG (2009); aprueba el D.S. 017-2009-MA, Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, y en su Art. 1°, señala; la finalidad y alcances de la reglamentación sobre capacidad de uso mayor de las tierras; a) Promover y difundir el uso racional continuado del recurso suelo con el fin de conseguir de este recurso el óptimo beneficio social y económico dentro de la concepción y principios de desarrollo sostenible.

Se debe tomar en cuenta entre otros instrumentos de gestión de los recursos naturales y medio ambiente en el Perú, las siguientes normas (MINAM, 2010).

1. Ley N° 28611. “Ley General del Ambiente”. Título III - Integración de la legislación ambiental. Capítulo 1 - Aprovechamiento sostenible de los recursos naturales; Artículo 85.- De los recursos naturales y del rol del Estado.
2. Ley N° 26821. Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Título II - El Estado y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
3. Decreto Supremo N° 087-2004-PCM. Reglamento de Zonificación Ecológica Económica.
4. D.S. N° 019-2009-MINAM. “Reglamento de la Ley N° 27446 Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental”.

#### **1.1.16.2 Uso actual de la tierra y conflictos de uso**

El conflicto es el contraste entre el uso actual y la capacidad de uso y ha sido denominado divergencia (ICE, 1999). Según, Maldonado y Rodriguez (1997) conflicto y confrontación, así mismo MAGFOR (2000), menciona que es la adecuación del uso de la tierra a su capacidad. En la mayor parte de las metodologías de ordenación territorial basada en la capacidad de uso se obtiene finalmente un mapa de evaluación del suelo y estado actual del territorio (Lücke, 1998).

Según la Unión Geográfica Internacional UGI, Clasifica; en general las tierras sometidas a diferentes presiones de uso son (Ortiz, 2017):

1. Áreas Urbanas y/o instalaciones gubernamentales y privadas
  - Centros poblados
  - Instalaciones de gobierno y/o privadas (carreteras, granjas, canales, establos, huacas).
2. Terrenos con hortalizas
3. Terrenos con huertos de frutales y otros cultivos perennes
4. Terrenos con cultivos extensivos (papa, camote, yuca, etc.)
5. Áreas de praderas mejoradas permanentes
6. Áreas de praderas naturales
7. Terrenos con bosques

8. Terrenos pantanosos y/o cenagosos
9. Terrenos sin uso y/o improductivos:
  - Tierras en barbecho (preparación o descanso temporal)
  - Terrenos agrícolas sin uso (actualmente abandonados)
  - Terrenos de litoral, caja de río
  - Áreas sin uso no clasificadas.

### 1.1.16.3 Optimización de los recursos y maximización de los ingresos netos

Existen algunos principios que se debe considerar para el desarrollo de un modelo Multi-criterio para la toma de decisiones estos son (Murray, 2010):

- El modelo es desarrollado siguiendo los principios de generalización y simplificación de la realidad, este debe ser fácil de entender y simple de comunicar e informar.
- El número de criterios de evaluación deben ser definidos de forma que el modelo describa de la mejor manera posible la problemática, con la menor cantidad de criterios posibles, cuantos más criterios son utilizados en el desarrollo del modelo, más complicado se hace el mismo.
- Las evaluaciones de los criterios son explicitadas, cuantificable, operacional, no redundante y simple.

Guillén (2002), relaciona la optimización de los recursos con la maximización de los beneficios; las condiciones del problema se representaron de la siguiente forma:

- Límite de tierra: el área asignada a cada uso del suelo debe ser igual a las áreas generadas en las UTH, y la sumatoria no debe sobrepasar el área que comprende la subcuenca.
- Límite de capital: el costo de producción no debe superar el capital disponible con el que cuentan los productores.
- Límite de mano de obra: la cantidad de jornales utilizados para la producción debe ser menor o igual a la población económicamente activa de la subcuenca.

- Límite de consumo: las áreas cultivadas deben asegurar el autoconsumo de la población.

Con la definición de estas limitaciones se maximizó el ingreso neto de la subcuenca según las condiciones actuales, para finalmente generar el escenario base.

## 1.2 Antecedentes

En la cuenca del río Cañete, se realizó el estudio de zonificación edafoclimática de la quinua y kiwicha, con el fin de conocer las variables que participan en la fisiología del cultivo. Estas son: la topografía, la pendiente del terreno, la temperatura, la precipitación y las características del suelo clase IV. Se aplicó el método de zonificación integrando las unidades del territorio y se diseñó el mapa de la cuenca, donde el nivel óptimo de los cultivos de quinua y kiwicha está en el rango de altitud de 2200 a 3500 msnm y pendiente del 0-15% identificándose un área potencial de 1000 km<sup>2</sup>. En relación a la temperatura y precipitación se elaboró el mapa de isotermas e isoyetas respectivas para estos cultivos andinos donde las temperaturas óptimas para la quinua son de 0°-12°C y para la kiwicha de 6°-10°C y un rango de precipitación de 400 a 700 mm por los valores óptimos para el riego por lluvia (Gómez *et al.*, 2013).

En el CIP Tambopata; se desarrolló un trabajo de tesis, donde se obtuvieron resultados respecto a las áreas de producción de cafetales, los mismos que pertenecen al grupo de clasificación capacidad de uso mayor y son tierras potenciales para cultivos permanentes con una extensión de 92.44 ha; al mismo tiempo son tierras aptas para forestales con una superficie de 50.86 ha y tierras aptas para cultivos permanentes asociado con forestales con un área de 5.00 ha. Actualmente existe un conflicto de uso de tierras, con una extensión de 0.22 ha y el nivel adecuado con una extensión de 9.88 ha, sin uso con una extensión de 138.22 ha. Son tierras aptas para café con un área de 9.08 ha, rendimiento de 1650 Kg/ha lo que representa a un volumen de 1.65 Tn, aptitud cafetal moderada con una extensión 62.19 ha y rendimiento de 1150 Kg/ha lo que representa a un volumen de 1.15 Tn, aptitud cafetal restringida con un área de 15.46 ha y rendimiento de 500 Kg/ha, lo que representa a un volumen de 0.65 Tn. (Lipa y Goyzueta, 2018).

En la modelación de un bosque nativo en la región Puno, se concluyó; que, el bosque nativo está fuertemente relacionado mediante los elementos climáticos: Temperatura

media anual entre 4.19°C y 9.27°C, precipitación media anual 582.10 y 738.38mm, la zona supera la oferta hídrica para los meses setiembre a abril y deficitario entre mayo y agosto, altitud 3825 a 4750 msnm, pendiente 0.00 hasta 75%, tierras con vocación forestal 2,311.80 ha. Uso forestal actual adecuado 351.90 ha, población total de la microcuenca 4,997 habitantes, tasa de crecimiento poblacional 2.28%, cuenta con una población económicamente activa de 816 jornales y de ésta el 15% se ocupa en las actividades forestales (Ortiz, 2017).

En la microcuenca del río Salado Puno, se identificaron tres grandes grupos edáficos: a) Orden Entisols con unidades de suelo: Moyopampa I y III, Hacienda Calliri, Bertaparque, Miraflores, Yacari Tuntachave, Umajalso, Tisnachuro Vista Azul, Ancoaque Quilcani, Percatuyo, Ancoaque San Francisco, Yacari Tisñachuro, Huaquina, y Ancco Vilque; b) Orden Inceptisols con unidades de suelo: Rio Salado y Moyopampa II y c) Orden Mollisols con unidad de suelo: Chullucachi Acero Waca; teniendo un total de 17 unidades de suelo en la microcuenca del rio Salado con fertilidad natural de condición media a baja. También se ha identificado seis categorías de uso actual de tierra: terrenos urbanos (146.67 ha), terrenos con cultivos transitorio en secano (2426.40 ha), con praderas naturales (4, 595.41 ha), con bosques (115.03 ha), terrenos húmedos (91.31 ha) y terrenos sin uso y/o improductivos (871.11 ha). La microcuenca de rio Salado tiene una población de 2,764 habitantes; con una población económicamente activa del 40.38%, la actividad principal es agropecuario con 19.57%; otras actividades 20.80% y NSA 59.62%, con una disminución de población anual en un 13.52%. Finalmente se determinó zonas con valor agrologico medio (2,020.96 ha) con características favorables para la producción de quinua, zonas con valor agroecológico bajo (790.48 ha) y zona con valor agroecológico no apta es de (5,434.69 ha) (Huarahuara y Montufar, 2016).

En el Distrito de Samán, provincia de Azángaro departamento de Puno a una altitud de 3830 msnm, se ejecutó una tesis de investigación, aplicando el sistema de información geográfica y teledetección”, donde presenta una superficie de 20541.91 ha, presenta un marco fisiográfico con mayor predominancia de planicie, se consideró con valor agrologico alto a las zonas de guardan características favorables para la producción de quinua, abarca una superficie de 9154.96 ha (44.57%) del área de estudio; considerando con valor agrologico medio a las zonas que guardan características favorables medias con limitaciones de drenaje, inundación, profundidad, para la producción de quinua, abarca una superficie de 6862.74 ha (33.41%) y con valor agrologico bajo se encuentran las

zonas que no poseen condiciones favorables mínimas para producción de quinua, abarca una superficie de 3110.57 ha (15.14%) (León, 2015).

En el Valle de Alto Inambari Sandia, se realiza un estudio donde se reporta que la zonificación en base a la altitud muestra que los cultivos de café orgánico se encuentran en piso altitudinal alto con 27.02%, medio con 67.45% y el piso altitudinal bajo con 5.53% de productores de café orgánico. Análisis físico para el color, olor y el porcentaje de humedad de café verde, no mostraron diferencias significativas entre los pisos altitudinales, el mayor rendimiento físico de café de exportación se obtuvo en el piso altitudinal alto con 81.46%, seguido del piso altitudinal medio con 80.19%. En perfil de tasa, la mejor calidad sensorial del café, se obtuvo en el piso altitudinal alto con 84.36 puntos, el piso altitudinal medio con 82.63 puntos y el piso altitudinal bajo con 80.88 puntos. En el piso altitudinal alto se obtuvo el mayor rendimiento físico y calidad sensorial del café orgánico, mostrándose como una de las potenciales para la producción del café orgánico en el valle de Inambari (Bruno, 2015).

La investigación sobre la zonificación agroecológica en función de los elementos hidrometeorológicos, con el objetivo general es determinar de qué manera los elementos hidrometeorológicos determina la zonificación agroecológica, en los resultados se identificaron cuatro sub-tipo climáticos: Sub – tipo climático “A” circunlacustre, la oscilación térmica (OT) varía de 15.0 °C a 17.0 °C, temperatura media 7.0 °C a 9.0 °C y precipitación pluvial mayores a 700 mm.; Sub – tipo climático “B” puna húmeda, la OT varía de 17.0 °C a 18.0 °C temperatura media 8.0 °C a 9.0 °C, precipitación pluvial de 650 mm; Sub – tipo climático “C” o clima de altiplano, la OT varía de 18.0 °C a 19.0 °C, temperatura media 8.0 °C a 7.0 °C, precipitación pluvial de 600 mm; Sub – tipo climático “D” o clima de las alturas, la OT varía más de 19 °C, temperatura media 7.0 °C a 3.0 °C, precipitación pluvial de 500 mm. a 1300 mm. (Ninaraqui, 2014).

Se desarrolló el trabajo de investigación sobre propuesta de metodológica de microzonificación ecológica y económica, en el río zapatilla - Puno, los resultados indican que, en esta microcuenca mencionada, presenta cinco categorías de zonificación, con buen potencial para las actividades productivas tales como la agrícola y pecuaria con 86% de la superficie total. Presenta también zonas de recuperación, por conflictos de uso (5%). Zonas para la protección y conservación ecológica de especies endémicas como, queñua, tola (5%). Entre otras zonas en menores porcentajes (Huaranca, 2014).

Se desarrolló, el trabajo de investigación sobre microzonificación climática para el mejoramiento de la producción agrícola en la cuenca de zapatilla del departamento de Puno, en donde se han identificado cuatro tipos de microclimas en la cuenca de Zapatilla: Clima lluvioso frio, con otoño, invierno primavera seco, Clima semilluvioso y frio con otoño, invierno, primavera, seco, Clima semilluvioso y frígido con otoño e invierno seco, Clima Semilluvioso y frígido, con otoño, invierno y primavera secos (Orocollo, 2014).

En el CIP-Camacani de la UNA-Puno se realizó el proyecto de investigación “Zonificación y análisis de la potencialidad agrícola y forestal de las tierras y su ordenamiento territorial con sistema de información geográfica”, cuyos resultados, dieron lugar a la espacialización de la información biofísica y temática, con la elaboración final del mapa de pendientes, mapa fisiográfico, mapa de suelos, mapa de uso actual, mapa de capacidad de uso mayor y el mapa de conflictos de uso de suelos. En el modelamiento de las tierras, aplicando la herramienta SIG, se reclasificó las categorías de uso mayor de Camacani donde se obtuvieron que el área de estudio, es de vocación compartida tanto forestal como agrícola, la aptitud forestal es la que predomina con un área de 28.4 hectáreas, que representa el 48.76 %, pero solo se está explotando 20.86 hectáreas, la aptitud agrícola es la segunda potencialidad predominante con un área de 20.26 %, hectáreas para la producción de cultivos en limpio, pero solo se está aprovechando un 17.98 hectáreas; para el sector de Camata la única potencialidad identificada es la agrícola con 34.08 hectáreas, que representa el 86.68 %, asimismo se obtuvo en el sector de Camacani, el 12.41 %, equivalente a 7.54 hectáreas, se encuentra en conflicto de sobreuso, considerando el nivel más perjudicial, la zona de colina, el nivel de conflicto de subuso, representa el 6.2 %, que equivale a 3.75 hectáreas, con respecto a la zona de Camata, solo un 2.82 %, se encuentra en conflicto de subuso, no habiéndose identificado otros niveles de conflicto (Cervantes, 2012).

En el CIP-Ituata de igual manera se realizó el proyecto de investigación, “Modelación de las potencialidades de tierras, agua y propuesta de manejo agroforestal aplicando el SIG y Teledetección”, en donde se identificaron las siguientes categorías: tierras aptas para cultivos permanentes que pertenecen a la segunda categoría con limitación a suelo con 5.53 has (3.59 %); tierras aptas para producción forestal, pertenecientes a la segunda y tercera categoría con limitaciones en suelo, erosión y la parte alta con limitación de clima cuenta con 115.76 has (75.32 %); tierras de protección con 32.41 has (21.09 %). Asimismo, se han descrito cuatro series de suelos: serie Ayapata y Kulluwasi pertenecen

al orden Mollisols, y las series, Kullusamana y Pilcopata que corresponden al orden Inceptisols. Sobre la clasificación de fertilidad de suelos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, ajustado por A. Herrera, los suelos: Ayapata, Kulluwasi, Kullusamana y Pilcopata, son de valor potencial baja, por las condiciones edáficas. El uso actual de tierras, según la Unión Geográfica Internacional se han identificado las siguientes categorías terrenos con cultivos perennes con 0.65 has (0.42 %); áreas con praderas naturales con 2.96 has (1.91 %); y terrenos con bosques presenta 149. 66 has (97.37 %) (Sardon y Mamani, 2012).

Se llegó a identificar las zonas edafoclimáticas de la cuenca del río Ramis: i) Sub-Tipo Climático “A” Circunlacustre: Corresponde al área que bordea al lago Titicaca y la laguna Arapa; ii) Sub-tipo Climático “B” Puna Húmeda; iii) Sub-tipo climático “C” o clima de Altiplano; iv) Sub-tipo climático “D” o clima de las alturas. Los resultados muestran que existe una relación considerable entre la producción agrícola y la oscilación de la temperatura en la cuenca del río Ramis, la misma que nos indica que la producción se muestra en el análisis de variancia de la regresión cuadrática lo cual se muestra que existe una relación inversa por lo que se dice que a mayor oscilación de la temperatura la producción de papa disminuye así como el coeficiente de regresión lineal es negativo, esto quiere decir que la producción de papa en toneladas por hectárea, cuando la oscilación disminuye en la producción de papa incrementa en una unidad de tonelada (Benito, 2012).

En el CIP-Ilpa, se realizó el proyecto de investigación “Manejo del recurso suelo mediante sistema de información geográfica en el CIP-Ilpa - UNA Puno”, donde se identificó el uso actual de suelos y se determinaron siete tipos de usos, donde la cobertura por pastizales es la más representativa, con un área de 294.00 hectáreas que equivale a un 70. 81 % del área total, el uso agrícola (cultivos anuales) representa el 12.75 % del área total, esto indica que el área de estudio es de muy poca vocación agrícola y el desarrollo de esta actividad está localizado con mayores extensiones en la parte llana y pie de monte del CIP. Asimismo, se determinó que el 65.38 % del área del CIP Ilpa, se encuentra con uso adecuado; mientras que un 19.51 % se encuentra en conflictos de sobreuso, por otra parte, un 15.05 % se encuentra en subuso, siendo este último una ventaja para el acondicionamiento territorial. En la evaluación del grado de erosión de suelos se determinó que el 44.2 % de la extensión del CIP, se encuentra erosionado que va desde ligera hasta muy severa, según los parámetros de SOIL TAXONOMY, mientras que el



51.43 % no presentan erosión debido a que estas extensiones se encuentran en la parte llana del CIP (Alanoca, 2008).

Se desarrolló una investigación, con el objetivo de definir las zonas climáticas aptas para el cultivo de maíz en el estado Carabobo, Venezuela, y de esta manera coadyuvar a la sostenibilidad de la producción agrícola de esta entidad. El estudio fue realizado con tres aspectos: las condiciones del suelo y el clima de la zona, los tipos de alivio y los requerimientos hídricos de los cultivos, que aproximaron el comportamiento de la humedad en los suelos, el acuerdo con los balances hídricos del cultivo. Estos tres aspectos se analizarán separadamente y luego se integrarán para determinar la zonificación espacial del maíz a partir de las fechas óptimas de siembra. Los resultados regulares una superficie de 590 km<sup>2</sup> de tierras agrícolas aptas para el maíz, distribuida en doce de los municipios. El estudio pone de manifiesto la importancia de realizar este tipo de zonificaciones para ubicar las especies según la estación de crecimiento y realizar las labores mecanizadas, agrícolas y culturales en las épocas más adecuadas (Olivares *et al.*, 2018).

Se desarrolló un estudio, donde se evaluó la siembra y adaptación de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad INIA415-Pasankalla, bajo las condiciones edafoclimáticas de Puerto Eten, en los meses de noviembre a marzo, con el objetivo de determinar su comportamiento y desarrollo en sus diferentes estados fenológicos; así como también su rendimiento y calidad de grano bajo estas condiciones adversas: Según el análisis físico-químico del suelo, se encontró las siguientes características: pH = 7.5; C.E = 24.90 mhos/cm; M.O = 0.70%; P = 6.80 ppm; K = 287 ppm; CaCO<sub>3</sub> = 0.60% y Tipo de suelo = Franco Arenoso; suelo con un nivel alto de sales solubles, superando los umbrales técnicos para muchos cultivos. Las condiciones climáticas durante estos meses mostraron T° máximas de: 22.0°C y 28.0°C como promedio y T° mínimas de 14.6°C y 21.0°C respectivamente. Los resultados mostraron que bajo éstas condiciones las plantas de quinoa presentaron un efecto de tropicalización, el cual se evidenció en la reducción de los días durante el desarrollo de sus fases fenológicas, en la aceleración del proceso de maduración y cosecha del producto; siendo el rendimiento promedio estimado de 1 Tn/ha; observándose finalmente una gran adaptación del cultivo a estas condiciones edafoclimáticas. Por lo cual este cultivo se convierte en una alternativa para ser sembrado en ambientes con condiciones semejantes que constituyen un porcentaje considerable en nuestra región Lambayeque (Leiva *et al.*, 2015).

Se realizó un trabajo, en el municipio de Ancoraimes, de la provincia Omasuyos del Departamento de La Paz., la zona de estudio cuenta con una superficie aproximada de 12.515 ha. El objetivo principal fue realizar un inventario biofísico de los componentes de estudio y la zonificación mediante modelamiento espacial para la definición del potencial productivo de la cuenca de Ancoraimes, con aplicación de SIG y Teledetección, generando la base de datos y mapas temáticos, donde se obtuvo: zonas sin vegetación que fue la de mayor representación, con 7.134,12 ha, siendo un 56,73% del total de la superficie de estudio, seguida por la categoría praderas nativas con 3.460,77 ha, con un 27,52%, y Zonas con vegetación antrópica con 1.941,21 ha (15,44%) y el restante 0,31% cuerpos de agua y sombras. Para el caso de la zonificación mediante el modelamiento espacial del medio biofísico se pudo determinar las zonas potencialmente productivas para el cultivo de papa mediante la reclasificación de las capas en función a los requerimientos del cultivo, procesado el modelamiento se obtuvo una superficie de 2.612,48 ha que representa el 20,87% del área total de la zona de estudio, con características favorables para su producción en cuanto a sus requerimientos. En cuanto a las zonas potenciales para la ganadería se cuenta con 6.245,3 ha que equivale al 49,9% del total del área de estudio con pendientes mayores al 12%, con presencia de serranías medias y altas con presencia de especies muy apetecidas como es el caso de Ñapha (*Calamagrostis brevifolia*), Chillihua (*Festuca rigescens*), Iruichu (*Stipahans meyeri*) apetecida por bovinos, ovinos y llamas en estado tierno (Mamani, 2011).

Se realizó un trabajo, con el objetivo de identificar las poblaciones de agraz existentes en una zona de 960 106 ha en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá y caracterizar las áreas donde se encuentran, con el fin de establecer los principales requerimientos agroecológicos y efectuar una zonificación de las áreas con potencial para su cultivo. Se recolectaron datos georeferenciados del suelo y del clima y se integraron con otra fuente de datos como los modelos digitales de elevación (DEM) y las imágenes de sensores remotos, en un sistema de información geográfica donde se efectuaron los análisis espaciales respectivos. Los suelos donde se encontró agraz presentaron acidez muy alta, con contenidos elevados de saturación de aluminio y pH muy bajo. Son suelos de baja fertilidad, con contenidos de P y bases que se consideran deficientes para muchos cultivos. Los contenidos de elementos menores también estuvieron por debajo de los niveles críticos generales considerados como aceptables para los cultivos. Además, las condiciones físicas del suelo donde se encontró agraz presentaron limitantes como

horizontes compactados, contactos líticos y en algunos casos avanzados procesos erosivos. El análisis espacial demostró que el 40,6% del área presenta condiciones buenas o moderadas para la especie y el 59,4% tiene condiciones limitantes para la especie (Muñoz *et al.*, 2009).

Se realizó un estudio, donde se generó una biblioteca de aptitud agroclimática para la producción de cultivos mediante el uso de conjuntos de datos climáticos de 20 a 33 años para 41 estaciones meteorológicas en el Altiplano boliviano. Se obtuvieron cuatro indicadores agroclimáticos para la región mediante procedimientos de cálculo validados. Se determinó la evapotranspiración de referencia, la duración de la estación lluviosa, la severidad de los períodos secos intraestacionales y los riesgos de heladas mensuales para cada una de las estaciones. Para obtener una cobertura geográfica, los datos puntuales se ingresaron en SIG y se interpolaron utilizando kriging ordinario, con o sin incorporación de anisotropía. El estudio, se centra en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), Un cultivo importante en la región que se cultiva durante la temporada de lluvias cortas e irregulares y que se adapta bien a la frecuente aparición de sequías y heladas. La biblioteca GIS se utilizó para marcar zonas donde el riego deficitario podría mejorar la producción de quinua. Con una consulta de datos, se delimitaron zonas donde el riego puede ser útil para estirar la duración de la temporada de crecimiento más allá de los límites de la temporada de lluvias y/o mitigar los períodos secos intraestacionales. Los requisitos determinados de riego neto se utilizaron para evaluar la vulnerabilidad de las zonas delineadas. Dos regiones con una alta vulnerabilidad, un grave riesgo de sequía y un riesgo aceptable de heladas son la región oriental del Altiplano y la región de depresión inter-sal en el sur. Juntos, representan alrededor de un tercio del área del Altiplano (Geerts *et al.*, 2006).

La propuesta de ordenamiento territorial para la subcuenca del río Copán se elaboró a partir de la modelación de la situación actual y considerando variables biofísicas y socioeconómicas. Esta propuesta permitió orientar la planificación del ordenamiento del territorio en la zona. Mediante un mapa adicional se buscó determinar las áreas que muestran conflictos de uso, según el ordenamiento territorial propuesto y el uso actual de la tierra, el mapa refleja; que el 63,4 % de áreas tienen conflictos de uso, mientras que el 36,6 % muestra un uso correcto. Si se comparan los mapas conflictos entre ordenamiento territorial propuesto y uso actual, se puede observar que en el último se da una

disminución en las áreas con conflictos de uso de la tierra; tal situación permite encaminar acciones para planificar adecuadamente el ordenamiento territorial (Guillén, 2002).

En un estudio realizado en Cuba, se diseñó un programa, que permite analizar cuál o cuáles de las variables consideradas tiene mayor influencia en el comportamiento del cafeto. El análisis arrojó que los elementos de clima fundamentales son la temperatura media diaria y la media anual de las precipitaciones; otro elemento discriminante fue el suelo, donde se definieron los tipos y su aptitud para el cafeto así como su profundidad efectiva; a partir de estas bases, se definieron las categorías para la zonificación agroecológica del cafeto, las cuales son: óptima, medianamente óptima, aceptable y no apta, en cada una de ellas se establecen los niveles potenciales de rendimiento. Esta metodología de trabajo se validó en el macizo montañoso Sagua-Nipe-Baracoa (Soto, 2001).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

Uno de los principales retos que se presenta a nivel mundial, es el problema de la alimentación, el mismo que hasta ahora ensombrece el panorama para las futuras generaciones, debido al constante crecimiento poblacional. El cultivo de quinua es un grano andino que presenta una gran diversidad biológica, y alto contenido de macro nutrientes, aminoácidos y minerales, es la base de la dieta alimenticia de los pobladores de las zonas andinas desde hace miles de años (FAO, 2011).

Los factores climáticos influyen directamente durante todo el proceso productivo del cultivo de la quinua, el manejo productivo en la microcuenca del distrito de Azángaro es conducido de forma inadecuada e inoportuna, para los productores de la zona es una gran limitante la aplicabilidad y uso de los modelos agroclimáticos, debido a que no existen estudios modelo base de información temática gráfica, que indiquen claramente las zonas de producción de acuerdo a su aptitud climática.

Los agricultores del distrito de Azángaro y las comunidades aledañas tienen muchas restricciones para el desarrollo de sus actividades productivas debido al escaso conocimiento sobre la función de las condiciones edafoclimáticas, potencialidades, productividad y aptitud. Por ello urge la necesidad de realizar una zonificación edafoclimática, para el cultivo de quinua, a partir de los análisis de las prácticas de aptitud climática, topografía, relieve y vegetación, lo que permitirá obtener información de manera más acertada para mejorar la producción de este importante cultivo.

## 2.2 Enunciados del problema

### Enunciado general:

¿Cuáles serán las zonas con potencialidades y limitaciones edafoclimáticas para el cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro?

### Enunciados específicos:

- ¿Cuáles serán las variables edafoclimáticas influyentes y dependientes en la fisiología del cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro?
- ¿Cuáles serán las zonas con potencialidades edafoclimáticas territoriales, para el cultivo de quinua en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro?
- ¿Existen tierras con aptitud edafoclimática óptima, para la conducción de cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro?

## 2.3 Justificación

El cultivo de quinua, es un recurso de alto valor nutritivo que requiere de características climáticas, específicas para su desarrollo. En las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro, aún no se cuentan con estudios específicos sobre requerimientos de diversidad edafoclimática, para zonificar áreas para este cultivo a fin de mejorar y aprovechar al máximo el recurso clima y por ende la ampliación de las áreas del cultivo de quinua, asimismo el incremento de la productividad para mejorar la calidad de vida de la población.

El uso inadecuado de las tierras agrícolas conlleva a impactos negativos en los agroecosistemas como; el deterioro de la calidad del suelo, erosión, deterioro del paisaje, pérdida de la biodiversidad, entre otros. Sobre la base de la información de modelación o simulación de los diferentes escenarios agroclimáticos es oportuno tomar decisiones y aplicar las medidas correctivas para el uso adecuado de los recursos (Meza y González, 2012).

El presente proyecto de investigación, servirá como, centros modelos que den a conocer conocimientos científicos y prácticos en el manejo de los recursos. Constituirá también, un referente importante en el proceso de ordenamiento territorial y zonificación

edafoclimática, dentro del ámbito de la provincia de Azángaro, que tratará de posibilitar el adecuado proceso productivo del cultivo de la quinua, así como de las inversiones públicas y privadas, que constituirá en un instrumento de gestión modelo, en la solución de conflictos de uso de las tierras en este importante distrito.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo general**

Zonificar las potencialidades y limitaciones edafoclimáticas por unidades integrales del territorio para el cultivo de quinua en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.

### **2.4.2 Objetivos específicos**

- Identificar las variables edafoclimáticas influyentes y dependientes en la fisiología del cultivo de quinua en el espacio territorial de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.
- Zonificar las potencialidades y limitaciones edafoclimáticas para el cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.
- Modelar las unidades integrales de tierras óptimas para el cultivo de quinua en el ámbito de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.

## **2.5 Hipótesis**

### **2.5.1 Hipótesis general**

- Las zonas edafoclimáticas óptimas influyen en la fisiología del cultivo quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.

### **2.5.2 Hipótesis específicas**

- Las variables edafoclimáticas óptimas, tienen relación directa con el rendimiento del cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.
- Las potencialidades edafoclimáticas están distribuidas aleatoriamente en el espacio territorial de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.

- Las zonas óptimas para el cultivo de quinua, dependen de las características de los parámetros edafoclimáticos, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio



Figura 11. Área de estudio

La investigación se desarrolló en el área geográfica de la provincia de Azángaro, región Puno, Perú. La zona de estudio se realizó en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro, en 965.65 km<sup>2</sup>, según Aquize (1987), Azángaro comprende la zona de vida Sub tipo climático “B” Puna Húmeda: de temperatura media anual de 7.5 °C variando entre una máxima de 15 C° y una mínima de 1 °C. La provincia de Azángaro, que forma parte de la Cordillera Oriental, se encuentra ubicada en la zona norte-central del

departamento de Puno. Está localizada entre las coordenadas geográficas 14°54'24" de Latitud Sur y 70°11'36" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, por esta provincia pasa la principal vía Transoceánica Puno Madre de Dios. La provincia de Azángaro Tiene una extensión territorial de 4,970.01 km<sup>2</sup>, una densidad poblacional de 27.47 hab./km<sup>2</sup> y colinda por el norte con la provincia de Carabaya, por el sur con la provincia de San Román, por el este con la provincia de Huancané y San Antonio de Putina, y por el oeste con las provincias de Melgar y Lampa. En esta jurisdicción se llevó a cabo el estudio en un área total de 965.6527 km<sup>2</sup>, (Figura 11).

### **3.2 Población**

En este caso se aplicó el muestreo Cluster por Unidades Fisiográficas. En total se determinaron 15 Unidades Fisiográficas, en las cuales se localizaron 37 calicatas para el análisis de caracterización de suelos. (Ver anexo 11: mapa de distribución de puntos). El mapa fisiográfico contiene el resultado de análisis de Zonas de Vida; y este último se basó en los parámetros del clima, conforme recomendara para estos casos (Holdridge, 1947)

### **3.3 Muestra**

Utilizando el diagrama triangular de clasificación de zonas de vida de Holdridge, se determinó el área de estudio como zona de vida Bosque Montano Sub Tropical, donde la temperatura media anual es 8 y 9 °C y la precipitación media anual fue de 680 a 690 mm., para un periodo de retorno de 50 años, comprendidos entre 1962 hasta el año 2012.

Para esta zona bioclimática según la norma técnica peruana (D.S. 017-2009-AG), se recomienda el uso de la Clave 10 de la clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor, la misma fue basado en los resultados del muestreo de suelos por calicatas.

### **3.4 Método de investigación**

El método de investigación aplicado al presente trabajo de investigación fue el método estadístico correlacional descriptivo en la determinación de la temperatura media anual y para el cálculo e interpolación de los datos de precipitaciones de las estaciones meteorológicas fue el método geoestadístico o estadística no paramétrica. En este tipo de análisis se aplicó el método ideado por Kriging, el Semivariograma Ordinario, se realizó con 26 estaciones meteorológicas de 50 años de SENAMHI, desde 1962 hasta 2012.

En respuesta a los objetivos planteados, se realizó la modelación edafoclimática de las potenciales aptitudes del cultivo de quinua, y propuestas de manejo de cultivo aplicando programas informáticos (ArcGis) de sistema de información geográfica SIG y técnicas de teledetección agrícola. Se utilizó el método de jerarquización cualitativo, donde las unidades de análisis son identificadas y descritas de acuerdo a las características que presentaron. (Ver anexo 20: mapa modelamiento de aptitud edafoclimática; base de datos de los mapas temáticos,).

### **3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

#### **3.5.1 Identificación de variables edafoclimáticas influyentes y dependientes en la fisiología del cultivo de quinua en el espacio territorial de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro**

La visión general del Modelo Prospectivo, con sus resultados y referencias técnicas, se pueden emplear en cada caso: involucrar al futuro como causa final del presente. Es decir, debe facilitar la construcción del futuro a través del presente, facilitar la tarea a quienes ejercen la causalidad eficiente del futuro, como los actores sociales tienen la responsabilidad de construir el futuro (Alba, 2009).

Se aplica la matriz de variables de dependencia e influencia ponderada en la selección de variables estratégicas del escenario de cultivo de quinua, en la zona de estudio (Guzmán *et al.*, 2005).

##### **3.5.1.1 Selección y valoración de parámetros edafoclimáticos dependientes e influyentes en el desarrollo fisiológico del cultivo de quinua**

Se elabora la matriz de variables de dependencia e influencia. (Ver Tabla 2), para lo cual, se identifica las variables estratégicas más dependientes e influyentes, que son las siguientes:

- A: Altitud
- B: Pendiente
- C: Temperatura
- D: Materia orgánica
- E: Fertilidad de suelo
- F: pH del suelo
- G: Textura de suelo
- H: Precipitación.

Para el llenado de esta matriz se le asigna los siguientes valores:

- 0: Nula
- 1: Débil
- 2: Moderada
- 3: Fuerte
- 4: Potencial

### 3.5.1.2 Análisis de relaciones de las variables edafoclimáticas dependientes e influyentes del escenario

Para el análisis y llenado de esta matriz se procede con el criterio de relaciones y/o interacciones entre variables, por lo que se indica la dependencia e influencia entre ellas y se dice: A depende de B, C depende de F, en cambio D influye sobre E y G influye sobre A, etc. con estas variables se modeló el escenario tendencial y se construyó el modelo matemático determinístico.

Tabla 2

*Matriz de dependencia e influencia de variables estratégicas*

Variable	Símbolo	A	B	C	D	E	F	G	H	Dependencia
Altitud	A	■								
Pendiente	B		■							
Temperatura	C			■						
Materia Orgánica	D				■					
Fertilidad de Suelo	E					■				
pH de Suelo	F						■			
Textura de Suelo	G							■		
Precipitación	H								■	
Influencia	Total									

### 3.5.2 Zonificación de las potencialidades y limitaciones edafoclimáticas para el cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro

Está constituido por diferentes parámetros edafoclimáticos, donde se utilizaron modelos matemáticos determinísticos y estocásticos o probabilísticos, también las fichas socioeconómicas en la generación de la línea base socioambiental.

### 3.5.2.1 Zonificación de unidades por altitud

El nivel de estudio corresponde a “Semidetallado”, para la clase de altitudes y tipo de pendientes. El mapa base se cartografió en escala geográfica 1:100 000, se imprimió en tamaño A1 y los mapas temáticos en escala 1/50 000 en formato A2. En ambos casos, la escala de trabajo fue el formato raster en escala 1:1 800.

El método de estudio es “Descriptivo y Correlacional”, este último significa, que las variables del escenario tienen relación entre ellas, cuyo alcance fue identificar la incidencia entre las variables, por ejemplo, el tipo de pendiente está en función de la altitud,  $P(a) = P(x)$ , entonces el tipo de pendiente es una variable independiente, que influyó sobre la variable dependiente.

La función matemática utilizada en la vectorización de los polígonos fueron las matrices poligonales, la zonificación de unidades homogéneas de tierras se cartografió con el software ArcGis10.3. y sus correlaciones se graficó con el software MatLab.

La altitud se mide estratificando niveles de altura de acuerdo a los puntos georreferenciados en la zona de estudio y discutidos en función a la propuesta sobre microzonas de vida del Dr. Javier Pulgar Vidal.

### 3.5.2.2 Zonificación de unidades por pendiente

La pendiente se evalúa con referencia de grupo de tierras de cultivos en limpio (A), para ello, se utiliza la norma técnica peruana D.S. 017-2009-AG; Clave 10.

### 3.5.2.3 Zonificación de unidades por fertilidad de suelos

La calidad Agrológica viene a ser la síntesis de las propiedades de fertilidad, condiciones físicas, relaciones suelo-agua, las características de relieve y climáticas, dominantes y representa el resumen de la potencialidad del suelo para producir plantas específicas o secuencias de ellas bajo un definido conjunto de prácticas de manejo.

En la “Zonificación por fertilidad de suelos”, se midió el algoritmo Spline y se usó la herramienta ArcMap algebra, para generación de capas temáticas de los

macroelementos disponibles como: fósforo y potasio en partes por millón (ppm) y porcentaje de nitrógeno total.

Asimismo, se evalúa la fertilidad de suelos con la aplicación de la norma técnica peruana D.S. 017-2009-AG.

Tabla 3

*Clases de fertilidad del suelo*

<b>Parámetros que definen la fertilidad del suelo</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Materia orgánica (%)</b>	<b>Fósforo disponible (ppm)</b>	<b>Potasio disponible (ppm)</b>
Bajo	Menor de 2	Menor de 7	Menor de 100
Medio	2 - 4	7 - 14	100 - 240
Alto	Mayor de 4	Mayor de 14	Mayor de 240

Fuente: D.S. N° 017-2009-AG

El procedimiento para determinar los niveles de fertilidad de suelos consistió en relacionar la zona de vida bioclimática. La cual, señala al área de estudio de Zona Bosque Húmedo - Montano Subtropical. Para determinar los grupos, las clases, usamos las características edáficas.

#### **3.5.2.4 Zonificación de unidades por nivel de materia orgánica**

Para confeccionar los mapas de materia orgánica (MO), se recopiló datos edáficos de 37 puntos de control de campo localizados en las dos microcuencas, los datos edáficos fueron internados al laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA Puno. En el laboratorio se trabajó bajo normas IRAM, la que se basa en la metodología propuesta por (Walkley y Black, 1934).

Los datos se agruparon por espacios territoriales de las dos microcuencas se determinó el promedio, mediana, desvío estándar, valor mínimo, máximo y los percentiles. La normalidad de la distribución de los datos de MO, fue testeada utilizando la herramienta geoestadística del programa Arc Gis 10.3, método Semivariograma Ordinario de Krigin.

En zonificación de unidades por nivel de materia orgánica; se utilizó la norma técnica peruana D.S. 017-2009-AG. (Ver tabla 3), y para la prueba estadística de

hipótesis alterna para la distribución de los niveles de fertilidad de suelos se empleó la prueba de Chi Cuadrado de Kruskal-Wallis.

### 3.5.2.5 Zonificación de unidades de textura de suelos

Está constituida por las proporciones de la arcilla, limo y arena, en partículas de hasta 2 mm de diámetro. Se considera la textura dominante en los primeros 100 cm de profundidad. Las características edáficas consideradas en el D.S. N° 017-2009-AG, de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor son las siguientes: pendiente, profundidad efectiva, textura, fragmentos gruesos, pedregosidad superficial, drenaje interno, pH, erosión, salinidad, peligro de anegamiento y fertilidad natural superficial.

Los datos se agruparon por espacios territoriales de las dos microcuencas se determinó por las proporciones de la arcilla, limo y arena, en partículas y estratificados en percentiles, utilizando la herramienta geoestadística del programa Arc Gis 10.3, para la determinación de unidades óptimas de textura de suelos, se utilizó la norma técnica peruana D.S. 017-2009-AG.

Tabla 4

#### *Clases de textura del suelo*

		Clases de textura
Símbolo	Grupo textural	Clase textural
G	Gruesa	Arena gruesa, media, fina y muy fina (A)
		Arena franca gruesa, media, fina y muy fina (AF)
MG	Moderadamente gruesa	Franco arenosa (FA)
		Franca (F)
M	Media	Franca limosa (FL)
		Limo (L)
		Franco arcillosa (Farc)
MF	Moderadamente fina	Franco arcillo arenosa (FArcA)
		Franco arcillo limosa (FArcL)
		Arcillo arenosa (ArcA)
F	Fina	Arcillo limosa (ArcL)
		Arcilla (Arc)

Fuente: D.S. N° 017-2009-AG

Tabla 5

*Textura de suelos por capacidad de uso mayor de tierras*

Grupo textural		Grupos de capacidad de uso mayor				
Símbolo	Nombre	A	C	P	F	X
		Calidad Agrológica				
G	Gruesa	3	3	2	1	-
MG	Moderadamente Gruesa	2	2	2	1	-
MG	Media	1	1	1	1	-
MF	Moderadamente Fina	2	2	1	1	-
F	Fina	3	3	3	1	-

Fuente: D.S. N° 017-2009-AG

### 3.5.2.6 Zonificación de unidades de pH de suelos

Es el grado de alcalinidad o acidez de los horizontes del suelo y se mide en unidades de pH. La reacción del suelo estará dada por el pH.

La determinación de pH se realizó siguiendo el Método del Potenciómetro o electroquímico para medir pH de un suelo es el más utilizado. con este método se mide el potencial de un electrodo sensitivo a los iones H<sup>+</sup> (electrodo de vidrio) presentes en una solución problema; se usa como referencia un electrodo cuya solución problema no se modifica cuando cambia la concentración de los iones por medir, que es generalmente un electrodo de calomelano o de Ag/AgCl. El electrodo, a través de sus paredes, desarrolla un potencial eléctrico. En la práctica se utilizan soluciones amortiguadoras, de pH conocido, para calibrar el instrumento y luego comparar, ya sea el potencial eléctrico o el pH directamente de la solución por evaluar. Las muestras correspondieron al estrato superficial de 0-30 cm y fueron extraídas durante las campañas 2017 y 2018.

El mayor número de muestras provino de la microcuenca del río San José del distrito de San José. Las muestras con valores de pH superiores a 6.5 fueron eliminadas dado que estos suelos no fueron considerados apropiados para la mayoría de los cultivos agrícolas realizados en la región.



Tabla 6

*Clasificador de rangos de pH del suelo*

Clases de reacción del suelo	
Rango de pH	Clase
Menor de 3.5	Ultra acida
3.6 - 4.4	Extremadamente ácida
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácida
5.1 - 5.5	Fuertemente ácida
5.6 - 6.0	Moderadamente ácida
6.1 - 6.5	Ligeramente ácida
6.6 - 7.3	Neutra
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalina
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalina
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalina
Mayor de 9.0	Muy fuertemente alcalina

Fuente: D.S. N° 017-2009-AG

Del mismo modo, se evalúa el pH de suelos, con la aplicación de la norma técnica peruana D.S. 017-2009-AG.

Los datos se agruparon por espacios territoriales de las dos microcuencas se determinó el promedio, mediana, desvío estándar, valor mínimo, máximo y los percentiles. La normalidad de la distribución de los datos de pH, se testearon utilizando el método geo estadístico de Kriging.

### 3.5.2.7 Zonificación de unidades de temperaturas

Se generó el mapa de calor para determinar la temperatura media anual con una frecuencia de 50 años comprendidos desde el año 1962 hasta 2012, en el entorno y en el área del proyecto. Se utilizará el método matemático determinístico para distribuir la temperatura mediante la interpolación en el algoritmo Spline, citado por Fries *et al.* (2012); los modelos a utilizarse son:

- a. Modelo matemático (1), en la generación de mapa de temperatura determinada ( $T_{Det.}$ )

$$T_{det} = T_{anual} + (r(Z_{Det} - Z_{estación}))$$

- b. Modelo Matemático (2), para generar el mapa de calor

$$T_{xy} = T_{Det} + (r(Z^{DEM(xy)} - Z_{Det}))$$

Donde:

$T_{Det}$  = Temperatura determinada en raster, en °C

$Z_{x-y}$  = Altitud en raster (DEM. Modelo de elevación digital) msnm

$T_{x y}$  = Temperatura mensual en °C

$r$  = Gradiente

$Z_{Det}$  = Cota determinada para el área de estudio en msnm,

$Z_{Estación}$  = Cotas de estaciones meteorológicas en msnm.

### 3.5.2.8 Zonificación de unidades de precipitación

Para generar mapa de precipitaciones, con datos de 50 años comprendidos desde el año 1962 hasta 2012; se utilizó el Método Geoestadístico (Algoritmo de Kriging) y para la distribución de los valores de la precipitación se utilizó el modelo Semivariograma Normal Predictivo de Geoestadística (Leal-Nares *et al.*, 2010).

El algoritmo Kriging Predictivo. Este modelo se basa en una función continua, la cual muestra el comportamiento de una variable en distintas direcciones de un espacio geográfico, y permite asociar la variabilidad de la estimación con la distancia a partir de los puntos de control. Por su importancia y generalidad de estudio se procesó, se estimó y modeló en la función geoestadística “Semivariograma” (Díaz, 2002).

Los valores de la precipitación, se calcularon con la herramienta Geostatistical Analyst y calculadora Álgebra de Mapas en el software ArcGis 10.3. El cual se representa con ( $\gamma$ ):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{|x_i - x_j| = |h|} (z(x_i) - z(x_j))^2$$

Dónde:  $\gamma(h)$  y  $N(h)$  = Semivariograma Experimental para todas las muestras localizadas en el espacio y el número total de pares de muestras, ambos se encuentran separados por una distancia  $h$ .

$Z_{(x)}$  = Valor de la muestra en una localización  $x$

$Z_{(j)}$  = Valor de la muestra a la distancia  $h$  desde  $j$ .

### 3.5.3 Modelación de las unidades integrales de tierras óptimas para el cultivo de quinua en el ámbito de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro

En la modelación de zonas de tierras con aptitudes agroecológicas se utilizó el Sistema Información Geográfica y las técnicas de sensoriamiento remoto e imágenes satelitales, se sobrepusieron dos o más capas temáticas en la estructura raster y vectorial en el programa Erdas y ArcGis 10.3, con el objeto de adquirir, almacenar, clasificar, convertir y procesar la información satelital; Landsat7, Landsat8 y Sentinel2. Previamente las imágenes fueron georreferenciadas. Luego se aplicó la clasificación supervisada en el software Erdas a partir de los puntos de control de campo levantados con un GPS, en diferentes puntos de tipos de uso de la tierra del área de estudio. Mediante el método “Clasificación por proximidad de los pixeles” fue generado las capas temáticas para luego superposicionarlos en el programa Arc Gis 10.3.

Para la modelización del modelo Aptitud Agrológica de las tierras de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro, se ha generado el siguiente modelo polinómico Evaluación Multicriterio y SIG:

$$EMC - SIG = f [3Fert * 2pH * MO * Tex * Alt * Pend * Tem * Prec]$$

Las variables integrantes de la función matemática \*EMC-SIG” son: mapa de fertilidad de los suelos (Fert), pH de los suelos de las microcuencas, niveles de materia orgánica (MO), textura de los suelos (Tex), altitud (Alt), pendiente (Pend), Temperatura (Tem) y precipitación media anual de 50 años comprendidos desde el año 1962 hasta 2012, de las Estaciones Meteorológicas influyentes del área del proyecto (Ver anexo 09: Base de datos de temperaturas y precipitaciones media anual de 50 años comprendidos desde el año 1962 hasta 2012).

Sobre el uso de los SIG y técnicas de sensoreamiento remoto indica: estos análisis pueden incluir el análisis del impacto de intervenciones en el ecosistema rural, cuyos resultados permiten generar tipos de uso del suelo y generar mapas temáticos de las subunidades administrativas que distinga entre cada una de las diferentes áreas productivas agrícolas o pecuarias, proporcionando datos para los procesos de planeación diaria (Sun, 2000).

### **Etapas de trabajo en campo**

- Se sensibilizaron a los involucrados del proyecto de tesis en los mismos puntos de control de levantamiento de muestras y se coordinaron los trabajos de campo con las autoridades locales. Los métodos utilizados fueron talleres participativos, diálogos, entrevistas y visitas a hogares.
- El levantamiento de muestras de suelos se hizo por el método Zic Zac Aleatorio utilizando el mapa fisiográfico y de pendientes.
- Para el levantamiento de punto de control de las calicatas se utilizó el GPS Navegador Garmin Map76 y el mapa fisiográfico. El método utilizado fue Puntos Representativos de las Unidades Fisiográficas, en terrenos de descanso o roturados para cultivo de quinua en las microcuencas.
- Se validaron el mapa base y temáticos con participación de las autoridades de cada localidad en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.
- Luego de la validación de modelación de la información cartográfica de potencialidades edáficas y climáticas para el cultivo de quinua en las microcuencas, se entregaron los borradores de informe a las autoridades de las microcuencas hidrográficas.

### **Etapas de trabajo en gabinete**

Se realizaron las siguientes actividades:

- Elaboración de mapa base para el estudio a nivel semidetallado.
- Preparación de fichas y tarjetas de lectura en los puntos de muestreo de suelos.
- Coordinación interinstitucional FCA, (Laboratorista de suelos), estudiantes de curso de SIG y Teledetección Agrícola de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica FCA, funcionarios de la ANA San Román, MINAGRI Oficina Operativa de la ciudad de Azángaro, INIA Puno, Gerencia de Recursos Naturales de la Región Puno. Se logró obtener el aporte valioso de la ANA San Román la información técnica y socioeconómica del área de trabajo.
- Sistematización de la información primaria y secundaria pertinente al estudio.
- Selección de variables estratégicas por el método de Análisis de Escenarios, se aplicó la matriz de Dependencia e Influencia.

- Ingreso de la base de datos temáticos, geocodificación, análisis geoespacial, clasificación y calibración de modelos según la normativa legal y tecnológica, modelización de los sub modelos y el producto final de mapa de potencialidades edafoclimática para el cultivo de quinua en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.

### **Variables que intervienen en la modelación del escenario**

#### **a. Variables independientes en la producción de quinua**

- Superficie de la microcuenca en la que se llevó el estudio.
- Zonas económicas y ecológicas o áreas protegidas.
- Estaciones de monitoreo o puntos de control de campo, por unidades fisiográfica.
- Caracterización de microzonas de vida por el método ideado por J. Pulgar Vidal y recomendada por Holdridge.
- Zonas altitudinales y tipos de pendientes.
- Clasificación de variables estratégicas basadas en el Análisis de Escenarios del espacio territorial del área de estudio.
- Clasificación de uso actual de la tierra.

#### **b. Variables dependientes en la producción de quinua**

- Las variables edafoclimáticas; Altitud de área de estudio, pendiente de las tierras en estudio, fertilidad de los suelos, niveles de materia orgánica, pH de los suelos, textura, temperatura y precipitación de las microcuencas hidrográficas.
- Potencialidad edafoclimática de las tierras para el cultivo de quinua en el ámbito de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **4.1 Variables edafoclimáticas influyentes y dependientes en la fisiología del cultivo de quinua en el espacio territorial de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro**

##### **4.1.1 Valoración de dependencia e influencia de variables estratégicas del escenario**

Zonificar las potencialidades y limitaciones edafoclimáticas para el cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.

Modelar las unidades integrales de tierras óptimas para el cultivo de quinua en el ámbito de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.

En la tabla 7, se aprecia la matriz de análisis estructural de escenarios, donde se identifica las variables edafoclimáticas estratégicas dependientes e influyentes, y se indica una fuerte dependencia e influencia entre variables, que se traduce en la evaluación del escenario, y se plantea: A depende de B, C depende de F, en cambio D influye sobre E y G influye sobre A, etc. La dependencia se denota en la dirección de las flechas en cambio la influencia es lo contrario, las variables identificadas son las siguientes:

- A: Altitud
- B: Pendiente
- C: Temperatura
- D: Materia orgánica
- E: Fertilidad de suelo
- F: pH del suelo

- G: Textura de suelo
- H: Precipitación.

Para el llenado de esta matriz se le asigna los siguientes valores:

- 0: Nula
- 1: Débil
- 2: Moderada
- 3: Fuerte
- 4: Potencial

Tabla 7

Matriz de valoración de dependencia e influencia de variables estratégicas

¿D influye sobre E?

Variable	Símbolo	A	B	C	D	E	F	G	H	Dependencia
Altitud	A	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pendiente	B	0	2	0	0	0	2	2	0	0
Temperatura	C	0	0	4	4	2	2	1	2	5
Materia Orgánica	D	0	0	0	4	4	4	4	0	14
Fertilidad de Suelo	E	0	0	4	4	4	4	4	0	10
pH del Suelo	F	0	0	0	4	4	4	2	0	3
Textura del Suelo	G	0	0	0	4	4	2	4	0	1
Precipitación	H	0	0	1	2	2	1	1	4	0
Influencia	Total	0	2	4	6	6	12	13	2	33

¿C depende de F?

En la tabla 7, se determina, los resultados de la evaluación cualitativa de la dependencia de las variables para la etapa de crecimiento y desarrollo fisiológico de cultivo de quinua. Se hallaron variables dependientes de mayor puntaje: niveles de materia orgánica (D) y fertilidad de suelos (E); de menor dependencia tenemos a la temperatura (C), pH del suelo (F) y la textura del suelo (G) y resultó las variables de altitud (A), pendiente (B) y precipitación (H), sin dependencia.

También se determinaron variables de alta influencia en los rendimientos de quinua a la textura del suelo (G) y pH del suelo (F); de mediana influencia, a la materia orgánica (D), fertilidad del suelo (E), y temperatura (C), pendiente (B), y precipitación (H) de baja influencia, y sin influencia a la altitud (A).

La principal limitante es escasa disponibilidad de tierras con niveles de materia orgánica óptimas, y existe potencialidad de tierras con fertilidad media, para el

adecuado desarrollo del cultivo de quinua en las microcuencas de San José y Tíntiri del río Azángaro.

La clasificación de superficies según su aptitud y relaciones, intervienen en la planificación de gestión sostenible de cultivos.

Las variables edáficas y climáticas constituyen la estructura de la evaluación con el ejercicio de la prospectiva en un territorio, se debería lograr algunos resultados, como: a) identificar los sectores de punta de mayor desarrollo en el territorio en el horizonte de años definido; b) precisar las variables claves que definirán el futuro del territorio; y c) establecer las estrategias para llevar a cabo la ocurrencia del escenario de un territorio triunfante (Mojica, 2005).

#### **4.1.2 Análisis de las variables edafoclimáticas dependientes e influentes del escenario**

En este estudio el ejercicio de la prospectiva se ha demostrado la eficacia en la identificación de variables clave de mayor dependencia e influencia.

Como se aprecia en la tabla 7; se muestra las variables con alta dependencia a Materia orgánica y fertilidad, evaluados con valores de 13 y 12 respectivamente. Asimismo, las variables de alta influencia resultaron la textura del suelo y pH con valores de 13 y 12 respectivamente.

Sobre las variables claves de alta dependencia e influencia Mojica (2005), indica que estas variables, definirán el escenario futuro y con el presente trabajo se hace un aporte fundamental para el análisis de escenarios y toma de decisiones.

El modelamiento de aptitud edafoclimática está apoyado en un desarrollo sistémico, donde hay tres momentos: insumo, proceso y resultado. El insumo lo constituyen las variables clave, el proceso equivale al diseño de escenarios y el resultado es la precisión de las estrategias que conducen a la concreción de los requerimientos de cultivo de quinua.

El resultado que se espera obtener es la activa participación y generación de espacios y consensos entre el sector público; el gobierno regional Puno, la municipalidad provincial de Azángaro, el sector privado, las instituciones abocadas a la investigación y el desarrollo productivo, los consumidores en general, todos los



actores involucrados proceso económico, del cultivo de quinua, como dijera (Mojica, 2005).

## 4.2 Zonificación de las potencialidades y limitaciones edafoclimáticas para el cultivo de quinua, en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro

### 4.2.1 Zonificación de unidades por altitud

En la tabla 8, se muestra los resultados de la variable independiente altitud, en la parte baja de las microcuencas, comienza con 3875 msnm, la parte alta termina en 4950 msnm. Entre las altitudes comprendidas se llevó a cabo la clasificación de las “Microzonas de Vida”, esta clasificación corresponde a nivel de los productores de agricultura familiar y para su respectivo ordenamiento agroecológico (Pulgar, 1967).

Hay diferencias significativas en la distribución de tierras por microzonas o altitudes; la microzona Puna Baja comprende altitudes entre 4000 a 4250 msnm, ocupa el primer lugar con 38,524.1545 ha, y representa el 40% de tierras de las microcuencas, lógicamente en esta parte se desarrolla la actividad agrícola con restricciones, seguida por la microzona Suni Alta y abarca altitudes menores a 4000 msnm, con un área de 32,728.4773 ha, representa el 34%. Esta zona representa para el cultivo de quinua la primera potencialidad o aptitud optima (tabla 8).

Estos resultados se corroboran con lo mencionado por Apaza *et al.* (2005), el cultivo de la quinua se cultiva en altitudes comprendidas desde el nivel del mar hasta los 4000 metros sobre el nivel del mar.

Tabla 8

*Base de datos de microzonificación por altitud*

ID	Tipo Figura	Categoría	Símbolo Microzona	Nombre microzona	Altitud (m)	Longitud (m)	Área (ha)	Porcentaje %
1	Polígono	1	SA	Suni Alta	< 4000	442159.642	32728.48	34
2	Polígono	2	PB	Puna Baja	4000 - 4250	643283.172	38524.15	40
3	Polígono	3	PM	Puna Media	4250 - 4500	280120.27	12709.57	13
4	Polígono	4	PA	Puna Alta	4500 - 4750	169261.244	8928.09	9
5	Polígono	5	CO	Coordillera	> 4750	101409.89	3674.97	4
TOTAL							96565.27	100

Sin embargo, otros modelos corresponden a espacios zonales o regionales, las tierras de las microcuencas de San José y Tintiri de río Azángaro no pasan en promedio de 1.00 ha, por la cual, se empleó la clasificación por microzonas de vida (Franco, 2018).

En el caso del Perú, considerando la cercanía al lago Titicaca (efecto termorregulador) y a la altitud se consideran los siguientes sub-grupos (FAO, 2016):

- Sub Grupo sin pigmentación o denominadas blancas: sembradas alrededor del Lago Titicaca, son plantas verdes, con semillas blancas, menor tolerancia a las heladas y buen potencial de rendimiento.
- Sub Grupo witullas, wilas, wariponchos, sembradas a distancia intermedia del lago a altitud en zona Suni (3,500 – 4000 m.s.n.m.), se caracterizan por su tolerancia a las heladas y a variaciones muy contrastantes de temperatura entre el día y la noche.

#### 4.2.2 Zonificación de unidades por tipo de pendientes

La tabla 9, muestra la clasificación de pendientes en base a la clave N°10 del D.S. 017-2009-AG. Esta Ley define las consideraciones técnicas para el grupo de tierras por capacidad de uso mayor, estas se presentan en porcentaje de pendientes. Para este caso, se utilizó la siguiente jerarquía: de 0 – 2% pendiente plano, ocupa el primer lugar en extensión con 56.49%, la siguiente es de 2 – 4% (pendiente casi plano a ligeramente inclinado) ocupa el 7.02%, y pendiente entre 4 – 15% corresponde a la pendiente ligeramente inclinada a inclinada y ocupa el segundo lugar en extensión de las microcuencas.

Tabla 9

*Base de datos de clases de pendientes del suelo*

ID	Tipo Figura	Clase	Perímetro (m)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Aptitud	Símbolo
1	Polígono	0 - 2	1725845.82	25244.1479	56.49	Restringida	AR
2	Polígono	2 - 4	213512.169	3137.9344	7.02	Alta	AA
3	Polígono	4 - 15	1936938.63	16306.3224	36.49	Media	AM
TOTAL				44688.4048	100.00		

Según el D.S. 017-2009-AG, las microzonas de las microcuencas que poseen de 2 – 4% de pendientes se considera como pendientes adecuadas (aptitud optima) aquellas de relieve suave, en un mismo plano, que no favorecen los escurrimientos rápidos ni

lentos, seguidos por las pendientes de 4 - 15%, lógicamente con escurrimiento mayor y se ha considerado zonas de aptitud media.

El cultivo de quinua puede darse en terrenos de pendiente moderada a medianamente planos (Pérez, 2005).

Franco (2018), indica que; la pendiente de la tierra determina el drenaje externo de los suelos. Por consiguiente, los tipos de pendientes más convenientes son determinados por la exposición corta o larga en los cambios de pendiente, considerando especialmente la susceptibilidad de los suelos a la erosión. Normalmente, se considera como pendientes adecuadas aquellas de relieve suave, en un mismo plano, que no favorecen los escurrimientos rápidos ni lentos.

#### 4.2.3 Zonificación de unidades por niveles de fertilidad de suelos

En la tabla 10. Las tierras de aptitud media en fertilidad ocupan el primer lugar con 50.28%, de aptitud baja 19.86% y con aptitud alta con 16.91%; Sun (2000), sugiere, que, a largo plazo, los procesos de planeación y manejo deben incluir estrategias para mantener la fertilidad del suelo, según señala.

Según el D.S. 017-2009-AG, con respecto a la fertilidad de suelos, de acuerdo a los parámetros de categorización para cultivos en limpio, como es el caso del cultivo de quinua, requieren de tierras con aptitud alta a media, lo cual las microcuencas en estudio, poseen tierras con estas características.

Tabla 10

*Aptitud de tierras por fertilidad del suelo*

ID	Categoría	Perímetro (m)	Área (ha)	Aptitud	Porcentaje %
1	1	95784.1949	12508.3523	No Apta	12.95
2	2	224348.5160	19174.9361	Baja	19.86
3	3	246411.4980	48549.8485	Media	50.28
4	4	111014.0430	16332.5189	Alta	16.91
TOTAL			96565.6558		100.00

#### 4.2.4 Zonificación de unidades por niveles de materia orgánica

En la tabla 11, hay una diversidad de niveles de MO distribuidos en el área de estudio; al lado Sureste están las comunidades del distrito de Muñani cuentan con disponibilidad alta de MO, mientras tanto las comunidades campesinas de la zona

este distrito de Azángaro, posee MO de nivel bajo. Las comunidades del distrito de Azángaro están entre los niveles Alto y Medio, y el distrito de San José está entre los niveles Medio a Alto. El nivel de MO en ambas microcuencas depende del clima, suelo y del manejo del mismo (labranzas, rotaciones, secuencias de cultivos agrícolas, fertilización).

La distribución de tierras por niveles de MO es como sigue: las tierras con MO Alta >4 % ocupan el primer lugar con 22,899.0134 ha y representa 25.37 %, en segundo lugar, las tierras con disponibilidad Media entre 2-4 % de MO ocupan 46,095.2461 ha y representan el 51.08 %, finalmente las tierras con disponibilidad Baja ocupan 21,248.7405 ha con 23.55 %. Las zonas de tierras de disponibilidad Alta y Media son óptimas para el cultivo de quinua, según el D.S.017-2009-AG, los suelos con contenidos de materia orgánica mayores a 4 %, representan tierras con alta aptitud.

Tabla 11

*Niveles de materia orgánica del suelo*

ID	Tipo Figura	Clase	Valores %	Área (ha)	Porcentaje %	Nivel
1	Polígono	1	< 2	21248.7405	23.55	Bajo
2	Polígono	2	2 - 4	46095.2461	51.08	Medio
3	Polígono	3	> 4	22899.0134	25.37	Alto
TOTAL				90243.0000	100.00	

La intensificación de la actividad agrícola y la falta de rotaciones con pasturas ha producido un deterioro de los niveles de MO, que en algunos casos dependieron del tipo de suelo y textura hasta un 50% (Álvarez, 2001). En cambio, en el presente estudio solo el 23.55% de tierras presentan limitaciones para el cultivo de quinua.

Los niveles de MO de suelos de las microcuencas de los San José y Tintiri de la provincia de Azángaro, fueron similares a los determinados y utilizando el modelo desarrollado por Álvarez y Steinbach (2006), el cual incluye temperatura media, precipitaciones y textura del horizonte superficial como variables explicativas del nivel de MO.

La materia orgánica en el suelo, produce varios efectos favorables, entre las propiedades físicas, químicas y biológicas las cuales se puede mencionar: 1) aporta nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (nitrógeno, fósforo, potasio,

azufre, boro, cobre, fierro, magnesio), 2) activa biológicamente; el suelo, al incorporar ácidos orgánicos y alcoholes, durante su descomposición que sirven de fuente de carbono a los microorganismos de vida libre y fijadores de nitrógeno, éstos últimos producen sustancias de crecimiento, como triptófano y ácido indol acético, y 3) la materia orgánica incrementa la capacidad de retención de humedad en el suelo (Guerrero, 1993).

### **Método estadístico No Paramétrico de Kruskal Wallis: Prueba de Chi cuadrado para la distribución de niveles de materia orgánica**

Mediante el método de prueba estadística de Chi Cuadrado propuesto por Kruskal-Wallis se comprobó la hipótesis nula para el objetivo 2, dice: “Los rendimientos de quinua no tienen relación con la distribución de niveles de materia orgánica”, y la hipótesis alterna dice: “Los rendimientos de quinua tienen relación con los niveles de distribución de materia orgánica 3 zonas”.

La segunda hipótesis de la investigación enuncia la relación que guardan los rendimientos de cultivo de quinua guardan con la distribución de materia orgánica. En este caso se ha considerado tres niveles de materia orgánica: Zona óptima con un nivel de mayor a 4%, zona media entre 2 y 4%, y zona baja con menores de 2% de contenido de materia orgánica en el suelo.

$$H_0 = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=i}^K \frac{R^2}{n_j} - 3(N+1)$$

Donde:

$H_0$  : Hipótesis nula.

$N$  : Número de muestras de suelos con diferente contenido de materia orgánica.

$R^2$ : Cuadrado de Sumatoria de la distribución de niveles de materia orgánica.

$n$  : Número de elementos en cada rango.

$j = i$ : Jotaiyésimo de rangos desde  $i$  hasta  $k$ .

La prueba de hipótesis nula para los rendimientos de quinua que decía: “no tienen relación con la distribución de niveles de materia orgánica”, ha sido analizada mediante el método teórico de Kruskal Wallis y ha resultado mayor que el valor de la zona crítica o mayor que la  $F$  Tabulada para el nivel de significancia a 95% de confianza, la  $F$  Tabular es 6.944 y la  $F$  calculada es 50.8616. Por lo tanto se rechaza

la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, afirmando, que los niveles de materia orgánica distribuidos en las diferentes zonas de estudio influyen directamente en el rendimiento del cultivo.

Tabla 12

*Distribución de Niveles de M.O. por rangos*

Rangos	T1 = >4% M.O.	T2= 2 - 4% M.O.	T3 = <2% M.O.
1	6.81	3.50	1.15
2	4.03	2.30	1.80
3	4.15	2.70	1.85
4	4.81	3.00	1.90
5	5.60	3.02	1.95
6	5.80	3.15	
TOTAL	31.20	17.67	8.65

#### 4.2.5 Zonificación de unidades por textura de suelos

En tabla 13, las tierras de las microcuencas en estudio presentaron en primer lugar 65% de textura Moderada a Fina y ocupan 62,427.7994 ha. El grupo de tierras contenían suelos Franco Arcilloso, Franco Limoso, Franco Arcilloso Arenoso y Franco Arcilloso Limoso, en segundo lugar están las tierras con textura Gruesa, contenían suelos Arenosos, Arenosos Francos y Franco Arenosos, ocupan 62,427.7994 ha y representan el 65% de tierras, y en tercer lugar en extensión ocupan las tierras de textura Media, que comprendieron suelos Franco Arcillosos Arenoso, Franco Arcilloso Limoso y, Franco Limoso, con 14,885.9172 ha y representan 15% de las tierras evaluadas.

El grupo de textura de los suelos que comprenden textura Media y textura Moderadamente Fina serán consideradas en las primeras opciones en la planificación de manejo sostenible del recurso suelo o gestión de cultivo de quinua. Según el D.S.017-2009-AG, los suelos de las microcuencas en estudio, poseen tierras con aptitud alta, de acuerdo a los parámetros de categorización para cultivos en limpio, de este mencionado decreto.

Tabla 13

*Niveles de textura del suelo*

ID	Tipo Figura	Nivel Textural	Nombre	Perímetro	Área (ha)	Porcentaje %
1	Polígono	1	Moderada Fina	150244.305	62427.7994	65
2	Polígono	2	Media	128730.456	14885.9172	15
3	Polígono	3	Gruesa	93096.6198	19251.5548	20
TOTAL					96565.2715	100

**4.2.6 Zonificación de unidades por tipo pH de suelos**

Las tierras de las microcuencas presentaron 5 rangos de pH (tabla 14), están distribuidos en primer lugar en extensión suelos Moderadamente Ácidas en 41,052.1754 ha, representan 43% del área estudiada, seguido por suelos Muy Fuertemente Ácidos ocupan 26,006.8768 ha, y representan 27%, tierras con suelos Fuertemente Ácidos 22%, los últimos lugares en rangos de pH fueron Ligeramente Ácida con 7% y con 1% tierras con suelos de pH Extremadamente Ácida, representa el 1% del área evaluada. (Ver anexo 17: Mapa de niveles de pH de los suelos).

Estos resultados se encuentran dentro del rango requerido por el cultivo de quinua, como lo menciona FAO (2016), donde indica que; se puede encontrar variedades de quinua cultivadas en suelos con pH desde 4.5 (en Los valles interandinos del Norte del Perú) hasta 9.0 (altiplano peruano boliviano y los salares de Bolivia). Asimismo, fueron similares a lo citado por Apaza (1996), el pH óptimo para el cultivo de quinua fluctúa en un rango de 6.5 a 8.0, aunque tolera bien valores de 9.0, como también en condiciones de suelos ácidos, equivalente entre 4.5 a 5.5 de pH.

Tabla 14

*Rangos de pH del suelo*

ID	Tipo Figura	pH	Nombre	Longitud	Área (ha)	Porcentaje %
1	Polígono	3.3 - 4.4	Extremadamente ácida	9770.404768	724.0263	1
2	Polígono	4.5 - 5	Muy Fuertemente ácidos	165790.5441	26006.8768	27
3	Polígono	5.1 - 5.5	Fuertemente ácidos	261256.1571	21690.1344	22
4	Polígono	5.6 - 6	Moderadamente ácida	218135.1392	41052.1754	43
5	Polígono	6.1 - 6.5	Ligeramente ácida	66898.1506	7092.0581	7
TOTAL					96565.2712	100

El pH del suelo es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Sainz *et al.*, 2011). Para que se produzca una adecuada evolución de la materia orgánica el pH debe estar comprendido entre 6 y 7,2, siendo las condiciones más desfavorables las de pH menor de 5,5 (Cutipa, 2007) y (Sainz *et al.*, 2011).

Si bien la MO y el pH del suelo son indicadores de la capacidad productiva del mismo, no se cuenta con información actualizada del estado de estas propiedades en suelos de la región Puno.

#### 4.2.7 Zonificación de unidades por temperatura

La tabla 15, muestran los resultados de la modelación de temperaturas medias mensuales de 50 años, comprendidos entre 1962 hasta el año 2012, para el ámbito de las dos microcuencas. Se determinaron temperaturas altas para altitudes bajas y temperaturas bajas para altitudes altas. Estas se distribuyen de la siguiente manera: zonas con temperaturas de 2 a 5 °C no son aptas para el cultivo de quinua y están localizadas en la zona norte y alta de la microcuenca San José, como también en la zona sureste de la microcuenca. Las tierras con aptitud restringida ocupan el 14%, aptitud media 19.26% y con aptitud optima representa el 27.10% de las tierras evaluadas.

Tabla 15

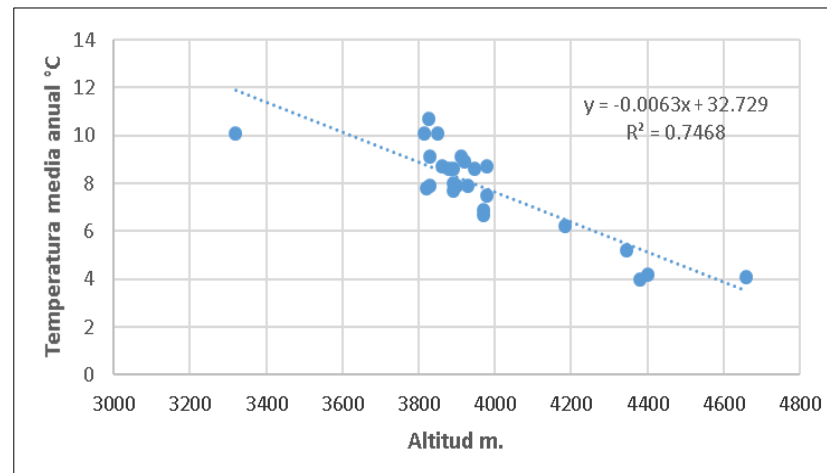
*Clasificación de Isotermas del área de estudio*

ID	Isoterma °C	Long curvas (m)	Aptitud	Simb aptitud	Porcentaje %
1	2	11433.30	No apta	NA	0.60
2	3	145133.76	No apta	NA	7.57
3	4	304373.71	No apta	NA	15.88
4	5	282713.39	No apta	NA	14.75
5	6	268460.26	Restringida	AR	14.00
6	7	369160.59	Media	M	19.26
7	8	519524.87	Optima	Op	27.10
8	9	16389.94	Optima	Op	0.85
TOTAL		1917189.82			100.00

El cultivo de quinua, requiere temperaturas de 8°C a 18°C durante su ciclo vegetativo para una buena producción. En el periodo de ramificación a inicio de panoja soporta



temperaturas de  $-2^{\circ}\text{C}$ , temperaturas de  $-4^{\circ}\text{C}$ , causan el quemado de los tejidos de la planta, por la formación de cristales de hielo en los espacios intercelulares de la planta, sin embargo, hay plantas que toleran estas temperaturas las que son seleccionadas para el programa de mejoramiento de quinuas tolerantes a heladas (Apaza *et al.*, 2005).



mayor precipitación a la parte alta del distrito de San José. La zona agroecológica que demarca la Isoyeta 642.74 mm de precipitación media anual se califica como la más adecuada para el establecimiento de los cultivos, incluido el cultivo de quinua. El cultivo de quinua, se considera que el rango de precipitación óptima es de 500 a 700 mm. (FAO, 2016).

Tabla 16

*Base de datos de rangos de las Isoyetas*

FID	Tipo Figura	ID	Isoyetas	Precipitación (mm)	Aptitud
0	Polilínea	1	1	642.74	Óptima
1	Polilínea	2	2	674.73	Restringida
2	Polilínea	3	3	691.60	No Apta
3	Polilínea	4	4	723.59	No Apta
4	Polilínea	5	5	784.23	No Apta
5	Polilínea	6	6	899.20	No Apta
6	Polilínea	7	7	1117.13	No Apta

Ortiz (2016), relaciona con la producción agrícola; a los factores como la temperatura media anual entre 4.19°C y 9.27°C, precipitación media anual entre 582.10 y 738.38mm. Las diferencias explican claramente en los modelos geo estadísticos o semivariogramas, que a pesar de encontrarse las dos localidades en la zona planicie y cercana al Lago Titicaca los fenómenos son diferentes. Se explica, que ello se debe a la distancia entre dos puntos de control.

Los cambios de precipitación y la cantidad de precipitación son las principales características del cambio climático en la infiltración, el almacenamiento y la liberación del agua hacia las plantas que generalmente resultan inundadas (Espinoza, 2016). Uno de los métodos de adaptación de la quinua al cambio climático consistirá en ubicar variedades tolerantes a la sequía, helada y granizada de los Andes; así, se elevarán los rendimientos de producción y productividad, y se generarán alternativas de desarrollo a las necesidades alimentarias de la comunidad, favoreciendo el crecimiento económico de los pobladores de la provincia de Ocos (Región Áncash) y la provincia de Angaraes, región Huancavelica (Espinoza, 2016).

### 4.3 Modelamiento de unidades integrales de tierras óptimas para el cultivo de quinua en el ámbito de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro

En la tabla 17, representa el modelamiento agroclimático, se ha utilizado la superposición de capas de los elementos disponibles; fósforo y potasio (Anexo 04: Análisis fertilidad de suelos) y los niveles de materia orgánica, como resultado han generado el mapa de aptitudes edafoclimáticas. El SIG, en este proceso como instrumento de planificación para el uso sostenible de los recursos naturales ha demostrado gran capacidad.

Tabla 17

*Aptitud edafoclimática para el cultivo de quinua*

ID	Figura	Categoría	Longitud figura (m)	Área (ha)	Aptitud	Porcentaje %
1	Polígono	0	1944895.29	58746.2903	Restringida	60.84
2	Polígono	1	442087.35	6676.4900	Alta	6.91
3	Polígono	2	1460286.36	27562.8786	Media	28.54
4	Polígono	3	238187.03	3574.6692	Baja	3.70
TOTAL				96560.3280		100.00

La tabla 17, ilustra la aptitud edafoclimática de las tierras de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro; en primer lugar, ocupan tierras de aptitud media 27,562.8785 ha, representa 28.54%, seguido por tierras de aptitud edafoclimática alta con 6,676.4899 ha, representa 6.91%. (Ver Anexo 1. Mapa Modelamiento de aptitud Edafoclimática).

Estos resultados, son superiores a los obtenidos por Gómez *et al.* (2013), en la cuenca del río Cañete, en el estudio de zonificación edafoclimática de la quinua y kiwicha, obteniendo un territorio óptimo para el cultivo de quinua, una extensión de 407 ha.

## CONCLUSIONES

- Se hallaron valores para la etapa del desarrollo fisiológico del cultivo de quinua, como variables de mayor dependencia a niveles de materia orgánica y fertilidad de suelos; de menor dependencia tenemos a la temperatura, pH del suelo y la textura del suelo y sin dependencia, resultó las variables de altitud, pendiente y precipitación. Asimismo, se determinaron variables de alta influencia en los rendimientos de quinua a la textura y pH del suelo; de mediana influencia, a la materia orgánica, fertilidad del suelo, de baja influencia, a temperatura, pendiente y precipitación y sin influencia a la altitud. Dichos resultados indican a la materia orgánica como variable clave (de alta dependencia y alta influencia) en los rendimientos de quinua.
- El cultivo se adapta en la microzona de vida Suni Alta, que abarca altitudes entre 3875 a 4000 msnm, las pendientes optimas ocupan tierras de 2-4% y moderadas de 4-15%, los suelos presentan niveles de materia orgánica; Alta >4%, con 22,899.0134 ha (25.37%), moderada de 2-4% de MO con 46,095.2461 ha (51.08%), con respecto a la textura, Media 65% y Moderadamente Fina 15%. Se observó suelos con pH moderada y muy fuertemente ácidos que presentan el 43% y 27%, respectivamente. El escenario presenta temperaturas altas y bajas, las aptas para el cultivo son 7 a 9 °C, y precipitaciones medias anuales aptas de 642.74 mm.
- Se generó información fundamental sobre el estado actual en que se encuentran los recursos edáficos y climáticos de espacios territoriales de las microcuencas hidrográficas de San José y Tintiri, modelándose zonas con aptitud edafoclimática optima a 6,676.4899 ha, que representa 6.91% y tierras de aptitud media 27,562.8785 ha, (28.54%). Los mismo que permitirán contar con bases científicas y metodológicas para la planeación territorial, para la toma de decisiones y para dar seguimiento al desarrollo sustentable.

## RECOMENDACIONES

- Los resultados de los estudios de zonificación edafoclimática, será la base útil para un conjunto de aplicaciones básicas, que conducen a una evaluación de la aptitud de diferentes cultivos, productividad potencial de tierras, y un conjunto de proyectos avanzados para los próximos trabajos de investigación.
- Los planes de desarrollo sostenible de los proyectos agropecuarios requieren de estrategias en el manejo de los recursos naturales. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), las técnicas de sensoriamiento remoto, los algoritmos y el análisis geo estadístico, constituyen herramientas eficientes para levantar, procesar información y que permiten visualizar en un mapa las condiciones edafológicas y climáticas de las tierras del escenario.
- El suelo es un recurso natural vivo, requiere de un manejo adecuado, para el cual se debe conocer su grado de fertilidad y así poder elaborar un plan de fertilización, el cual, constituirá un instrumento de gestión de cultivos para el agricultor.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alanoca, M. (2008). *Manejo del recurso suelo mediante sistema de información geográfica en el C.I.P. Illpa-UNA-Puno*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Alba, C. (2009). *Gestión Territorial: Aportes desde la gestión sostenible de los recursos productivos en la región Andina y Amazónica*. Lima, Perú: Biblioteca Nacional del Perú N° 2009-13726.
- Álvarez, R. (2001). Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century Model. *Soil Use and Management*, 17(2), 62–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2001.tb00010.x>
- Álvarez, R. y Steinbach, H. (2006). Manejo agronómico y disponibilidad de nitrógeno en el suelo. En *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos* (pp. 137–164). Buenos Aires, Argentina: Facultad de Agronomía-UBA.
- Amat, J. (2017). Bibliografía sobre estadística, bioestadística, data science y programación en R. Recuperado de [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/219509](https://rpubs.com/Joaquin_AR/219509)
- Apaza, V. (1996). *Cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd) Compendio de Alternativas Tecnológicas*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA.
- Apaza, V., Delgado, P., López, D. y Farfán, D. (2005). *Manejo y Mejoramiento de Quinua Orgánica*. Puno, Perú: Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria.
- APG II. (2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141, 399–436.
- Aquize, E. (1987). *Meteorología General Agrícola*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Benito, G. (2012). *Zonificación edafoclimática en la cuenca del río Ramis en función de los elementos meteorológicos*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Bosque, J. (2000). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, España: Ed. Rialp.
- Bruno, C. (2015). *Zonificación de las Unidades de producción y calidad de café orgánico (Coffea arábica L.) en el Valle de Alto Inambari Sandia*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Buzai, G. (2000). El formato vectorial. Análisis espacial. En *Perspectivas Digitales*.

- Buenos Aires, Argentina. Recuperado de [https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario\\_8.pdf](https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_8.pdf)
- Cárdenas, M. (1944). Descripción preliminar de las variedades de *Chenopodium quinoa* de Bolivia. *Revista Agricultura (Cochabamba)*, 13–26.
- Cervantes, E. (2012). *Zonificación y análisis de la potencialidad agrícola y forestal de las tierras del CIP Camacani para su ordenamiento territorial*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (Segunda Ed). Madrid, España: Ediciones RIALP S.A.
- Cutipa, Z. (2007). *Efecto de excreta de lombriz y biol vs fertilizantes químicos sobre rendimiento y calidad de tubérculos de papa nativa (Solanum tuberosum spp andigena)*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Díaz, M. (2002). *Geoestadística Aplicada*. Cuba: Instituto de Geofísica y Astronomía. UNAM.
- DRA-Puno. (2018). Dirección Regional Agraria Puno. Dirección de Estadística Agraria e Informática. Puno, Perú. Recuperado de <https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agricola/>
- Espinoza, E. (2016). Adaptación del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) al cambio climático en los Andes del Perú. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 19(37), 15–23. Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/12950/0>
- FAO. (2011). *La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Roma, Italia.: Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- FAO. (2016). *Guía del cultivo de la quinua*. Lima, Perú: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- FAO. (2018). FAOSTAT statistical database. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Franco, A. (2018). *Modelación de uso de la tierra utilizando SIG y Teledetección en la microcuenca de río Ticaraya, Puno*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Frére, M., Rijks, J. y Rea, J. (1978). *Estudio Agroclimatológico de la Zona Andina*. Ginebra, Suiza: Secretaria de la Organización Meteorológica Mundial.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Naub, T., Thorsten, P. y Jörg, B. (2012). Near surface air

- humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152, 17–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.08.004>
- Fuentes, F., Maughan, P. J. y Jellen, E. (2009). Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Geográfica de Valparaíso*, 42, 20–33. Recuperado de [http://www.pucv.cl/uuaa/site/artic/20180316/asocfile/20180316172222/42\\_3.pdf](http://www.pucv.cl/uuaa/site/artic/20180316/asocfile/20180316172222/42_3.pdf)
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C. y Wouter, B. (2006). Mapeo de idoneidad agroclimática para la producción de cultivos en el Altiplano Boliviano: un estudio de caso para la Quinoa. *Meteorología Agrícola y Forestal*, 139(3–4), 399–412. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.018>
- Gómez, W., Zamora, N., La Rosa, C. y Rosales, J. (2013). Zonificación agroclimática de la quinoa y kiwicha en la cuenca del río Cañete, utilizando los sistemas de información geográfica. *Revista de la Facultad de Ingeniería Geográfica. Ambiental y Ecoturismo, Universidad Nacional Federico Villarreal*, 1, 47–64.
- Guerrero, J. (1993). *Abonos orgánicos. Tecnologías para el manejo ecológico de suelos*. Lima-Perú: Asociación Alternativa al uso de agroquímicos (RAAA).
- Guillén, R. (2002). *Modelación de uso de la tierra para orientar al ordenamiento territorial en la sub cuenca del río Copán, Honduras*. Honduras: (Tesis de Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación, Escuela de Posgraduados, Turrialba, Costa Rica.
- Gutiérrez, J., Gould, M., García, J., Carpio, J., Díaz, J., Romanillos, G. y Vía, M. (2013). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y al software ArcGIS*. Madrid, España: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE. Recuperado de <http://files.especializacion-tig.webnode.com/200000052-e9aafeb9e5/Introduccion a los SIG y al ARCGIS.pdf>
- Guzmán, A., Malaver, M. y Rivera, H. (2005). *Análisis estructural. Técnica de la prospectiva*. (Universidad del Rosario, Ed.). Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/1204/BI24.pdf;jsessionid=F213A0279AF4F094EFD9100EE0F9AAA0?sequence=1>
- Holdridge, L. (1947). Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data. *In the Laboratory*, 105(2727), 367–368. Recuperado de doi: 10.1126/science.105.2727.367



- Huarahuara, P. y Montufar, U. (2016). *Microzonificación agroecológica para cultivos con énfasis en quinua (Chenopodium quinoa Willd) aplicando teledetección y SIG en la microcuenca del río Salado – Puno*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Huaranca, A. (2014). *Propuesta metodológica de microzonificación ecológica y económica - caso microcuenca del río Zapatilla – Puno*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- ICE. (1999). *Plan de manejo integrado de la cuenca del Río Reventazon*. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica: Dirección Comunicación e Identidad Corporativa.
- Leal-Nares, O., Mendoza, M. y Carranza, E. (2010). Análisis y modelamiento espacial de información climática en la cuenca de Cuitzeo, México. *Investigaciones Geográficas*, 72, 49–67. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n72/n72a5.pdf>
- Leiva, J., Sialer, C. y Horna, D. (2015). Evaluación del cultivo de *Chenopodium quinoa* “quinua” bajo condiciones edafoclimática del distrito de Puerto Eten-Lambayeque. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(2313–1926). Recuperado de <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/284/292>
- León, E. (2015). *Zonificación agroecológica para quinua (Chenopodium quinoa Willd) aplicando el sistema de información geográfica y teledetección en el distrito de Samán*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Lescano, J. (1994). *Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos: quinua, kañihua, tarwi, kiwicha, pap amarga, olluco, mashua y oca*. Programa Interinstitucional de Waru Waru: Convenio INADE/PELT - COTESU. Puno, Perú.
- Lipa, G. y Goyzueta, Y. (2018). *Zonificación y modelamiento agroecológico para el cultivo de café (Coffea arábica L.) utilizando la tecnología del SIG y teledetección en el CIP Tambopata-Sandia-Puno*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Lücke, O. (1998). *Base Conceptual y Metodología para los Escenarios de Ordenamiento Territorial*. Recuperado de [http://www.mideplan.go.cr/sinades/Proyecto\\_SINADES/sostenibilidad/armonizacion/index-2.html#BASE C](http://www.mideplan.go.cr/sinades/Proyecto_SINADES/sostenibilidad/armonizacion/index-2.html#BASE C).
- MAGFOR. (2000). *Manejo Integrado de cuencas Hidrográficas en la Región de las Segovia*. Managua, Nicaragua: Ministerio Agropecuario y Forestal. Dirección de Estudios Territoriales.

- Maldonado, T. y Rodríguez, C. (1997). *Estudio, análisis y cartografía de la capacidad de uso de la tierra en las clases forestales*. Costa Rica. San José: Fundación Neotropica.
- Mamani, R. (2011). *Inventarización y zonificación de los recursos productivos en la cuenca de Ancoraimas – la Paz con aplicación de SIG y teledetección*. (Tesis de grado). Universidad Mayor De San Andrés, La Paz, Bolivia. Recuperado de <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6000/T-2125.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Medellín, A. (2013). *Información Geográfica Digital: Características y Sistemas de Recuperación en México*. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <http://eprints.ucm.es/19953/1/T34296.pdf>
- Meza, L. y González, M. (2012). *Herramientas para la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector agropecuario*. (FAO y GIZ, Ed.). Lima, Perú: Resultados del taller práctico. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3003s.pdf>
- MINAG. (2004). Decreto Supremo N° 087-2004-PCM. *Diario Oficial El Peruano*. Lima, Perú. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-reglamento-zonificacion-ecologica-economica-zee>
- MINAG. (2009). Decreto Supremo N° 017-2009-AG. *Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor*. Lima, Perú. *Diario Oficial El Peruano*, pp. 1–18. Lima, Perú. Recuperado de [https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2009/decreto/DS NÂ° 017-2009-AG\(Reglamento de Clasif de Tierras\).pdf](https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2009/decreto/DS_NA%017-2009-AG(Reglamento%20de%20Clasif%20de%20Tierras).pdf)
- MINAGRI. (2017). *Ministerio de Agricultura y Riego. Dirección General de Políticas Agrarias. Análisis Económico de la Producción Nacional de la Quinua*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017?download=12316:boletin-de-quinua>
- MINAM. (2010). *Guía de Evaluación de la Flora Silvestre*. Lima, Perú: Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales.
- MINAM. (2016). *Instrumentos Técnico Normativos del Ordenamiento Territorial*. Lima. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente. Recuperado de [http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Instrumentos\\_Tecnicos\\_Normativos\\_OT.pdf](http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Instrumentos_Tecnicos_Normativos_OT.pdf)
- Mojica, F. (2005). *La Construcción del Futuro. Concepto y Modelo de Prospectiva Estratégica, Territorial y Tecnológica*. Bogotá, Colombia: U. Externado de

- Colombia. Recuperado de <https://publicaciones.uexternado.edu.co/la-construccion-del-futuro-concepto-y-modelo-de-prospectiva-estrategica-territorial-y-tecnologica-investigacion-y-ciencia.html>
- Mujica, A., Canahua, A. y Saravia, R. (2001). Agronomía del cultivo de la quinua. En *QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.). ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. Santiago, Chile: FAO.
- Muñoz, J., Martínez, L. y Ligarreto, G. (2009). Caracterización de los ambientes agroecológicos del agraz o mortiño (*Vaccinium meridionale Swartz*), en la zona altoandina de Colombia. *Perspectivas del cultivo de agraz o mortiño*, 29–56.
- Murray, A. (2010). GIS and Multicriteria Decision Analysis, by Jacek Malczewski, 1999. *Geographical Analysis*, 2. <https://doi.org/doi.org/10.1111/j.1538-4632.2002.tb01077.x>
- NCBI. (2014). National Center for Biotechnology Information. *U.S. National Library of Medicine*. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=63459>
- Ninaraqui, D. (2014). *Zonificación agroecológica en función de los elementos hidrometeorológicos en la cuenca del río Ramis*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Olivares, B., Hernández, R., Arias, A., Molina, J. y Pereira, Y. (2018). Zonificación agroclimática del cultivo de maíz para la sostenibilidad de la producción agrícola en Carabobo, Venezuela. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(2), 135–156.
- Orocollo, J. (2014). *Microzonificación climática para el mejoramiento de la producción agrícola en la cuenca de Zapatilla del departamento de Puno*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ortiz, F. (2016). Modelagem e analise da mata nativa para o manejo florestal sustentável na bacia hidrográfica do rio Calacala, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - RIA. UNA - Puno*, 3, 393–414.
- Ortiz, F. (2017). Análisis de sustentabilidad de los rodales de bosque nativo *Polylepis* spp en la microcuenca del río Calacala, Puno. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Pérez, A. (2005). *Manejo del cultivo de quinua en la sierra central*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA.
- Pulgar, J. (1967). *Geografía del Perú: Las ocho regiones naturales del Perú*. Lima, Perú: Editorial Ansonia.

- Ruas, P., Bonifacio, A., Ruas, C., Fairbanks, D. y Andersen, W. (1999). Genetic relationship among 19 accessions of six species of *Chenopodium* L., by Random Amplified Polymorphic DNA fragments (RAPD). *Euphytica*, 105, 25–32. Recuperado de <https://doi.org/10.1023/A:1003480414735>
- Sainz, H., Echeverría, H. y Angelini, H. (2011). Niveles de Carbono Orgánico y pH en Suelos Agrícolas de las Regiones Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Unidad Integrada Balcarce: EEA INTA - FCA UNMP*, 29(1), 29–37.
- Sardon, S. y Mamani, S. (2012). *Modelación de las potencialidades de tierras, agua y propuestas de manejo agroforestal aplicando el SIG y Teledetección en el CIP-Ituata*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Scheldeman, X. y Zonneveld, M. (2011). *Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas*. Roma, Italia: Bioversity International.
- Soms, E. (2005). *Prospectiva y construcción de escenarios para el desarrollo territorial*. Santiago, Chile: Gráfica Funny S.A.
- Soto, T. (2001). *Metodología para la zonificación agroecológica del (Coffea arábica) en Cuba*. Cuba: Macizo montañoso.
- Sun, J. (2000). Dynamic monitoring and yield estimation of crops by mainly using the remote sensing technique in China. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(5), 645–650. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/10ce/bf9bd1b737c48869c7e90abda904d43cc7e7.pdf>
- Tapia, M. (2000). *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandía, S., Cardozo, A. y Mujica, A. (1979). *Quinua y Kañiwa cultivos andinos*. Bogotá, Colombia: CIID, Oficina Regional para América Latina.
- Walkley, A. y Black, I. (1934). Estimation of Soil Organic Carbon by the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science Journal*, 37(1), 29–38. Recuperado de [https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1934/01000/An\\_Examination\\_of\\_the\\_De\\_gtareff\\_Method\\_for.3.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1934/01000/An_Examination_of_the_De_gtareff_Method_for.3.aspx)



**ANEXOS**

**Anexo 1. Galería de fotos**



*Figura 13.* Trabajo coordinación con las autoridades comunales del Distrito de Azángaro, para intervención, sondeo, toma de muestras de suelo y georreferenciación



*Figura 14.* Trabajo coordinación con las autoridades comunales del Distrito de Muñani, para intervención, sondeo, toma de muestras de suelo y georreferenciación



*Figura 15.* Trabajo coordinación con las autoridades comunales del Distrito de San José, para intervención, sondeo, toma de muestras de suelo y georreferenciación



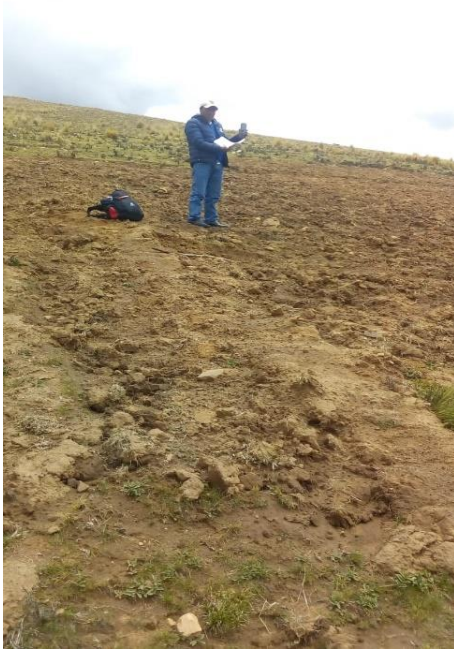
*Figura 16.* Toma de muestras de suelo, en compañía del asesor de tesis y equipo técnico de apoyo del Laboratorio de Análisis de Aguas y suelos de la FCA – UNA Puno, en la zona de estudio



*Figura 17.* Demostración de método de la correcta toma de muestras de suelo, especialista del Laboratorio de Análisis de Aguas y suelos de la FCA – UNA Puno, en la zona de estudio



*Figura 18.* Especialista del Laboratorio de Análisis de Aguas y suelos de la FCA – UNA Puno, georreferenciando, la zona de estudio



*Figura 19.* Toma de muestras y georreferenciación, en el ámbito de estudio



*Figura 20.* Profundidad de Toma de muestras, en el ámbito de estudio





*Figura 21. Zonas de muestreo, Distrito de Azángaro*



*Figura 22. Zonas de muestreo, Distrito de Muñani*



*Figura 23. Parcelas de quinua de la variedad Cankolla, Distrito de Muñani*



*Figura 24.* Parcelas de quinua de la variedad Cankolla, Distrito de Azángaro



*Figura 25.* Parcelas de quinua de la variedad Cankolla, Distrito de San José

**Anexo 2.** Etapas de Análisis Estructural de Variables para el Diagnóstico y Prospectiva de escenarios

Visión	parcial	Aproximación holística
Variable	Cuantitativas, objetivas y conocidas.	Cuantitativas, no necesariamente cuantitativas, subjetivas, conocidas u ocultas.
Relaciones	Estadísticas estructuras fijas	Dinámicas estructuras evolutivas
Explicación	el pasado explica el futuro	el futuro explica el pasado
Futuro	simple y cierto	Múltiple e incierto
Método	Modelo determinístico y cuantitativo (económicos, matemáticos).	Análisis intencional, modelos cuantitativos y estocásticos.
Actitud hacia el futuro	Pasiva y adaptiva.	Activa y creativa

**Anexo 3.** Clave de Norma Técnica Peruana para clasificación de tierras DS.17-2009-AG

Grupos de Capacidad de Uso Mayor	Pendiente (%)			Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Corta	Larga	Micro-relieve (hasta)	Prof. (cm) mínima	Textura (acepta)	Pedreg. (acepta)	Drenaje (acepta)	pH (acepta)	Erosión (hasta)	Salinidad (hasta)	Inundación (hasta)	Fertil. Sup. (hasta)	Fragm. Rocoso (hasta)
A Cultivo en Limpio (Secano)	0-4	0-2	3	30	Todas	1	A, B, C, D, E	4.5+7.0	Moderada	1	2	3	1
	4-8	2-4	2	45	G, MG, M, MF	1	A, B, C, D, E	4.5+7.0	Ligera	1	-	3	1
	8-25	4-15	1	60	MG, M, MF	1	A, B, C, D, E	4.5+7.0	Ligera	1	-	3	1
		15-25	1	100	MG, M, MF	1	A, B, C, D	5.0+7.0	Ligera	1	-	3	1
P Pasto	0-8	0-4	3	15	Todas	3	E, F	4.0+7.0	Moderada	2	2	3	3
	8-25	4-15	3	30	Todas	3	A, B, C, D, E, F	4.0+7.0	Moderada	2	-	3	3
	25-50	15-25	3	45	MG, M, MF	3	A, B, C, D, E	4.0+7.0	Ligera	2	-	3	3
		25-50	2	60	MG, M, MF	2	A, B, C, D	5.0+7.0	Ligera	2	-	3	3
F Producción Forestal	0-8	0-4	4	30	Todas	3	A, B, C, D, E	Todos	Severa	2	3	3	3
	8-25	4-25	4	45	Todas	3	A, B, C, D, E	Todos	Severa	2	-	3	3
	25-75	25-75	3	60	Todas	3	A, B, C, D	Todos	Moderada	2	-	3	3
X Protección	Tierras en características fuera de los límites señalados para los grupos superiores												

**Anexo 4. Análisis de fertilidad de suelos**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**

**ANALISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS**

PROCEDENCIA : Microcuencas de los ríos de Azángaro  
 INTERESADO : Ing. Washington Walter Goyzueta Hanco  
 MOTIVO : Análisis Fertilidad de suelos  
 MUESTREO : Localizado por Unidades Fisiográficas  
 FECHA DE MUESTREO : 08-10/11/2018  
 FECHA DE ANÁLISIS : 14-15/11/2018  
 LABORATORIO : Agua y Suelo FCA – UNA

Reporte de análisis de fertilidad de suelos del laboratorio FCA - UNA Puno.

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
01	C-4 VILLA MERCEDES R PAMPA	45.20	32.40	22.40	Franco arcillo arenoso	0.00	1.95	0.12

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
01	5.40	0.15	0.75	7.60	112	NC	NC	NC	NC	0.96	NC	NC

FArA = Franco arcillo arenoso  
 FAr = Franco arcilloso  
 Ar = Arcilloso  
 M.O.=Materia orgánica  
 FArA = Franco arcillo arenoso  
 P = Fósforo disponible  
 CIC= Capacidad Intercambio Cationico  
 K = Potasio disponible  
 N = Nitrógeno total  
 C.E. = Conductividad eléctrica  
 K<sup>+</sup> = Potasio cambiabile  
 SB = Saturación de bases  
 A= Arena  
 Mg<sup>2+</sup> = Magnesio cambiabile  
 Ca<sup>2+</sup>= Calcio cambiabile  
 mS/cm = milisiemens por centímetro  
 Na<sup>+</sup>= Sodio cambiabile  
 C.E.(e) = Conductividad eléctrica del extracto  
 CO<sub>3</sub><sup>=</sup> = Carbonatos  
 Al<sup>3+</sup> = Aluminio cambiabile  
 me = miliequivalente.

Ing. M.Sc. Darío Canazo Mamani  
 JEFE DEL LABORATORIO DE AGUAS, SUELOS Y PLANTAS

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
02	C-23 VILLA MERCEDES ROSAS PAMPA	6.60	35.00	58.40	Franco arcillo limoso	0.02	5.80	0.16

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
02	6.60	5.20	26.00	17.23	306	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
03	C-33 VILLA MERCEDES ROSAS PAMPA	42.60	33.20	24.20	Franco arcilla Arenoso	0.00	2.60	0.14

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
03	5.90	0.35	1.17	7.77	161	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
04	C-39 VILLA MERCEDES ROSAS PAMPA	46.10	33.00	20.90	Franco Arcillo arenoso	0.00	3.00	0.13

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
04	6.30	0.20	1.00	7.16	185	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
05	C-5 ALTO PIRIPIRINI VILLA MERCEDES ROSAS PAMPA	40.40	30.00	29.60	Franco Arcillo arenoso	0.00	2.90	0.14

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
05	5.70	0.17	0.85	6.55	170	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
06	C-35 ARCO PUNCO	61.00	18.00	21.00	Franco arenoso	0.00	2.70	0.11

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
06	5.40	0.10	0.50	5.96	135	NC	NC	NC	NC	0.90	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
07	C-02 TUPAC AMARU MUÑANI	62.00	19.00	19.00	Franco arenoso	1.95	3.00	0.12

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
07	7.40	0.38	1.90	7.16	150	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
08	C-28 TTURO PAMPA MUÑANI	8.10	38.20	53.700	Franco arcillo limoso	0.00	5.60	0.16

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
08	5.40	0.22	1.10	15.76	331	NC	NC	NC	NC	1.03	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
09	C-03 CC TUPAC AMARU II CACERIO VIEJO	59.00	18.00	23.00	Franco arenoso	0.00	2.05	0.08

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
09	5.20	0.11	0.55	9.02	120	NC	NC	NC	NC	1.40	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
10	C-12 CC TUPAC AMARU PICHACANI	61.00	17.00	22.00	Franco Arenoso	0.00	1.80	0.10

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
10	5.90	0.10	0.50	7.70	88	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
11	C-32 SANTA ANA	63.00	17.50	19.50	Franco arenoso	0.00	1.85	0.09

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
11	4.90	0.52	2.60	8.39	115	NC	NC	NC	NC	0.65	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
12	C-25	5.00	35.00	60.00	Franco limoso	0.00	4.03	0.15

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
12	5.00	0.15	0.75	9.65	234	NC	NC	NC	NC	1.15	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
13	C-29 INCA PAR CARATA	6.90	37.00	56.10	Franco arcillo Limoso	0.00	3.25	0.11

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
13	5.40	0.08	0.40	8.50	209	NC	NC	NC	NC	0.93	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
14	C-40 ROSASPAMPA	7.00	38.00	55.00	Franco arcillo limoso	0.00	3.50	0.10

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
14	5.90	0.19	0.95	9.02	135	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC



# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
15	C-13 LITIJAPATA	59.00	18.00	23.00	Franco arenoso	0.00	3.10	0.08

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
15	4.90	0.06	0.30	6.00	224	NC	NC	NC	NC	1.68	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
16	C-15 BAJO TUMUYO	8.80	35.00	56.20	Franco arcillo limoso	0.00	4.81	0.13

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
16	5.20	0.14	0.70	9.69	258	NC	NC	NC	NC	1.20	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
17	C-38 MORO ORCCO	7.90	34.00	58.10	Franco arcillo limoso	0.00	6.81	0.15

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
17	6.10	0.81	4.05	10.30	309	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
18	C-14 CC. LLACTA CHUQUIPIÑA PUTINA PUNCO	35.00	32.00	33.00	Franco arcillo arenoso	0.00	3.96	0.14

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
18	5.00	0.13	0.65	10.05	282	NC	NC	NC	NC	1.20	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
19	C- 031 CHICAYANI	63.00	17.00	20.00	Franco arenoso	0.00	3.50	0.09

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
19	4.70	0.16	0.80	8.39	205	NC	NC	NC	NC	1.95	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
20	C-08 QUILLICARA	10.00	37.00	53.00	Franco arcillo Limoso	0.00	3.25	0.08

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
20	5.00	0.10	0.50	7.77	170	NC	NC	NC	NC	1.50	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
21	C-21 ESPARTA	9.10	36.00	54.90	Franco arcillo limoso	0.00	3.15	0.11

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
21	4.90	0.12	0.60	7.16	161	NC	NC	NC	NC	1.60	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
22	C-24 SACACANI	33.00	33.00	34.00	Franco arcillo arenoso	0.00	3.02	0.08

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
22	4.80	0.09	0.45	9.02	136	NC	NC	NC	NC	1.70	NC	NC



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS Y PLANTAS

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
23	C-06 SEGUNDA JILAHUATA	35.00	32.00	33.00	Franco arcillo arenoso	0.00	2.90	0.09

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
23	5.60	0.34	1.70	7.70	113	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
24	C-11 TIRUYO	25.10	38.00	36.90	Franco Arcilloso	0.00	3.10	0.09

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
24	6.80	0.82	4.10	6.54	160	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
25	C-18 ALTO JILAHUATA	38.00	31.00	31.00	Franco Arcillo arenoso	0.00	3.25	0.09

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
25	5.00	0.10	0.50	7.50	169	NC	NC	NC	NC	1.70	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
26	C-34 VELA VELA SONCO	71.10	10.20	18.70	Arenoso Franco	0.00	1.15	0.04

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
26	5.00	0.13	0.65	3.90	46	NC	NC	NC	NC	1.60	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
27	C-026 OXANE	42.00	30.00	28.00	Franco arcilla Arenoso	0.00	3.80	0.11

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
27	5.60	0.09	0.45	10.30	230	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
28	C-16 QUEMILLUNI	68.00	15.00	17.00	Franco arenoso	0.00	1.90	0.06

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
28	5.40	0.20	1.00	6.90	88	NC	NC	NC	NC	0.80	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
29	C-09 TICANI	41.10	39.00	19.90	Franco Arcillo arenoso	0.00	2.15	0.08

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
29	5.40	0.11	0.55	7.01	112	NC	NC	NC	NC	0.95	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
30	C-37 CANCHA CANCHA	10.20	35.00	54.80	Franco arcillo limoso	0.00	4.01	0.11

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
30	5.40	0.27	1.13	10.30	209	NC	NC	NC	NC	1.08	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
31	C-22 TICANI CENTRAL	43.00	29.00	28.00	Franco arcillo arenoso	0.00	3.15	0.09

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
31	5.40	0.71	3.55	11.61	201	NC	NC	NC	NC	0.90	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
32	C-5 ALTO PERIPIRINI VILLA	42.00	28.00	30.00	Franco arcillo arenoso	0.00	3.60	0.11

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
32	4.80	0.16	0.80	10.67	207	NC	NC	NC	NC	0.90	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
33	C-30 CRUZ PATA CARCAPUNCO	41.00	27.00	32.00	Franco arcillo arenoso	0.00	4.15	0.12

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
33	5.60	0.54	2.70	10.95	258	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
34	C-19 TICANI HUILACUNCA	62.00	18.00	20.00	Franco arenoso	0.00	2.26	0.07

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
34	5.70	0.10	0.50	6.55	112	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
35	C-07 SEGUNDO CHIMPA JALLAICI	45.00	29.00	26.00	Franco arcillo arenoso	0.00	2.60	0.08

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
35	6.70	0.62	3.10	8.39	136	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
36	I AZANGARO	15.00	18.00	67.00	Franco limoso	0.00	2.30	0.85

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
36	5.00	0.09	0.45	5.96	130	NC	NC	NC	NC	1.20	NC	NC

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
37	II AZANGARO	16.00	19.00	65.00	Franco limoso	0.80	3.05	0.10

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		
						me/100 g suelo						
37	7.90	0.35	1.75	5.37	162	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

**Anexo 5.** Localización geográfica de puntos de control de muestreo de suelos

ID	Clave	Distrito	Comunidad	Coordenada X m.	Coordenada Y m.	Altitud Z m.
1	I Azángaro	Azángaro	Callamarca-Chuhuayani	368627	8356818	3872
2	C-02 Tupac Amaru	Muñani	Tupac Amaru I	396277	8372659	3979
3	C-03 CC Tupac Amaru	San José	Tupac Amaru	372761	8374509	4040
4	C-4 Villa Mercedes	Azángaro	Macaya Piripirini-Rosaspampa	374918	8351841	3887
5	C5-Alto Peripirini Villa	Azángaro	Incapucara	389782	8358560	4018
6	C-06 Segundo Jilahuata	Azángaro	Segundo Jilahuata	382895	8345603	3837
7	C-07 Segundo Chimpa Jallapici	Azángaro	Segundo Chimpa Jallapisi	381534	8363186	3905
8	C-08 Quillicara	Azángaro	Quillipucara	382505	8356443	3884
9	C-09 Ticani	San José	Ticani	368565	8371127	3914
10	C-10 II Aángaro	Azángaro	Río Azángaro	371669	8352828	3859
11	C-11 Tiruyo	Azángaro	Tiruyo	384321	8345757	3879
12	C-12 CC Tupac Amaru Pichacani	San José	Tupac Amaru II	374810	8372739	4034
13	C-13 Litijapata	San José	Tupac Amaru II	371969	8377879	4034
14	C14-CC. Llacta Chuquiapiña	San José	Llacta Chuquepiña	371197	8376228	3044
15	C-15 Bajo Tumuyo	Muñani	Bajo Tumuyo	391751	8364689	3947
16	C-16 Quemilloni	Muñani	Hanajquía-Quimilloni	395113	8359036	3956
17	C-18 Alto Jilahuata	Azángaro	Alto Jilahuata-Huayrapata	388070	8345397	4129
18	C-19 Ticani Huilacunca	Azángaro	Picotani	390865	8352416	4154
19	C-21 Esparta	Azángaro	Esparta	387889	8346024	4077
20	C-22 Ticani Central	Azángaro	Titiani	390661	8352309	4180
21	C-23 Villa Mercedes	Azángaro	Chijtani	372720	8360455	3907
22	C-24 Sacacani	Azángaro	Sacacani I	387303	8350425	4132
23	C-25	Muñani	Pararani-Mamaya	393113	8372051	4000
24	C-26 Oxane	Muñani	Oxani	384218	8367609	4001
25	C-28 Tturo Pampa	Muñani	Turupampa	392171	8372370	4012
26	C-29 Inca Par carata	San José	Sector Incapari	370713	8367359	3915
27	C-30 Cruz Pata Carcapunco	Azángaro	Moroorco-Carcapunco	389775	8358567	3902
28	C- 031 Chicayani	Muñani	Allustira	394906	8361884	3943
29	C-32 Santa Ana	Azángaro	Santa Ana-Ancuraya	384442	8357067	3895
30	C-33 Villa Mercedes	Azángaro	Cuchuviri	376317	8357455	3893
31	C-34 Vela Vela Soncco	Muñani	Velasoncco	395203	8358615	3973
32	C-35 Arco Punco	Muñani	Arco Punco	394851	8360408	3923
33	C-37 Cancha Cancha	Azángaro	Canchacancha-Alcarini	384306	8348644	3880
34	C-38 Moro Orcco	Muñani	Pedro Vilcapaza-Moroorcco	386280	8367699	3963
35	C-39 Villa Mercedes	Azángaro	Unión Villa Mercedes	373700	8363124	3917
36	C-40 Rosaspamapa	Azángaro	Rosaspampa	373972	8351706	3884

**Anexo 6.** Microzonas de vida por altitud (Adaptado por el Dr. J. Pulgar Vidal)

ID	Categoría Zona	Perímetro m.	Símbolo Microz.	Nombre Microzona	Altitud m.	Perímetro m.	Área m2.	
27	5	1345.56113	CO	Coordillera	> 4750	698.26	17876.02	
35	4	1399.700032	PA	Puna Alta	4500 - 4750	1399.70	115438.76	
38	5	19776.65234	CO	Coordillera	> 4750	6188.54	905936.00	
41	5	160290.839	CO	Coordillera	> 4750	94523.09	35825912.89	
44	4	716701.8467	PA	Puna Alta	4500 - 4750	129705.96	63647008.01	
47	3	50788.54954	PM	Puna Media	4250 - 4500	10760.40	2504432.14	
49	2	2036.698335	PB	Puna Baja	4000 - 4250	2036.70	308999.50	
51	2	2349.065426	PB	Puna Baja	4000 - 4250	2349.07	334079.20	
52	3	2076.041887	PM	Puna Media	4250 - 4500	1871.02	168654.45	
53	3	484282.7589	PM	Puna Media	4250 - 4500	114099.94	52544193.27	
55	3	5119.248217	PM	Puna Media	4250 - 4500	1267.44	81933.12	
56	2	14519.15658	PB	Puna Baja	4000 - 4250	14519.16	6692350.61	
57	2	2201.821747	PB	Puna Baja	4000 - 4250	2201.82	303238.51	
58	3	2817.348135	PM	Puna Media	4250 - 4500	2446.18	277807.75	
59	3	2155.494512	PM	Puna Media	4250 - 4500	2155.49	318852.60	
60	2	3040.52614	PB	Puna Baja	4000 - 4250	3040.53	487580.81	
61	3	3384.600799	PM	Puna Media	4250 - 4500	3384.60	596325.52	
62	3	8582.951311	PM	Puna Media	4250 - 4500	8582.95	2676885.86	
63	2	9229.279155	PB	Puna Baja	4000 - 4250	9229.28	1542404.67	
64	2	18488.74417	PB	Puna Baja	4000 - 4250	18488.74	7904985.15	
65	2	5836.918664	PB	Puna Baja	4000 - 4250	5836.92	1400230.53	
67	3	4016.04713	PM	Puna Media	4250 - 4500	4016.05	682940.11	
68	2	25020.22754	PB	Puna Baja	4000 - 4250	25020.23	18131483.70	
72	2	58449.78443	PB	Puna Baja	4000 - 4250	32355.70	12889412.67	
73	2	1270.67665	PB	Puna Baja	4000 - 4250	1270.68	89681.31	
74	3	2014.842281	PM	Puna Media	4250 - 4500	2014.84	221438.72	
76	2	1406.903121	PB	Puna Baja	4000 - 4250	1406.90	98167.05	
77	2	500005.8363	PB	Puna Baja	4000 - 4250	281077.57	216581042.40	
79	2	4436.611188	PB	Puna Baja	4000 - 4250	4090.43	453337.59	
80	3	3932.113899	PM	Puna Media	4250 - 4500	3932.11	705330.39	
81	3	4501.426134	PM	Puna Media	4250 - 4500	4501.43	1095838.52	
82	2	3725.915628	PB	Puna Baja	4000 - 4250	3725.92	725795.59	
83	2	2584.214914	PB	Puna Baja	4000 - 4250	2492.96	230312.13	
86	2	9703.678038	PB	Puna Baja	4000 - 4250	8909.29	2152653.40	
87	4	44773.15189	PA	Puna Alta	4500 - 4750	38155.58	25518489.27	
96	3	9840.919526	PM	Puna Media	4250 - 4500	9322.90	2774818.12	
97	3	196743.2278	PM	Puna Media	4250 - 4500	111764.92	62446285.12	
122	1	800207.1092	SA	Suni Alta	< 4000	442159.64	327284772.81	
125	2	447572.486	PB	Puna Baja	4000 - 4250	225231.28	114915790.37	
TOTAL								965652714.62



**Anexo 7.** Clasificación de textura de suelos (Clave 10 del DS: 017-2009-AG.)

ID	Área ha	Área m2	Clase textural	Nombre de clase	Componente textural
1	84.78831673	847883.1673	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
2	0.681033513	6810.335133	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
3	168.3091254	1683091.254	2	Media	FArA, FAr, FArL, FL
4	1718.175805	17181758.05	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
5	441.4012146	4414012.146	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
6	723.4722093	7234722.093	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
7	3238.647037	32386470.37	3	Gruesa	A, AF, FA
8	1236.363444	12363634.44	3	Gruesa	A, AF, FA
9	3980.665481	39806654.81	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
10	1003.208962	10032089.62	3	Gruesa	A, AF, FA
11	37.80189	378018.9	2	Media	FArA, FAr, FArL, FL
12	1285.569273	12855692.73	3	Gruesa	A, AF, FA
13	4782.583985	47825839.85	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
14	2493.328535	24933285.35	2	Media	FArA, FAr, FArL, FL
15	0.787280669	7872.806685	2	Media	FArA, FAr, FArL, FL
16	73.27445156	732744.5156	2	Media	FArA, FAr, FArL, FL
17	3116.346032	31163460.32	2	Media	FArA, FAr, FArL, FL
18	19207.50394	192075039.4	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
19	1.610588719	16105.88719	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
20	20364.79366	203647936.6	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
21	11122.12319	111221231.9	1	Moderd_Fina	FAR, FL, FArA, FArL
22	4864.433629	48644336.29	2	Media	FArA, FAr, FArL, FL
23	4131.636305	41316363.05	2	Media	FArA, FAr, FArL, FL
24	4134.12145	41341214.5	3	Gruesa	A, AF, FA
25	4723.719659	47237196.59	3	Gruesa	A, AF, FA
26	0.017306739	173.067387	3	Gruesa	A, AF, FA
27	0.963601956	9636.01956	3	Gruesa	A, AF, FA
28	3628.944054	36289440.54	3	Gruesa	A, AF, FA
	96565.27146	965652714.6			

**Anexo 8.** Consolidado de niveles de pH de los suelos de las microcuencas

ID	Tipo Figura	Gridcode	Perímetro m.	Área m2	pH	Nombre de pH de la Unidad
2	Polygon	3	47153.96	73099729.78	4.5 - 5	Muy Fuertemente ácidos
6	Polygon	4	10013.73	7130667.91	5.1 - 5.5	Fuertemente ácidos
7	Polygon	6	6699.37	2136418.77	6.1 - 6.5	Ligeramente ácida
8	Polygon	5	2696.49	555082.46	5.6 - 6	Moderadamente ácida
9	Polygon	6	31305.35	49878049.40	6.1 - 6.5	Ligeramente ácida
11	Polygon	1	9770.40	7240263.36	3.3 - 4.4	Extremadamente ácida
12	Polygon	3	11286.54	3462639.29	4.5 - 5	Muy Fuertemente ácidos
13	Polygon	4	75897.62	105726554.36	5.1 - 5.5	Fuertemente ácidos
14	Polygon	2	36688.30	22553514.46	4.5 - 5	Muy Fuertemente ácidos
17	Polygon	2	8604.15	5350014.15	4.5 - 5	Muy Fuertemente ácidos
18	Polygon	3	133101.67	155602870.77	4.5 - 5	Muy Fuertemente ácidos
19	Polygon	6	8253.49	4666496.15	6.1 - 6.5	Ligeramente ácida
20	Polygon	6	20639.94	14239616.78	6.1 - 6.5	Ligeramente ácida
21	Polygon	5	188691.52	374689548.62	5.6 - 6	Moderadamente ácida
22	Polygon	4	175344.81	104044122.48	5.1 - 5.5	Fuertemente ácidos
23	Polygon	5	26747.13	35277123.75	5.6 - 6	Moderadamente ácida
	TOTAL			965652712.49		

**Anexo 9.** Base de datos de temperaturas y precipitaciones media anual de 50 años comprendidos desde el año 1962 hasta 2012, de 26 Estaciones Meteorológicas – SENAMHI Perú

ID	Nombre Estación	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Precip. Media	Temperat Media	Temp. Determinada
1	Macusani	344625	8444058	4345	729.8	5.2	8.00
2	Limbani	423805	8435155	3320	1229.7	10.1	6.45
3	Crucero	389382	8411749	4183	772.1	6.2	7.98
4	Cuyo Cuyo	440840	8398130	3910	831	9.1	9.16
5	Llalli	297155	8347834	3980	801.2	7.5	8.00
6	Ayaviri	326832	8355146	3928	662	7.9	8.08
7	Chuquibambilla	347638	8364998	3971	703.5	6.9	7.35
8	Pucará	354887	8336185	3900	626.5	7.9	7.90
9	Azángaro	371927	8350803	3863	582.1	8.7	8.47
10	Progreso	389801	8375699	3980	611.3	8.7	9.20
11	Muñani	396911	8367234	3948	618.7	8.6	8.90
12	Mañazo	385223	8363526	3920	644.5	8.9	9.03
13	Arapa	379853	8326298	3830	698.1	9.1	8.66
14	Taraco	395808	8322686	3820	582.9	7.8	7.30
15	Ananea	442478	8377171	4660	625.3	4.1	8.89
16	Putina	406670	8350936	3878	681.3	8.6	8.46
17	Cojata	460905	8338831	4380	738.5	4	7.02
18	Huancané	409061	8319247	3890	671.3	7.7	7.64
19	Pamapa Uta	320230	8287491	4400	795	4.2	7.35
20	Santa Lucía	327577	8263529	3970	682.2	6.7	7.14
21	Lampa	352948	8266710	3892	713.8	8	7.95
22	Mocallache	370413	8292182	3826	657.2	10.7	10.23
23	Huaraya Moho	448031	8298670	3890	874.2	8.6	8.54
24	Isla Soto	447586	8279422	3815	973.6	10.1	9.56
25	Isla Taquile	425965	8261863	3850	1216	10.1	9.79
26	Capachica	410793	8274432	3828	795.8	7.9	7.45

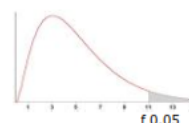
**Anexo 10.** Niveles de materia orgánica clasificado con la Clave 10 del DS: 017-2009-AG

ID	Categoría Curva	Long. Curvas m.	Niveles de MO %	Aptitud
1	4	2560.79	2 - 4	Media
2	4	11565.65	2 - 4	Media
3	3	1029.97	2 - 4	Media
4	7	15921.14	>4	Alta
5	6	22480.62	>4	Alta
6	5	26916.50	>4	Alta
7	2	34627.04	<2	Baja
8	3	319.96	2 - 4	Media
9	3	4.22	2 - 4	Media
10	4	38338.41	2 - 4	Media
11	5	9108.89	>4	Alta
12	4	6440.69	2 - 4	Media
13	4	13392.13	2 - 4	Media
14	2	13947.58	<2	Baja
15	3	19846.47	2 - 4	Media
16	3	11507.45	2 - 4	Media
17	4	8571.60	2 - 4	Media
18	-2	7351.76	<1	No Apto
19	-3	5341.81	<1	No Apto
20	0	14439.30	<1	No Apto
21	-1	11973.64	<1	No Apto
22	2	19745.23	<2	Baja
23	3	4945.15	2 - 4	Media
24	1	16333.05	<2	Baja
25	2	19606.11	<2	Baja
26	3	21500.20	2 - 4	Media
27	3	68476.41	2 - 4	Media

Anexo 11. Valores críticos de la distribución F(0.05)

Cátedra: Probabilidad y Estadística  
Facultad Regional Mendoza  
UTN

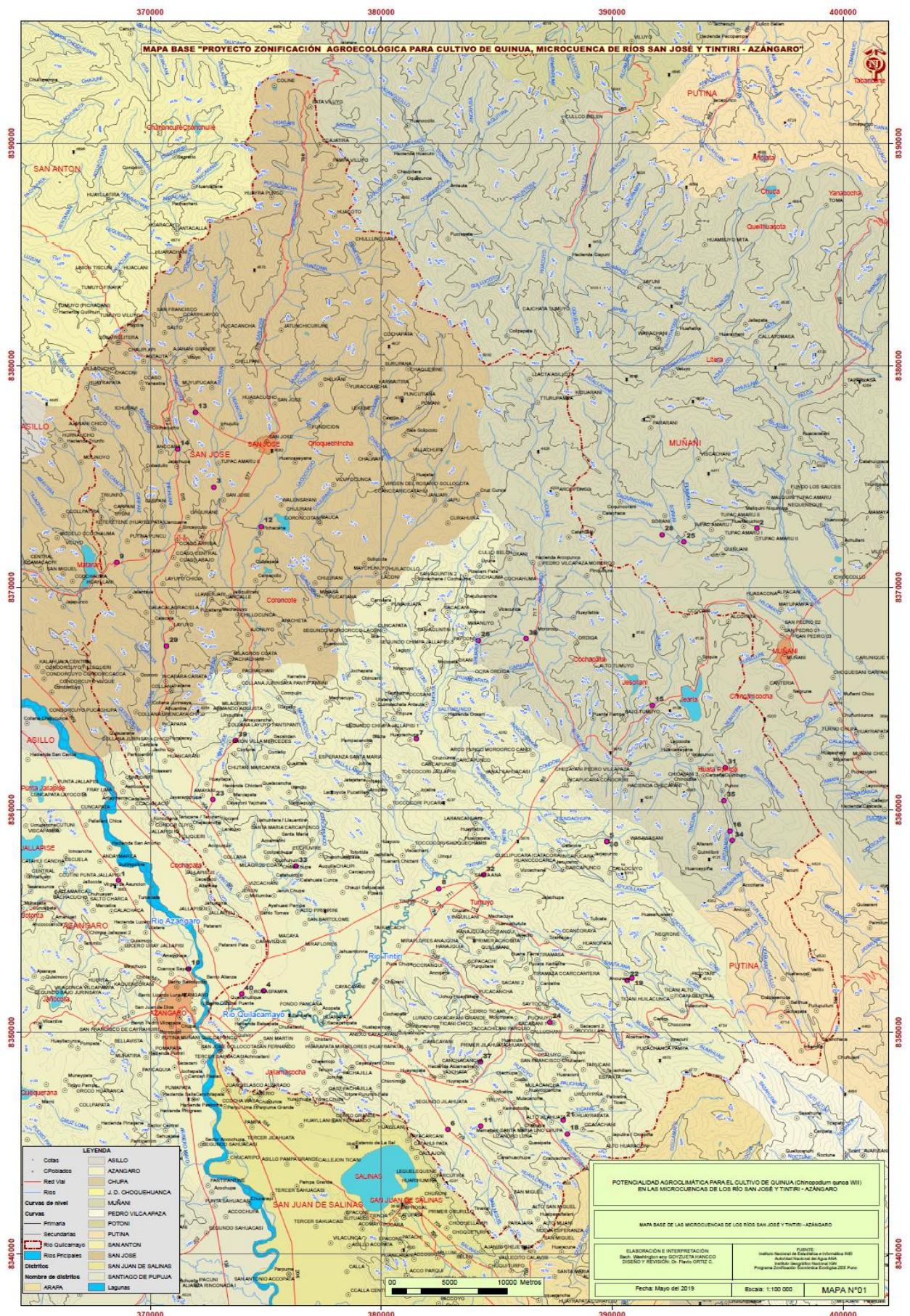
Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)



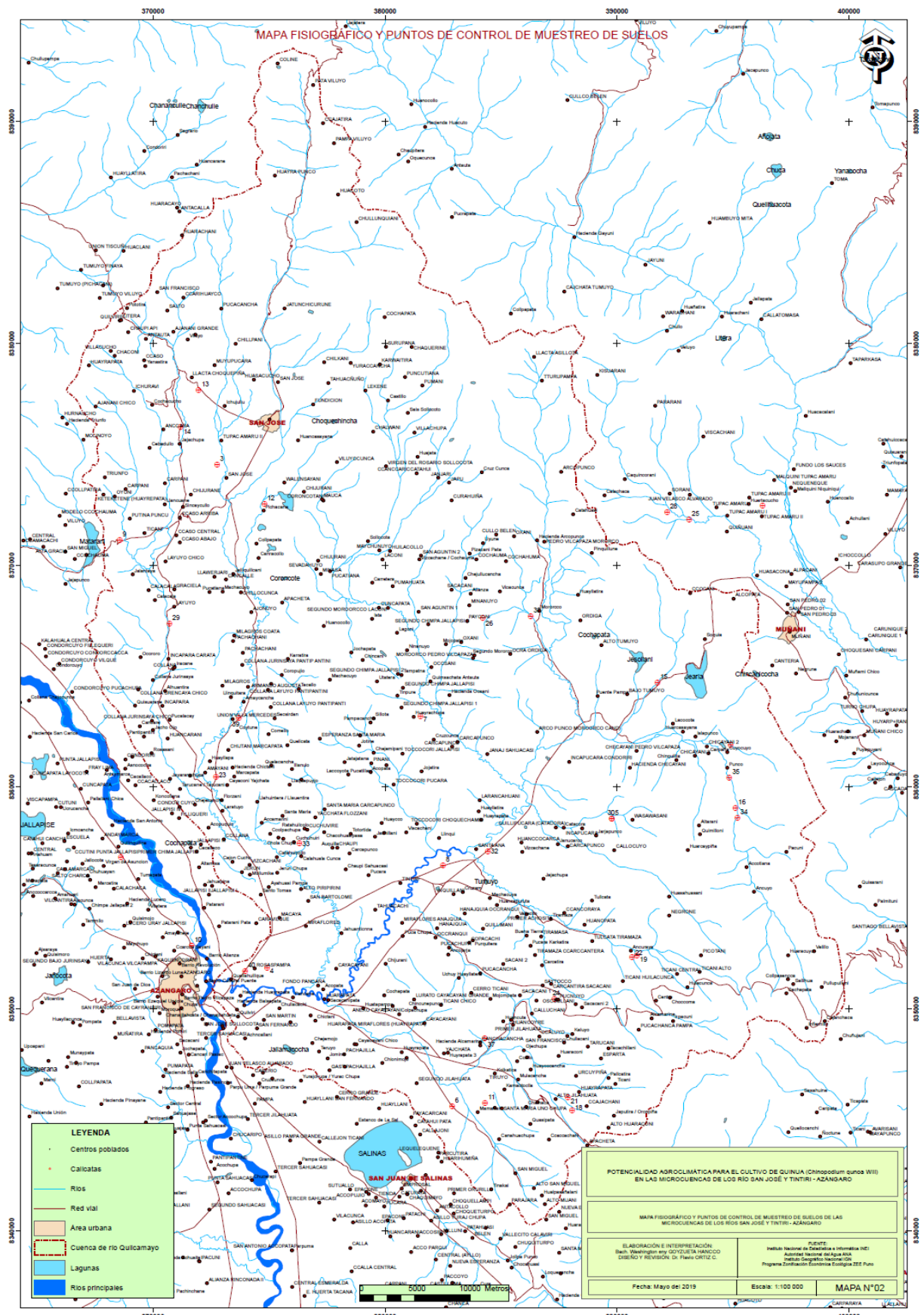
área a la derecha del valor crítico = 0,05

g.d.l	Grados de libertad del Numerador															g.d.l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,183	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,875	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,620	2,508	2,422	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,189	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120
Inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666	Inf.

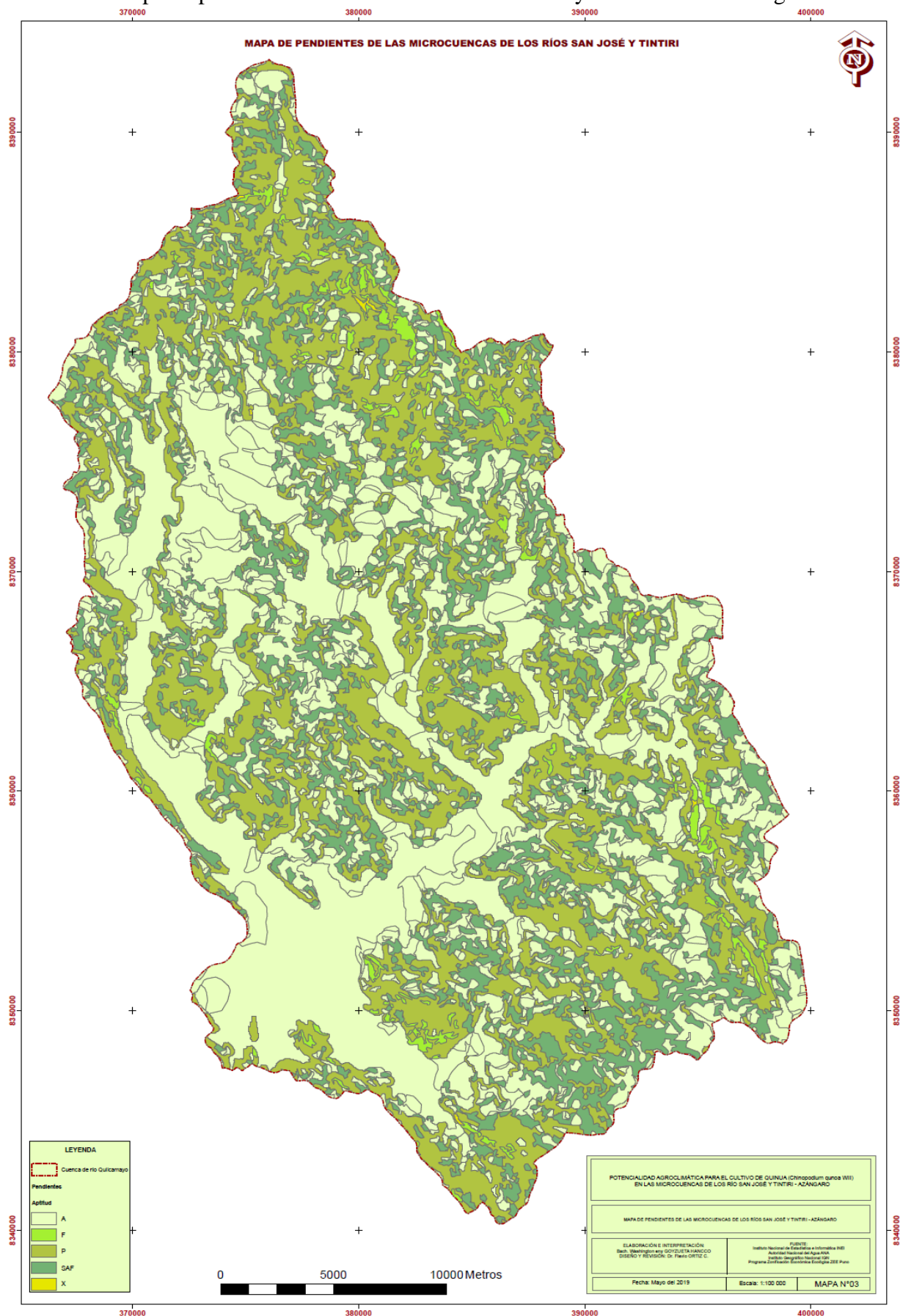
Anexo 12. Mapa Base de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro



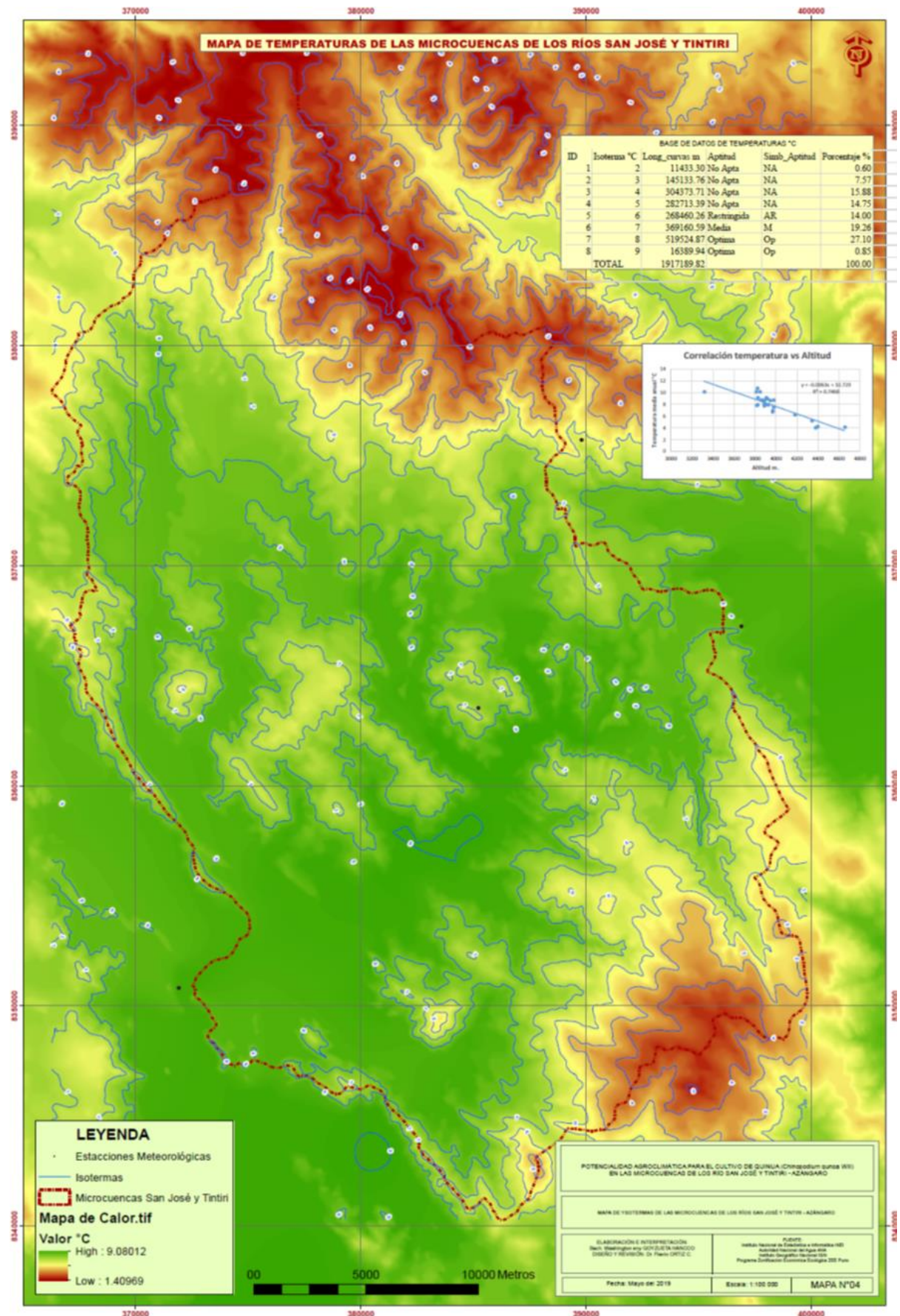
Anexo 13. Mapa Fisiográfico y puntos de control de muestreo de suelos



Anexo 14. Mapa de pendiente de microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro

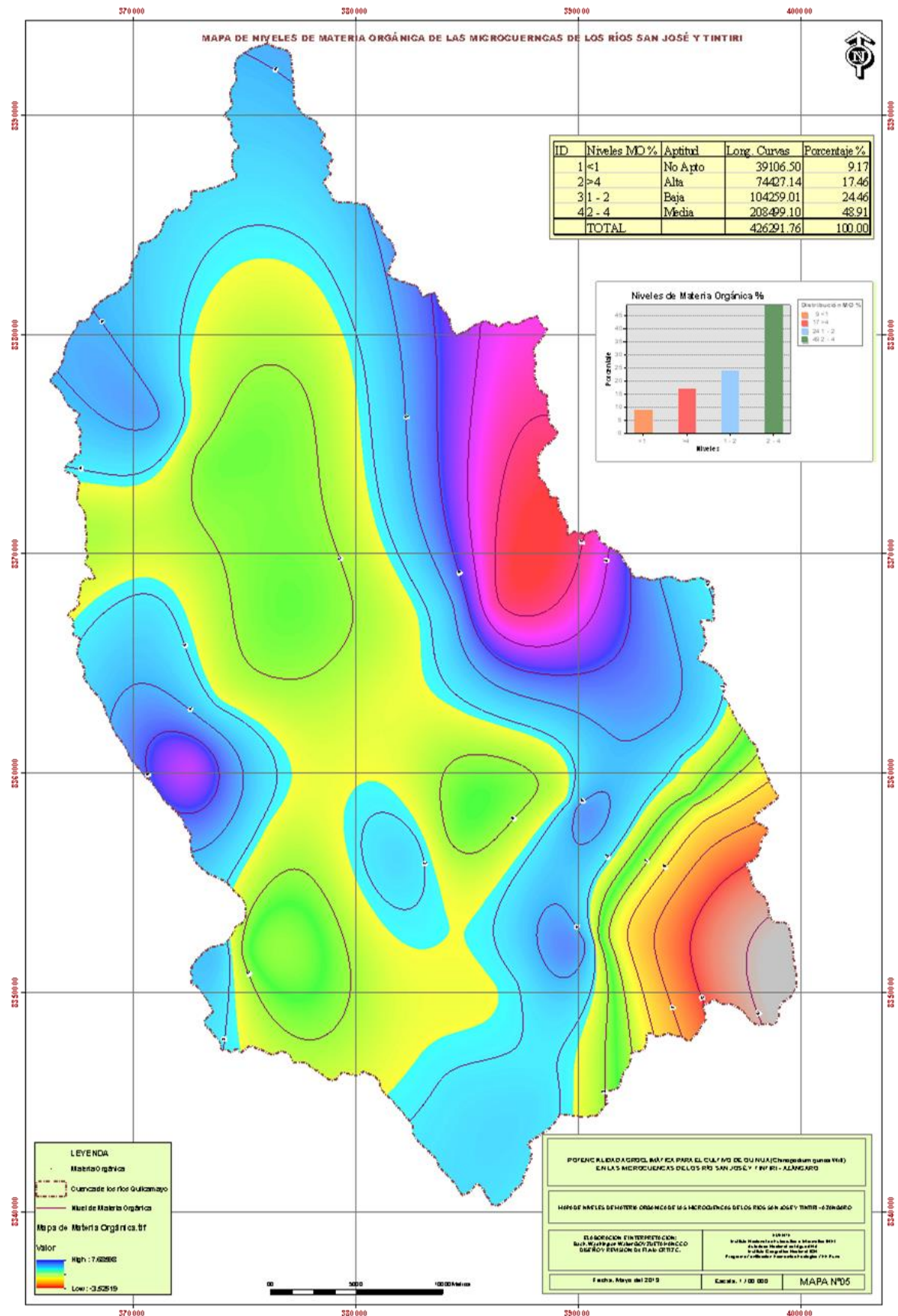


Anexo 15. Mapa de temperatura media anual de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro

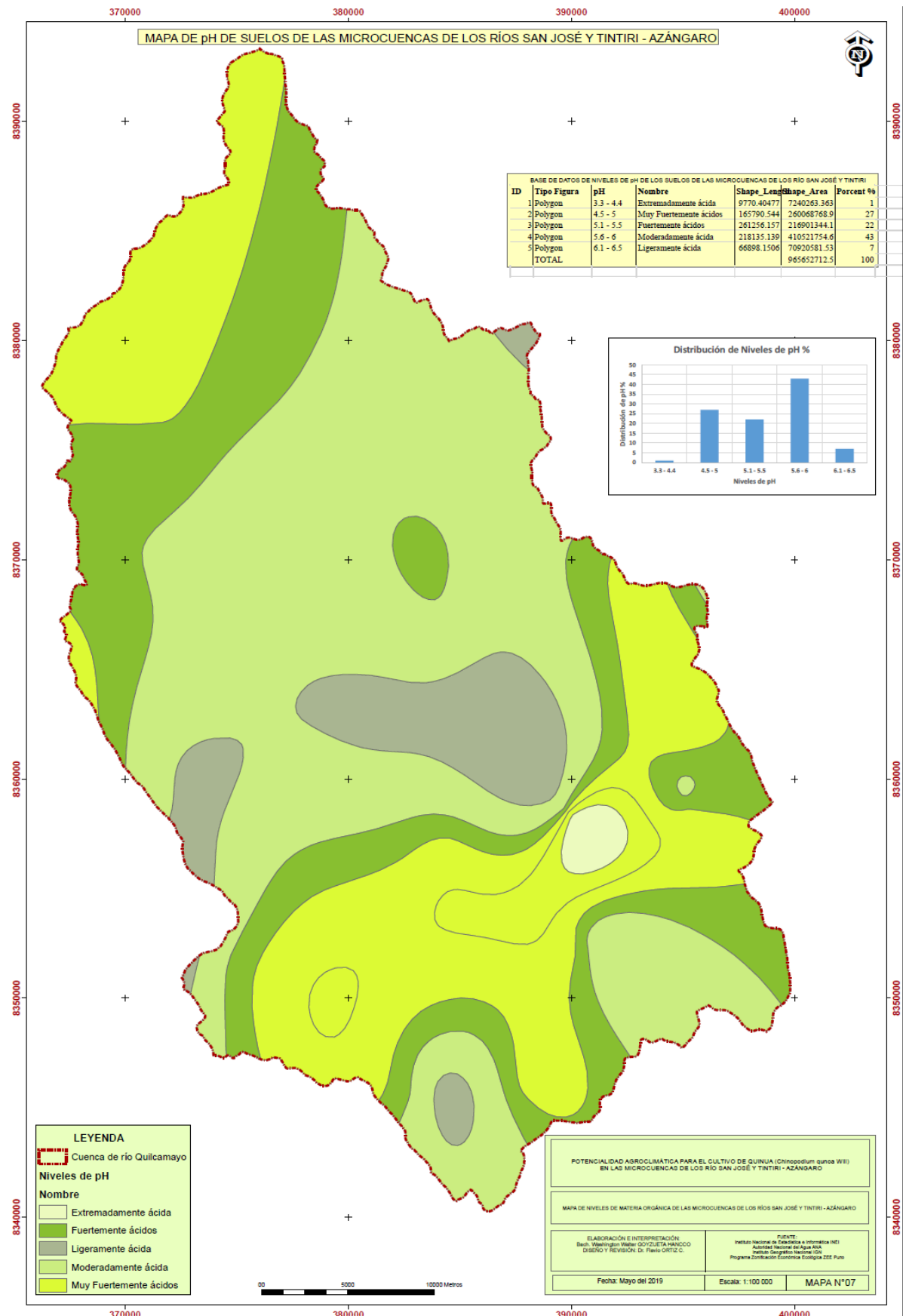




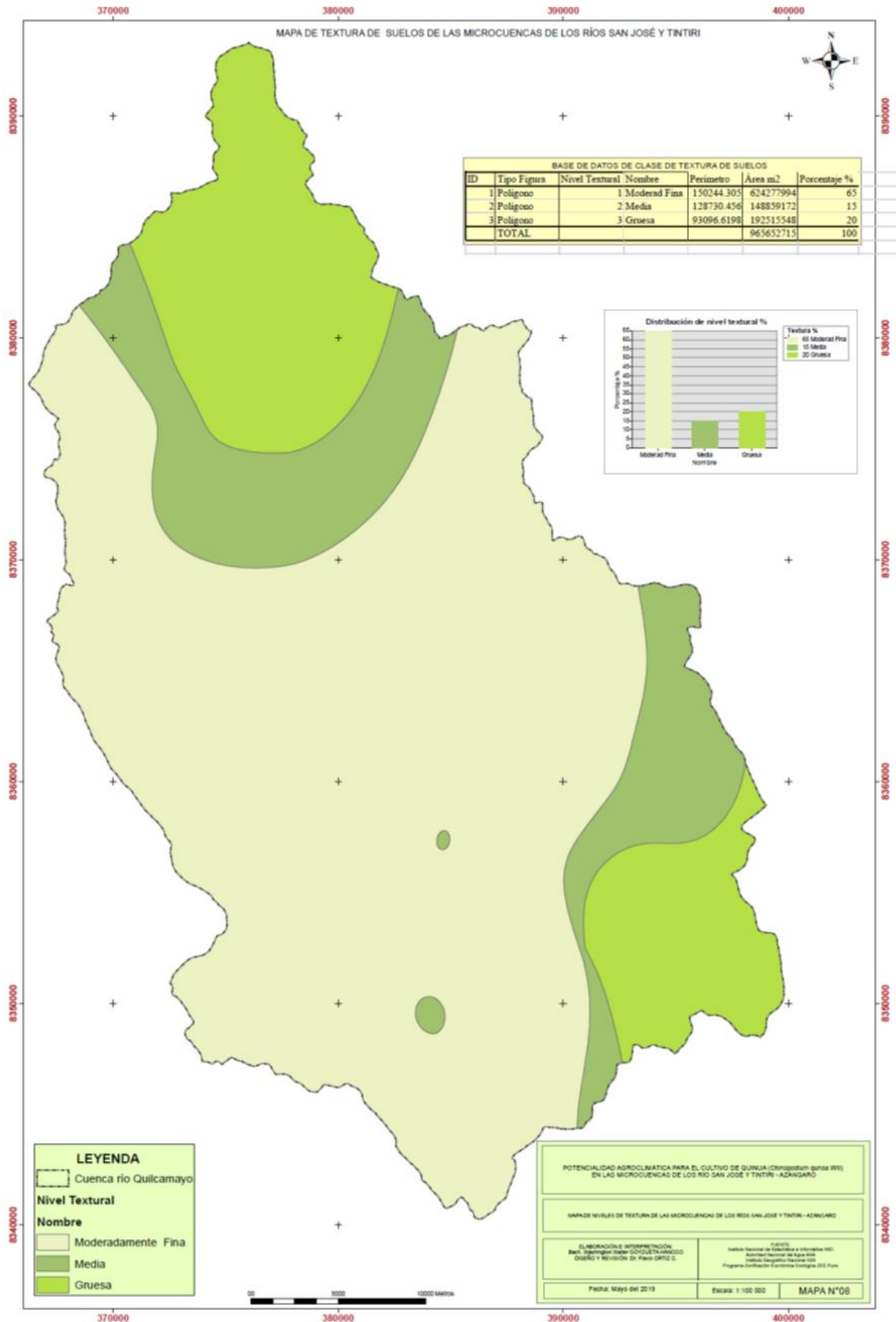
**Anexo 16.** Mapa de niveles de materia orgánica de los suelos de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro



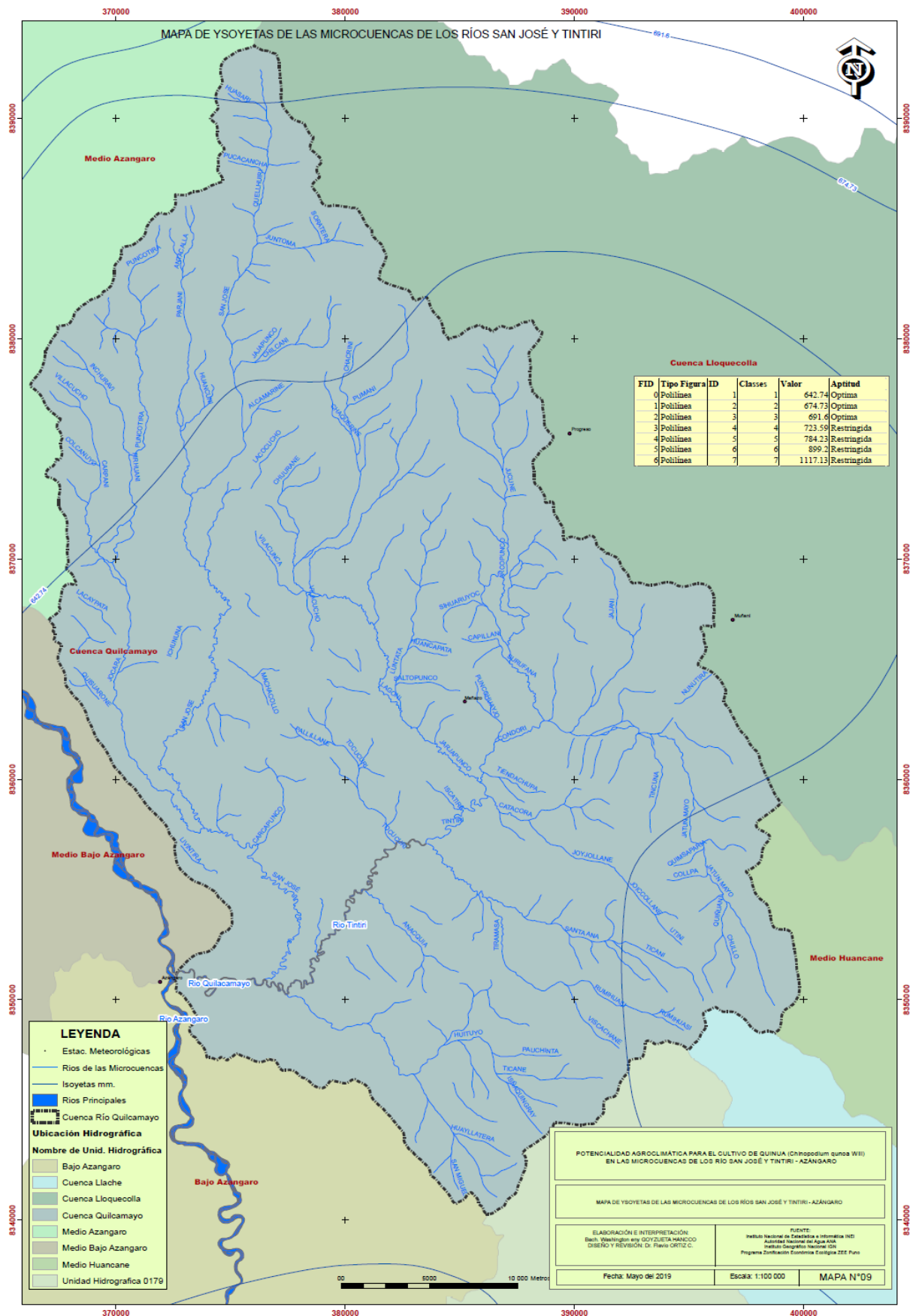
Anexo 17. Mapa de niveles de pH de los suelos de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro



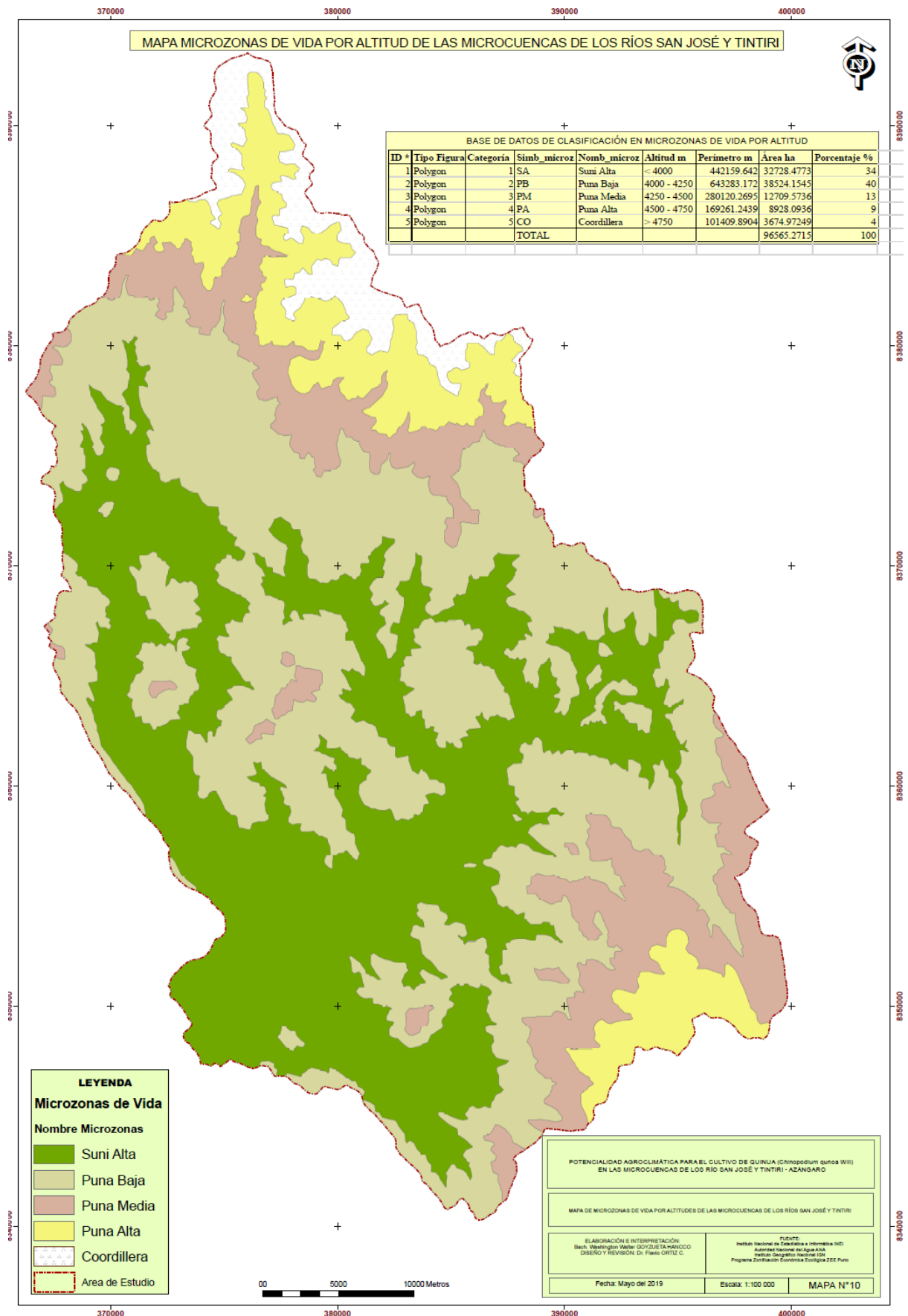
Anexo 18. Mapa de textura de suelos de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro



Anexo 19. Mapa de Isoyetas media anual de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro



Anexo 20. Mapa Microzonas de Vida de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro



Anexo 21. Mapa Modelamiento de aptitud Edafoclimática de las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro

