

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE EXPERIMENTACION

##### a) Localización de los experimentos

La investigación se llevó a cabo en dos localidades del valle de Cajamarca, ubicado en la sierra norte del Perú.

**Localidad 1 (UNC):** Ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), en un área experimental, contigua a los equipos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

**Localidad 2 (Tartar):** Fue ubicada en el Fundo Tartar, un centro de producción agrícola, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado en el Distrito de Baños del Inca, Provincia y Departamento de Cajamarca.

Ambas localidades están separadas por unos 5 km, en la planicie del valle de Cajamarca. Geográficamente este lugar se encuentra localizado en las Coordenadas 07°10' LS; 78°30' LW y a una altitud de 2 536 m. La precipitación media anual es de 643,80 mm, una temperatura media anual de 16,17°C y una humedad relativa media de 52%<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Datos climáticos proporcionados por SENAMHI.

## b) Condiciones climáticas

La zona de estudio, de acuerdo a **Landa et al (1978)**, y en base al Sistema de clasificación climática de Thornwaite, se identifica un Clima Subhúmedo y Templado. Presenta un período de estiaje real entre junio a setiembre, y sólo el mes de marzo tiene un balance hídrico positivo.

De acuerdo a la zonificación agroecológica propuesta por Alois Kholer y Herman Tillmann (1988) para la sierra de Cajamarca, el lugar de la experimentación pertenece a la zona agroecológica de Valle con Pastos Cultivados (**Becker et al,1989**).

Las condiciones climáticas durante la fase experimental se muestran en Tabla 3.1; asimismo, con la finalidad de relacionarlas dentro de un marco global de la zona, en Tabla 3.2 se presenta los datos climáticos de un período de 10 años.

Durante la etapa experimental, se tuvo condiciones climáticas inusuales para la zona. Según Tablas 3.1 y 3.2, se observa que el período total de la etapa experimental se ha caracterizado por ser más lluvioso (la precipitación se incrementó en 26,1 mm), respecto al período

**Tabla 3.1.** Temperatura, precipitación y humedad relativa registradas durante la etapa experimental. Estación Meteorológica de la Ciudad Universitaria. Cajamarca, 2001.

==Mes	Temperatura	Precipitación	H. Relativa (%)
-------	-------------	---------------	-----------------

	Máx.	Mín.	Media	(mm)	Máx.	Mín.	Media
Octubre'99	21,4	6,8	14,1	21,7	89	33	60
Noviembre'99		21,9	7,7	14,8	77,0	88	29
61							
Diciembre'99	20,8	9,4	15,1	68,8	91	38	68
Enero'2000	21,2	7,7	14,5	46,0	87	32	62
Febrero'2000	19,7	9,2	14,4	160,7	90	38	70
Marzo'2000	20,2	9,4	14,8	126,3	90	38	70
Abril'2000	20,6	9,0	14,1	77,3	92	39	71
Mayo'2000	21,0	7,6	14,0	40,5	93	35	69
Junio'2000	21,2	6,3	13,8	15,6	92	32	64
<b>Total</b>	<b>188</b>	<b>73,1</b>	<b>129,6</b>	<b>633,9</b>	<b>812</b>	<b>314</b>	<b>595</b>
<b>Media</b>	<b>20,89</b>	<b>8,12</b>	<b>14,44</b>		<b>90,2</b>	<b>34,9</b>	<b>66,1</b>
<b>Des. Estándar</b>	<b>0,66</b>	<b>1,17</b>	<b>0,44</b>		<b>1,99</b>	<b>3,55</b>	<b>4,34</b>

**Tabla 3.2.** Temperatura, precipitación y humedad relativa registradas para el período 1989-1995, por la Estación Meteorológica ADEFOR-Tartar. Cajamarca, 2001.

Mes	Temperatura			Precipitación (mm)	H. Relativa (%)		
	Máx.	Mín.	Media		Máx.	Mín.	Media
Octubre	21,3	7,9	14,6	64,7	85	30	57
Noviembre	21,8	7,3	14,5	66,7	84	27	56
Diciembre	22,1	7,4	14,7	75,0	85	30	57
Enero	20,6	8,2	14,4	76,2	88	36	62
Febrero	20,2	8,4	14,3	88,3	88	37	63
Marzo	20,4	9,0	14,7	124,3	88	37	63
Abril	20,9	8,5	14,7	68,4	87	38	63
Mayo	21,2	6,1	13,6	35,0	87	31	59
Junio	1,2	5,3	13,2	9,2	85	28	57
<b>Total</b>	<b>189,7</b>	<b>68,1</b>	<b>128,7</b>	<b>607,8</b>	<b>777</b>	<b>294</b>	<b>537</b>
<b>Media</b>	<b>21,1</b>	<b>7,6</b>	<b>14,3</b>		<b>86,3</b>	<b>32,7</b>	<b>59,7</b>
<b>Des. Estándar</b>	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>		<b>1,6</b>	<b>4,3</b>	<b>3,0</b>

Tabla elaborada en base al boletín meteorológico 1995, publicado por ADEFOR-Cajamarca.

normal de la zona. Además, en el mes de enero se tuvo escasa precipitación (sólo 46 mm, cuando en el período normal es 76,2 mm); y la ocurrencia de bajas temperaturas (heladas, los días 7, 8, 9, 16 y 17; con temperaturas de 1,7; 2,3; 5,6; 3,8 y 4,2 °C bajo cero, respectivamente, a 10 cm del suelo)<sup>9</sup>; lo cual, repercutió negativamente en el desarrollo del cultivo de kiwicha, pereciendo alrededor del 35% de su área foliar. Asimismo, debido a esta la escasa precipitación, los demás cultivos sufrieron un retraso en su desarrollo; lo cual, fue superado en el transcurso del experimento.

De otro lado, los meses de febrero, marzo y abril resultaron con una precipitación más alta al promedio; lo cual, produjo una excesiva humedad en el suelo que favoreció la germinación y desarrollo de malezas (especialmente en Tartar), y provocó pudriciones del sistema radicular en un grado significativo de haba y arveja; y, en menor grado de lenteja.

### c) **Características e Historia de los Campos Experimentales**

Las principales características de los campos experimentales muestran que son aptos para los cultivos de la investigación (Tabla 3.3). En ambas localidades, el suelo presenta niveles medios de materia orgánica, fósforo y nitrógeno y de un nivel alto para potasio; aunque cabe resaltar que el suelo de Tartar tiene un mayor contenido (en 1,2%) de materia orgánica; lo cual, le daría alguna ventaja en su capacidad productiva y retención de humedad. En la reacción del suelo, en UNC se tuvo un pH neutro; mientras que para Tartar fue medianamente ácido; condiciones que no presentarían restricciones para los cultivos de la investigación (**Landa et al,1978; y Estrada,1983**).

---

<sup>9</sup> Información Estación Meteorológica Ciudad Universitaria, Cajamarca, Perú.

**Tabla 3.3.** Resultado de análisis del suelo de campos experimentales. Cajamarca, 2001.

Localidad	P (ppm)	K (ppm)	pH	M.O. (%)	N (%)	Clase Textural
UNC	10,7	370	7,3	2,2	0,10	Suelo Arcilloso
2. Tartar	10,5	312	5,6	3,4	0,15	Suelo Franco arcilloso

===Tabla elaborada en base a resultados de Análisis realizado por el Laboratorio de Servicio de Suelos de la Estación Experimental Baños del Inca, del Instituto Nacional de Investigación Agraria. INIA.

En ambas localidades, el suelo ha sido utilizado desde alrededor de diez años atrás para cultivar diversas especies como: maíz asociado con frijol, arveja, haba, lenteja, kiwicha, quinua, hortalizas (repollo, zanahoria, betarraga) y trigo. No habiendo referencias para restricciones específicas; por lo cual, se espera que haya existido el inóculo natural de *Rhizobium* en el suelo.

### 3.2. INSUMOS, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS UTILIZADOS

#### a) Insumos

Se tiene las semillas de los cinco cultivos, tomándose variedades que son utilizadas por los agricultores de la zona, cuyas características principales son (INIA,2000):

- **Cultivo de quinua:** *Variedad Amarilla de Maranganí*, semiprecoz (alrededor de 150 días de período vegetativo), tolerante al Mildiu (*Peronospora farinosa* Fr.), de buen

rendimiento (alrededor de 1 200 kg/ha sin fertilización, en suelos de fertilidad media), grano grande (diámetro alrededor de 2,0 mm). Se empleó 0,75 gramos de semilla por metro lineal de siembra.

- **Cultivo de kiwicha:** *Variedad Noel Vietmeyer*, de alrededor de 160 días de período vegetativo, tolerante a las condiciones de exceso de humedad, de buen rendimiento (1 300 kg/ha sin fertilización, en suelos de fertilidad media), de porte alto, tolerante al acame. Se empleó 0,60 gramos de semilla por metro lineal de siembra.
- **Cultivo de Lenteja:** *Variedad INIA-402*, precoz (de alrededor de 130 días de período vegetativo), buen rendimiento (alrededor de 1 200 kg/ha sin fertilización y en suelos de fertilidad media), grano grande (diámetro de 4,0 a 5,0 mm). Se utilizó 2,5 gramos de semilla por metro lineal de siembra.
- **Cultivo de Haba:** *Cultivar "Patona"*, de alrededor de 150 días de período vegetativo para grano seco, de porte alto, tolerante al acame, grano grande. Rendimiento de alrededor de 900 kg/ha, sin fertilización y en suelos de fertilidad media. Se empleó 12 gramos de semilla por metro lineal de siembra.
- **Cultivo de Arveja:** *Variedad Usui*, de alrededor de 120 días de período vegetativo para grano seco. Porte alto, de hábito semierecto, buena capacidad de rendimiento (alrededor de 1 200 kg/ha de grano seco, sin fertilización en suelos de fertilidad media), tolerante a la Antracnosis (*Colletotrichum pisi*). Grano crema de tamaño medio

(diámetro de alrededor de 5 mm). Se utilizó 5 gramos de semilla por metro lineal de siembra.

**b) Material y equipo de gabinete**

- Claves Botánicas: para la identificación de especies de malezas o arvenses<sup>10</sup> que se presentaron en los cultivos.
- Estufa para la determinación de humedad de suelos y muestras vegetales.
- Balanza de precisión.

**c) Material y equipo de Campo**

- Herramientas: lampas, lampillas, palanas, picos, hoces, martillo, tijeras.
- Equipo de medición: regla de 2,5 m, winchas de 5,0 m y 50,0 m.
- Otros: estacas, bolsas de papel, bolsas de polietileno, vistas fotográficas, prensa, tablero de campo, libreta de campo, costales, costalillos, etc.

**c) Material y equipo de Escritorio**

- Computadora, calculadora, diskets, papel, bolígrafos, lápices, etc.

---

<sup>10</sup> Se utiliza este término para referirse a especies vegetales extrañas al cultivo.

### **3.3. METODOLOGIA**

#### **3.3.1. PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL**

##### **a) Diseño Experimental:**

Se utilizó el Diseño en Bloques Completos Randomizados con cuatro repeticiones en cada localidad (dos localidades).

##### **b) Tratamientos en estudio**

Se estudió dos sistemas de unicultivo y un sistema de diversificación: **i)** el sistema de unicultivo para quinua y kiwicha, es una recomendación técnica de los organismos de desarrollo agrario (Instituto Nacional de Investigación Agraria, Universidad Nacional de Cajamarca, Ministerio de Agricultura), y consiste en la siembra a chorro continuo en líneas o surcos distanciados a 0,70 m entre ellos; mientras que los unicultivos de lenteja, haba y arveja, son formas tradicionales de siembra de los productores; y se realizan depositando las semillas en líneas continuas distanciadas a 0,40 m (Figura .2); y, **ii)** el sistema diversificado es una propuesta que consiste en una siembra intercalada, al instalar los granos andinos (quinua o kiwicha), en hileras separadas a 0,80 m y entre ellas una línea de una leguminosa de grano (lenteja, haba o arveja) (Figura 3.2). Se tuvo once tratamientos en estudio, dispuestos experimentalmente como se indica en Tabla 3.4.

**Tabla 3.4.** Tratamientos en Estudio. Cajamarca, 2001.

Tratamientos	Randomización/N° parcela			
	Rep.I	Rep.II	Rep.III	Rep.IV
1. Quinoa unicultivo	108	210	311	408
2. Kiwicha unicultivo	107	211	308	406
3. Arveja unicultivo	105	203	307	409
4. Lenteja unicultivo	106	209	305	401
5. Haba unicultivo	101	207	303	405
6. Quinoa + lenteja	110	201	306	404
7. Quinoa + arveja	104	204	302	402
8. Kiwicha + lenteja	103	202	301	407
9. Kiwicha + arveja	109	208	310	410
10. Quinoa + haba	102	205	309	411
11. Kiwicha + haba	111	206	304	403

**c) Características y croquis del campo experimental para cada localidad**

**- Características del campo:**

Número de parcelas/repetición	: 11
Número total de parcelas	: 44
Número de tratamientos	: 11
Número de repeticiones	: 04
Ancho de calles	: 1,00 m
Largo de parcela (largo de línea)	: 3,20 m
Ancho de líneas en asociación	: 0,40 m
Ancho de líneas en unicultivo de leguminosas	: 0,40 m
Ancho de líneas en unicultivo de granos andinos	: 0,70 m
Area total	: 880 m <sup>2</sup>

**- Población de plantas a obtener a la cosecha:**

Número promedio plantas quinua	: 46,06 plantas/ metro lineal
Número promedio de plantas de kiwicha	: 45,53 plantas/metro lineal
Número promedio de plantas de lenteja	: 19,3 plantas/metro lineal
Número promedio de plantas de haba	: 5,53 plantas/metro lineal
Número promedio de plantas de arveja lineal	: 7,73 plantas/metro

c) **Croquis del Campo Experimental**

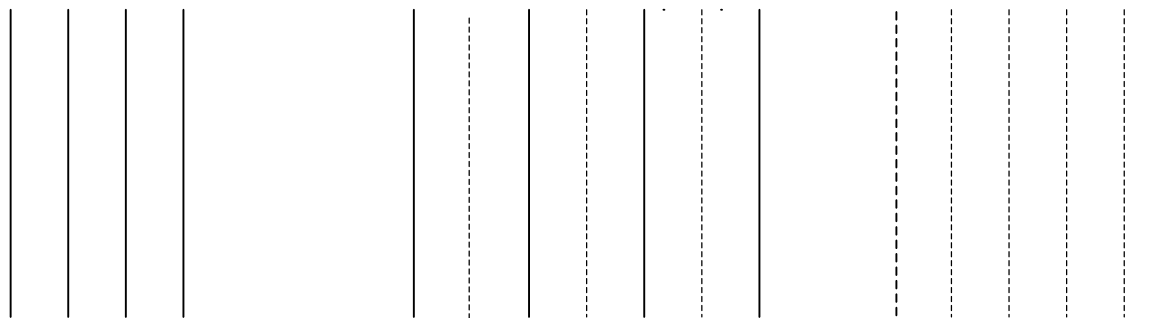
111 <b>T11</b>	110 <b>T6</b>	109 <b>T9</b>	108 <b>T1</b>	107 <b>T2</b>	106 <b>T4</b>	105 <b>T7</b>	104 <b>T3</b>	103 <b>T8</b>	102 <b>T10</b>	101 <b>T5</b>
201 <b>T6</b>	202 <b>T8</b>	203 <b>T3</b>	204 <b>T7</b>	205 <b>T10</b>	206 <b>T11</b>	207 <b>T5</b>	208 <b>T9</b>	209 <b>T4</b>	210 <b>T1</b>	211 <b>T2</b>
311 <b>T1</b>	310 <b>T9</b>	309 <b>T10</b>	308 <b>T2</b>	307 <b>T3</b>	306 <b>T6</b>	305 <b>T4</b>	304 <b>T11</b>	303 <b>T5</b>	302 <b>T7</b>	301 <b>T8</b>
401 <b>T4</b>	402 <b>T7</b>	403 <b>T11</b>	404 <b>T6</b>	405 <b>T5</b>	406 <b>T2</b>	407 <b>T8</b>	408 <b>T1</b>	409 <b>T3</b>	410 <b>T9</b>	411 <b>T10</b>

**Figura 3.1.** Disposición de parcelas experimentales. Cajamarca, 2001. (101, 102, ..., 411: parcelas experimentales; T1, T2, T3, ..., T11: Tratamientos).

*Granos andinos  
en unicultivo*

*Granos andinos  
en asociación con  
leguminosas*

*Leguminosas  
en unicultivo*



**Figura 3.2.** Disposición de hileras de siembra en las parcelas experimentales. Cajamarca, 2001. Línea continua: quinua o kiwicha; Línea discontinua: lenteja, haba o arveja.

### **3.3.2. FASE DE CAMPO**

#### **3.3.2.1. LABORES PREVIAS A LA INSTALACION DE LOS EXPERIMENTOS**

El terreno se preparó con yunta (arado de palo), en el mes de octubre de 1999. Se pasó una arada y una cruz para luego proceder al desterronado del suelo con herramientas manuales, quedando éste en condiciones apropiadas para la siembra de los cultivos. Para la siembra se realizó la apertura de las hileras mediante el uso de herramientas manuales.

#### **3.3.2.2. INSTALACION DE LOS EXPERIMENTOS**

La siembra de los experimentos se realizó al inicio de las lluvias, en la época que los agricultores realizan comúnmente esta práctica. Se sembró los días 20 y 24 de noviembre de 1999, en las localidades de Tartar y UNC, respectivamente.

#### **3.3.2.3. CONDUCCION DE LOS EXPERIMENTOS**

Los experimentos fueron conducidos en condiciones de secano (sin riego) Las variables no experimentales (época de siembra, variedades, labores culturales como deshierbos, aporques), fueron aplicadas a nivel del productor, con la finalidad de obtener información lo más cercana posible a las circunstancias de los productores de la zona.

Como labores culturales, se realizó dos deshierbos manuales: **i)** el primero, se llevó a cabo los días 4 y 8 de diciembre de 1999, en las localidades de Tartar y UNC, respectivamente. Se realizó manualmente utilizando herramientas para remover superficialmente el suelo, con la finalidad de eliminar las plántulas de malezas; y **ii)** el segundo deshierbo, se realizó después de las evaluaciones de presencia y biomasa de malezas; y se efectuó debido a que se tuvo una alta incidencia de ellas, especialmente en la localidad de Tartar, condición que fue favorecida por las frecuentes precipitaciones; en este caso, las malezas fueron extraídas de raíz los días 5 y 6 de marzo del 2000, en las localidades de Tartar y UNC, respectivamente.

La cosecha fue escalonada, de acuerdo a la maduración de los granos. Los cultivos de haba y arveja, fueron cosechadas en estado fresco, por cuanto, la ocurrencia de frecuentes y excesivas lluvias provocaba pudriciones radiculares de las plantas así como la pudrición de vainas y granos. La lenteja se cosechó al estado de grano seco. La cosecha (corte) de los cultivos de quinua y kiwicha se realizó cuando los granos estaban debidamente formados en las panojas. El cultivo de kiwicha, tuvo un alargamiento del período vegetativo, debido a que las heladas del mes de enero, provocó la muerte de alrededor del 35% de su follaje, provocando un rebrotamiento de las plantas que repercutió en un desarrollo y cosecha algo posterior a la esperada. El corte de los cultivos se culminó el 04 de junio del 2000.

### **3.3.2.4. EVALUACIONES**

#### **a) Evaluación de malezas**

##### **a.1. Presencia**

Se realizó los días 03 y 04 de marzo del 2000, en las localidades de Tartar y UNC, es decir a los 104 y 101 días de la siembra, respectivamente; cuando los cultivos estaban en etapa de floración e inicio de fructificación. Para el efecto, se utilizó un cuadrante de un metro cuadrado como unidad de medida. En cada metro cuadrado, se identificó las especies de malezas o arvenses presentes así como se contó el número de individuos de cada especie. Esta información, permite el cálculo de los Índices de Shanon y de Simpson, para medir la diversidad y redundancia de malezas, respectivamente.

Asimismo, se colectó los especímenes de malezas y con el uso de una prensa fueron disecadas; para luego montar el herbario que permitió su identificación botánica.

##### **a.2. Producción de Biomasa Aérea**

Después de realizar la evaluación de presencia de malezas en cada parcela experimental, se cortó estas plantas a la altura del cuello; luego se tomó su peso fresco, para después en función al porcentaje de materia seca, calcular la biomasa aérea de malezas.

## **b) Evaluación de Cultivos**

### **b.1. Altura de Planta y Longitud de Panoja en Quinua y Kiwicha**

La altura de planta de los cinco cultivos se tomó en la fase de madurez fisiológica, que se obtuvo al medir en centímetros desde el cuello hasta su ápice en forma erecta. Para quinua y kiwicha, además de tomar altura de planta, se midió la longitud de panoja. Para todos los casos, se tomó una muestra de 10 plantas de las líneas centrales de cada unidad experimental.

### **b.2. Producción de Biomasa Aérea de los Cultivos**

El lugar de muestreo fue de 2,5 m lineales centrales de una línea de siembra; tomando áreas diferentes para unicultivos y asociaciones, esto con la finalidad de facilitar la obtención de la muestra; de tal manera que las áreas correspondientes fueron:

- **Para las leguminosas** (lenteja, haba y arveja) en unicultivo se ha tomado un área de  $1,0 \text{ m}^2$  ( $2,5 \text{ m} * 0,40 \text{ m}$ ), mientras que cuando estaban en asociación fue de  $2,0 \text{ m}^2$  ( $2,5 \text{ m} * 0,80 \text{ m}$ ); y,
  
- **Para los granos andinos** (quinua y kiwicha), el área de muestreo fue de  $1,75$  ( $2,5 \text{ m} * 0,70 \text{ m}$ ), cuando estaban en unicultivo; y, de  $2,0 \text{ m}^2$  ( $2,5 \text{ m} * 0,80 \text{ m}$ ), cuando estaba en asociación.

El procedimiento consistió en cortar las plantas a la altura del cuello, al momento de la cosecha, luego se determinó el peso fresco para luego en función al porcentaje de materia seca, calcular la biomasa correspondiente a cada parcela experimental.

### **b.3. Rendimiento de Grano**

El área de muestreo se obtuvo al tomar 2,5 m lineales de las dos líneas centrales de cada parcela experimental. De tal manera, que para los cultivos de lenteja, haba y arveja se tuvo áreas de 2,0 y 4,0 m<sup>2</sup>, cuando estuvieron en unicultivo y asociación, respectivamente; mientras que para quinua y kiwicha, se tomó áreas de 3,50 y 4,0 m<sup>2</sup> cuando estuvieron en unicultivo y en asociación, respectivamente.

La evaluación de rendimiento de grano fue tomada en dos estados vegetativos:

- **En estado fresco (o grano verde)**, que fue para los cultivos de haba y arveja por cuanto las excesivas precipitaciones provocaban pudriciones de los granos de estas especies. Para esta evaluación se realizó una metodología modificada de la sugerida por **Lafitte (1989)**, para el cultivo de maíz<sup>11</sup>. La evaluación se realizó cuando los granos estaban en estado pastoso, y consistió en contar el número de vainas, y el número promedio de granos por vaina; para estimar el número de granos por planta,

---

<sup>11</sup> En muestras de campo de 10 m de longitud, se cuenta el número de mazorcas de maíz; luego se abre 6 mazorcas al azar, para contar el número de hileras y el número de granos por hilera, sin considerar los granos de la punta, cuyo tamaño es menor a la mitad de los granos de la parte central de la mazorca. Luego en base al promedio de número de granos por mazorca, de granos por muestra y por hectárea, se estima el rendimiento; para lo cual, es necesario conocer el número de granos por kg de la variedad a una humedad comercial de 14%.

por área de cosecha y luego calcular el rendimiento<sup>12</sup> como si se trataría de grano seco.

- **En grano seco**, que se realizó para los cultivos de quinua, kiwicha y lenteja; para los cuales, la obtención del rendimiento de grano fue después de trillar, limpiar y pesar la cosecha de cada muestra.

Para todos los cultivos, el rendimiento del grano se calcula a una humedad comercial de 14%, a fin de estimar la producción para el mercado.

Los datos de rendimiento de grano, han sido tomados para el cálculo de: **i)** Producción de nutrientes alimenticios (calorías); **ii)** Relación Equivalente de la Tierra (RET); **iii)** Relación Equivalente del Ingreso (REI); y, **iv)** Tasa Marginal de Retorno (TMR).

#### **b.4. Nodulación de las Leguminosas**

De las parcelas experimentales con leguminosas, se tomó 10 plantas al azar de la especie correspondiente. Con un trinche, se sacó las plantas con su parte radicular impregnada al pan de tierra; luego, se lavó cuidadosamente, para llevar a cabo el conteo de los nódulos efectivos, que se reconocían por tener un color rosado, debido a la presencia de hemoglobina en su estructura. **(Raven,1975)**.

---

<sup>12</sup> En promedio un kilogramo de haba tiene 903 granos; y, un kilogramo de arveja 3 512 granos.

## **c) Evaluación del Suelo**

### **c.1. Fijación de Nitrógeno**

Como indicador de la fijación del nitrógeno favorecida por la asociación de la especie leguminosa con la bacteria *Rhizobium*, se evaluó el contenido de nitrógeno total del suelo. Para el efecto, se realizó el muestreo del suelo de cada parcela experimental al final del período del cultivo. Para esto, se tomó un área rectangular de 0,5 m x 1,0 m, en la parte central de la parcela y en forma perpendicular al sentido de las hileras de siembra. En esta área se realizó una mezcla de los 25 cm superficiales de la capa arable del suelo, para luego, realizar la extracción de nueve submuestras (**Gómez,1996**), de las cuales se obtuvo la muestra respectiva. Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas para luego llevarlas al laboratorio de análisis de suelos.

Los resultados de nitrógeno de las muestras obtenidas después de la cosecha, son relacionadas al análisis previo realizado antes de la siembra de los cultivos (ver Tabla 3.3.); además, cabe mencionar que no se aplicó fuente alguna de nitrógeno al suelo.

### **c.2. Contenido de Humedad en el Suelo**

Se realizó en dos etapas: **i)** cuando los cultivos estaban en floración y **ii)** en maduración del grano. La evaluación dentro de una localidad, se realizó en una misma fecha y hora para todas las parcelas experimentales. Para la extracción de las muestras

de suelo se usó una palana y una espátula, alcanzando 25 cm de profundidad. Luego, cada muestra fue colocada en una bolsa plástica para llevarla al laboratorio.

### **3.3.3. FASE DE GABINETE Y DE LABORATORIO**

#### **3.3.3.1. IDENTIFICACION DE ESPECIES VEGETALES**

Se realizó en el Herbario de la Universidad Nacional de Cajamarca en base al uso de claves botánicas y textos de consulta.

#### **3.3.3.2. METODOS DE LABORATORIO**

Las muestras de suelos para fertilidad química han sido analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Estación Experimental Baños del Inca, del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). Los métodos utilizados han sido los siguientes:

- Análisis mecánico : método del Densímetro de Bouyoucos.
- pH : potenciometría; relación suelo-agua y KCl 1N; 1:2,5
- Calcáreo total : por neutralización ácida.
- Materia Orgánica : método de Walkey y Black  

$$\% \text{ M.O.} = \% \text{ C} \times 1,724$$
- Nitrógeno total : método del micro Kjeldahl.
- Fósforo : método de Olsen.
- Potasio : fotómetro de llama.
- Aluminio cambiante : extractor cloruro de potasio 1N.

Los análisis de materia seca para biomasa vegetal y de humedad del suelo, se realizaron en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Nacional de Cajamarca. Para la determinar materia seca de las especies vegetales, las

muestras se colocaron a estufa a 105°C durante 24 horas; mientras que para determinar la humedad del suelo se colocaron a 105°C durante 48 horas.

### 3.3.3.3. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

#### a) Evaluación de Malezas

##### a.1. Presencia de Malezas

Con la finalidad de estudiar el impacto de los tratamientos sobre la diversidad de malezas, los datos de su presencia sirven para calcular los Índices de Shannon y Simpson. El primero relaciona la riqueza específica y abundancia a través de la proporcionalidad del número de individuos de cada especie respecto al total de la muestra; mientras que el segundo, mide la redundancia de las especies. Estos índices se calcularon mediante las siguientes fórmulas (**Palazuelos, 2000**):

#### - Cálculo del Índice de Shannon (H):

$$H = - \left( \sum p_i \ln p_i \right) \quad ; \text{ en la cual : } \quad p_i = n_i / N$$

Donde:

- $n_i$  : número de individuos
- $N$  : número total de individuos
- $\ln p_i$  : Logaritmo natural de  $p_i$

- **Cálculo del Índice de Simpson (D):**

$$D = \text{Sumatoria } p_i^2 \quad ; \text{ en la cual: } p_i = n_i/N$$

Donde:

$n_i$  : número de individuos  
 $N$  : número total de individuos

Los valores de los Índices de Shannon y Simpson, fueron evaluados estadísticamente.

**a.2. Producción de Biomasa Aérea**

Se estima en kilogramos de materia seca por hectárea. Con los datos promedios por parcela se realizó los análisis estadísticos para determinar posibles diferencias entre las medias de los tratamientos.

**b) Evaluación de Cultivos**

**b.1. Altura de Planta y Longitud de Panoja de Quinoa y Kiwicha**

El cálculo se hace en centímetros, luego se realiza los análisis estadísticos a fin de determinar posibles diferencias entre las medias de los tratamientos.

**b.2. Producción de Biomasa Aérea**

El cálculo se hace en kilogramos de materia seca por hectárea, luego se realiza los análisis estadísticos para determinar posibles diferencias entre las medias de los tratamientos.

### b.3. Rendimiento de Grano

Se estima en kilogramos por hectárea de grano seco al 14% de humedad (humedad comercial), luego se realiza los análisis estadísticos para determinar posibles diferencias entre las medias de los tratamientos.

Los datos de rendimiento se traducen a productividad de calorías por hectárea para estimar la producción de nutrientes que se puede alcanzar con cada tratamiento. Para este caso, se tomó las siguientes equivalencias (**Instituto Nacional de Nutrición, 1986**):

100 g de quinua (parte comestible)	= 354 cal
100 g de kiwicha (parte comestible)	= 366 cal
100 g de lenteja (parte comestible)	= 331 cal
100 g de haba (parte comestible)	= 324 cal
100 g de arveja (parte comestible)	= 351 cal

Asimismo, con los datos de rendimiento de los cultivos se calcula la Relación Equivalente de la Tierra (RET), la Relación Equivalente del Ingreso (REI) y la Tasa Marginal de Retorno (TMR).

La RET, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{RET} = (\text{CA unicultivo} / \text{CA asociación}) + (\text{CB unicultivo} / \text{CB asociación})$$

Donde:

CA unicultivo : Rendimiento de cultivo A sembrado en unicultivo.

CA asociación : Rendimiento de cultivo A sembrado en asociación.

CB unicultivo : Rendimiento de cultivo B sembrado en unicultivo.

CB asociación : Rendimiento de cultivo B sembrado en asociación.

La REI se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{REI} = (\text{IA unicultivo} / \text{IA asociación}) + (\text{IB unicultivo} / \text{IB asociación})$$

Donde:

IA unicultivo : Ingreso o Ganancia de cultivo A sembrado en unicultivo.

IA asociación : Ingreso o Ganancia de cultivo A sembrado en asociación.

IB unicultivo : Ingreso o Ganancia de cultivo B sembrado en unicultivo.

IB asociación : Ingreso o Ganancia de cultivo B sembrado en asociación.

La TMR, se calcula mediante (CIMMYT, 1987):

$$\text{TMR}(\%) = (\text{Incremento Beneficios Netos} / \text{Incremento Costos que Varían}) * 100\%$$

#### **b.4. Nodulación de las Leguminosas**

Se cuenta el número de nódulos efectivos por planta de la leguminosa. Luego, para realizar el Análisis Estadístico (ANVA), estos datos son transformados por  $Y = (x+1)^{1/2}$ , a fin de determinar posibles diferencias entre las medias de los tratamientos (Tirado, 1994).

#### **c) Evaluación del suelo**

##### **c.1. Fijación de Nitrógeno**

Se compara los resultados del nitrógeno de las diferentes parcelas experimentales después de la cosecha, en referencia al análisis previo a la instalación del experimento, con la finalidad de inferir la posible fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas.

## c.2. Contenido de Humedad en el Suelo

Para determinar la humedad del suelo se pesaron las muestras húmedas, luego se secaron en la estufa a 105°C durante 48 horas. Según **Donahue et al. (1987)**, a esta temperatura el suelo mantiene la humedad a 10 000 bares. Después de obtener los datos del laboratorio, el contenido de humedad del suelo se calculó por medio de la siguiente ecuación (**Gavande,1979**):

$$(W_w - W_o)/W_o = \Theta_w; P_w = 100 \Theta_w$$

Donde:

- $\Theta_w$  = contenido de humedad con base en peso seco.
- $W_w$  = peso del suelo húmedo.
- $W_o$  = peso del suelo seco.
- $P_w$  = porcentaje de humedad con base en el peso seco del suelo.

Con los datos de las parcelas experimentales, se realiza los análisis estadísticos respectivos a fin determinar posibles diferencias entre las medias de los tratamientos.

Los datos cuantitativos son objeto de análisis estadístico, por medio del análisis de la variancia (ANVA), para determinar la significación estadística entre los tratamientos en estudio. Asimismo, se ha realizado la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al nivel de 0,05. Para el efecto se ha empleado el paquete estadístico S.A.S. (Statistical Analysis System) (**Tirado,1994**).