

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y VALOR NUTRITIVO DE AVENA
(*Avena sativa*) BAJO CONDICIONES DE RESTRICCIÓN DE LLUVIA
EN LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ”**

Presentada por:

SHEYLA JOHANNA SHUMYKO ARANGO QUISPE

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

Lima - Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN

**“EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y VALOR NUTRITIVO DE AVENA
(*Avena sativa*) BAJO CONDICIONES DE RESTRICCIÓN DE LLUVIA
EN LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

SHEYLA JOHANNA SHUMYKO ARANGO QUISPE

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg. Sc. Víctor Vergara Rubín

PRESIDENTE

Ph. D. Carlos Gómez Bravo

ASESOR

Ph. D. Mariano Echevarría Rojas

MIEMBRO

Mg. Sc. Víctor Hidalgo Lozano

MIEMBRO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor de tesis, Ph. D. Carlos Gómez Bravo, y a mis profesores y miembros de jurado, Mg. Sc. Víctor Hidalgo Lozano, Mg. Sc. Víctor Vergara Rubín y Ph. D. Mariano Echevarría Rojas, por las recomendaciones y sugerencias brindadas.

Al CONCYTEC y el PNIA por el financiamiento otorgado para el desarrollo de este estudio.

Al Ing. Mario Viera, Ing. Carlos García, Ing. Ciria Noli, Mg. Sc. Jorge Gamarra y al equipo del Laboratorio de Nutrición de Rumiantes por el apoyo brindado en la etapa de campo y de laboratorio.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LA LITERATURA	2
	2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA EN LA ZONA ANDINA.....	2
	2.2 EL CULTIVO DE LA AVENA FORRAJERA.....	4
	2.3 ESTRÉS HÍDRICO EN AVENA	7
	2.4 VALOR NUTRITIVO DE LA AVENA	10
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	12
	3.1 LOCALIZACIÓN.....	12
	3.2 GENOTIPOS DE AVENA	12
	3.3 TRATAMIENTOS.....	13
	3.4 INSTALACIONES Y MANEJO DEL CULTIVO.....	14
	3.5 VARIABLES EVALUADAS	16
	3.5.1 Características agronómicas.....	16
	3.5.2 Valor nutritivo	17
	3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
	4.1 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.....	19
	4.1.1 Altura de planta.....	19
	4.1.2 Rendimiento de materia seca	21
	4.2 VALOR NUTRITIVO	23
	4.2.1 Composición química	23
	4.2.1.a Proteína cruda	23
	4.2.1.b Fibra detergente neutro	24
	4.2.2 Digestibilidad <i>in vitro</i> aparente de la materia orgánica	26

V.	CONCLUSIONES.....	28
VI.	RECOMENDACIONES	29
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
VIII.	ANEXOS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Superficie sembrada de avena forrajera en el Perú	6
Tabla 2 : Descripción de los ocho genotipos de avena.....	13
Tabla 3: Resultados de altura de planta (cm)	19
Tabla 4: Resultados de rendimiento (tn MS/ha)	21
Tabla 5: Estadio fenológico de la avena al momento de corte.....	23
Tabla 6: Resultados de proteína cruda en base seca (%)	24
Tabla 7: Resultados de fibra detergente neutro en base seca (%).....	25
Tabla 8: Resultados de digestibilidad <i>in vitro</i> aparente de la materia orgánica en base seca (%)	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Áreas de cultivo y cobertura natural afectados y perdidos, según tipo de fenómeno, periodo 2003-2013 del departamento de Junín (en hectáreas)	3
Figura 2: Fases fenológicas de la avena	5
Figura 3: Distribución de las unidades experimentales en el campo.....	14
Figura 4: Diseño de interceptores de lluvia	16

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de suelo: caracterización.....	36
ANEXO 2: Datos utilizados para los análisis de variancia	37
ANEXO 3: Análisis de variancia para la altura de planta.....	39
ANEXO 4: Análisis de variancia para rendimiento de materia seca	39
ANEXO 5: Análisis de variancia para proteína cruda	40
ANEXO 6: Análisis de variancia para fibra detergente neutro	40
ANEXO 7: Análisis de variancia para digestibilidad <i>in vitro</i> aparente de la materia orgánica	41

RESUMEN

La escasez de agua provocada por el cambio climático afecta el desarrollo de la avena forrajera en la Sierra Central del Perú. Los estudios que simulen escenarios futuros de sequía son importantes debido a que este recurso comienza a ser cada vez más escaso y es por ello la necesidad de identificar los genotipos de *Avena sativa* resistentes a la sequía que mantengan rendimientos y calidad aceptables. El objetivo general de este estudio fue caracterizar de manera agronómica y en base a su valor nutritivo ocho genotipos de avena en respuesta a la restricción de lluvia. El presente estudio se realizó en Apata, departamento de Junín, donde se evaluaron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial ocho genotipos de avena forrajera (INIA901 Mantaro 15, INIA902 Africana, INIA903 Tayco, Junin-Jauja blanca, Centenario, Junin-Tarma negra, Junín-Jauja negra y Cayuse) con 0 y 60 por ciento de restricción de lluvia y 3 repeticiones. Se tuvieron 48 unidades experimentales (parcela de 4.8 metros cuadrados), donde el 60% de restricción de lluvia se logró mediante la colocación de techos con canaletas de acrílico sobre una parcela. Se encontró a una confianza del 95% que no existe interacción entre los genotipos de avena y el porcentaje de restricción de lluvia; además, que la restricción de lluvia afecta significativamente el rendimiento disminuyéndolo y al porcentaje de proteína cruda aumentándolo. La altura de planta es una característica propia de cada genotipo de la avena ya que hay diferencias significativas entre ellas pero no se ve afectada significativamente por la restricción de lluvia. No se encontró un efecto significativo de la restricción de agua en los otros parámetros como la fibra detergente neutro y la digestibilidad *in vitro* aparente de la materia orgánica. Los genotipos que mejor resisten la sequía son la Junín-Jauja negra, procedente de Junín y la Centenario.

Palabras claves: avena, estrés hídrico, resistencia a sequía

ABSTRACT

The scarcity of water caused by climate change affects the development of oat forage in the Peruvian highlands. Studies that simulate future drought scenarios are important because this resource is becoming increasingly scarce and that is why it is necessary to identify drought-resistant *Avena sativa* genotypes that maintain acceptable yields and nutritional quality. The general objective of this study was to characterize eight oat genotypes under rainfall restriction based on their agronomic characteristics and their nutritive value. This study was conducted in Apata, Junin where eight genotypes of forage oats (INIA901 Mantaro 15, INIA902 Africana, INIA903 Tayco, Junin-Jauja white, Centenario, Junin-Tarma dark, Junin-Jauja dark y Cayuse) under 0 and 60 percent rainfall restriction with 3 replicates each were evaluated in a completely randomized design with factorial arrangement. There were 48 experimental units (4.8 square meters) and the 60% of rainfall restriction was set up by putting a rain out shelter on the field. A 95% confidence test found the nonexistence of interaction between oat genotypes and the percentage of rainfall restriction. In addition, rainfall restriction decreases yield and increases the percentage of protein significantly. Plant height is a characteristic that belongs to the genotype because there were significant differences between them but this characteristic is not affected by the rainfall restriction itself. There was not found any significant effect among the other parameters such as neutral detergent fiber and aparent *in vitro* organic matter digestibility. The two genotypes with the best drought resistance were Junin-Jauja dark and Centenario.

Key words: oat, water stress, drought resistance.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático afecta a la agricultura, donde uno de los factores predominantes es la escasez de agua o sequía. Los meses de lluvia en la Sierra del Perú ya no son los mismos, la cantidad y uniformidad de las precipitaciones van disminuyendo con el paso de los años. Es esta escasez de agua un efecto negativo del cambio climático que afecta el desarrollo de especies forrajeras como la avena, que es alimento para el ganado de pequeños productores de la Sierra Central del Perú.

En los últimos años, la avena forrajera ha aumentado sus hectáreas de cultivo en la Sierra debido a su alto rendimiento en biomasa y buena composición nutricional. Instituciones como el INIA han contribuido con ello logrando mejorar ciertas características agronómicas de la avena, obteniendo así distintas accesiones o genotipos de este forraje que han sido distribuidas y bien aceptadas por los productores de toda la Sierra Central que confían y conocen que la calidad nutricional de la avena forrajera es esencial para la buena alimentación de sus animales. A pesar de ello, ni los atributos nutricionales de la avena forrajera ni su respuesta a medio ambientes con poca disposición de agua han sido considerados en la continua mejora de esta especie.

Por todo lo mencionado, se considera de importancia identificar los genotipos de avena que posean una mejor respuesta, tanto agronómica como nutricional, ante este inminente cambio. Sumado a eso, la falta de investigaciones que buscan conocer el comportamiento agronómico y el cambio en la composición química de la avena forrajera frente a situaciones de sequía hacen necesario este estudio que tiene como objetivo caracterizar agronómicamente y por su valor nutritivo a ocho genotipos de avena en respuesta a la restricción de lluvia.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA EN LA ZONA ANDINA

La agricultura es altamente sensible a eventos extremos y cambios en el clima. Los efectos del cambio climático han ido incrementándose en los últimos años generando impactos en el sector agropecuario. Los impactos del cambio climático en la agricultura se traducen en disminución de la floración y fructificación, pérdidas de tierras agrícolas por derrumbes, aparición de plagas y enfermedades en los cultivos, disminución de la producción de cultivos de zonas templadas por la falta de acumulación de horas de frío y aumentos de la temperatura mínima, el incremento de la temperatura del aire puede traducirse en la ampliación de cultivos a mayores altitudes aunque acompañada de migración de plagas y enfermedades de los cultivos a pisos ecológicos de mayor altitud y por último en cambios en las precipitaciones (MINAGRI sf).

Al evaluar los efectos del cambio climático en el departamento de Junín durante los últimos 45 años, se tiene que la precipitación y la temperatura han tenido marcadas variaciones. La precipitación tuvo una disminución en la tasa promedio de 3.9 mm/día/año, su intensidad diaria se redujo 1.3 mm, así como los días muy lluviosos y extremadamente lluviosos presentan un decremento en sus tendencias. En general, las precipitaciones en el departamento de Junín presentan ligeras tendencias negativas a nivel anual, esta tendencia es de hasta -10.3 por ciento para la estación otoño, -7.6 por ciento/década en primavera, -5.1 por ciento/década en el verano y -6.6 por ciento para el periodo de lluvias (septiembre a abril). Por el contrario, la temperatura tiene una tendencia positiva en intensidad máxima diaria, los días fríos están paulatinamente disminuyendo, los días con noches frías también están disminuyendo y con ello aumentan el número de noches cálidas y las heladas disminuyeron a razón de 0.52 días/año (Gobierno regional de Junín 2014).

Los productores agropecuarios del Valle del Mantaro en concordancia a sus experiencias, percepciones, vivencias cotidianas y apreciaciones opinaron como resultado de la evaluación del rendimiento de sus productos que el cambio climático afecta negativamente

a sus cultivos como consecuencia de la granizada, la helada, enfermedades, plagas, vientos, malezas y la variación de temperatura (Tello 2015). En noviembre del año 2016, la Dirección Regional de Agricultura (DRA) de Junín reportó que las heladas inusuales y sequía que se presentaron en esa época en el valle del Mantaro causaron pérdidas económicas que ascendieron a 55 millones de soles (Andina 2016). Luego, en diciembre del 2018, los agricultores de la región Junín nuevamente se vieron afectados por las heladas y sequía, lo que en algunos casos generó la pérdida total de sus cultivos (Correo 2018b). Todo esto se ve reflejado en las áreas de cultivo y cobertura natural que han sido afectadas por el cambio climático (Figura 1), donde la sequía es el tercer factor por el que se pierden terrenos de cultivo (Gobierno regional de Junín 2014).

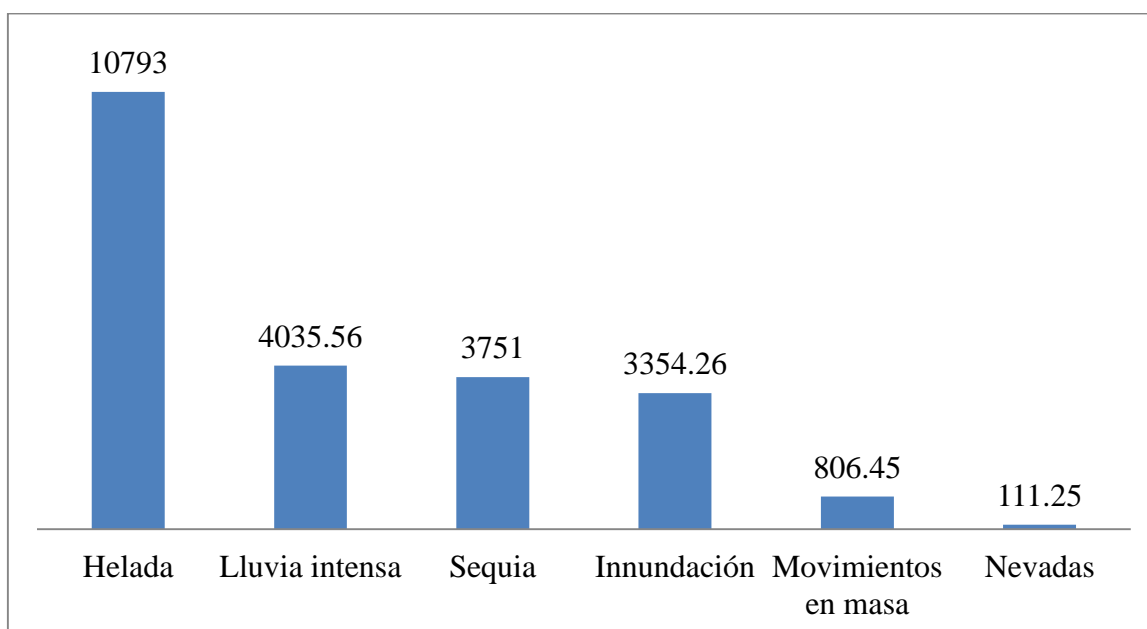


Figura 1: Áreas de cultivo y cobertura natural afectados y perdidos, según tipo de fenómeno, periodo 2003-2013 del departamento de Junín (en hectáreas)

Fuente: Gobierno regional de Junín (2014)

Entre los años 2000 y 2010 se reportaron a nivel nacional 163 eventos de sequías. Consecuencias de la sequía son la pérdida de cultivos, mortandad pecuaria, proliferación de plagas y enfermedades. Ello afecta principalmente a los pequeños productores agrarios, así como a las poblaciones urbanas y la producción de energía eléctrica. Los daños de las sequías inciden fundamentalmente en la agricultura, provocando pérdidas económicas mayores en las áreas dependientes directamente de la lluvia (agricultura de secano). En la sierra, ubicada mayormente en la vertiente del Atlántico, aproximadamente el 95 por ciento

de la tierras de cultivo son en secano (1'200,000 ha). Los períodos críticos afectan en forma inmediata a la producción agropecuaria, impactando severamente la economía de la población. Los rendimientos de las cosechas disminuyen y cuando se presentan periodos largos con deficiencias del 20 por ciento y período cortos con 30 por ciento, las cosechas se pierden totalmente debido a que los cultivos en su mayoría son cultivos alimenticios de raíz pequeña. En los últimos años se han desarrollado esfuerzos para prevenir la sequía en el Perú y se cuenta con el “Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Agrario 2005-2015” (Plan GRACC), que incluyen mapas de vulnerabilidad, peligro y riesgo de sequía a nivel nacional, y el “Plan de Prevención ante la presencia de fenómenos naturales por inundaciones, deslizamientos, huaycos y sequías” (Soto y Del Castillo 2013).

Los efectos que el cambio climático produce en la agricultura se encuentran estrechamente relacionados con la ganadería, debido a que alteran la producción de alimento para los animales. La disminución de la producción de cultivos, las variaciones en las precipitaciones y temperatura, además de la pérdida de áreas de cultivo que ya han sido señalados, son los causantes de la disminución de la oferta de alimento para consumo animal afectando negativamente a la ganadería. Es así como, en el año 2017, el departamento de Junín fue declarado en crisis por sequía lo que trajo como consecuencia la disminución del 20 por ciento de la producción de leche debido a la falta de pasto para la alimentación del ganado (Correo 2017). Los ganaderos muestran su preocupación mencionando que no solo las bajas temperaturas afectan a sus animales, sino, que durante el día los pastos se secan por la falta de agua lo que resulta difícil de afrontar (Correo 2018a).

2.2 EL CULTIVO DE LA AVENA FORRAJERA

La *Avena sativa* es un cereal forrajero perteneciente a la familia Poaceae. Es reconocida ya que es una de las especies de forraje C3 más cultivadas a nivel mundial, así como su grano que es tan nutritivo como palatable. Posee raíces voluminosas y produce de 7 a 20 tallos, alcanzando una altura de 1.2 a 2 metros. Contiene una buena cantidad de proteína cruda, nutrientes digestibles totales (NDT), vitamina B₁, minerales y grasa. Su alto rendimiento en biomasa y buen contenido nutricional ha generado que los ganaderos de la Sierra Central del Perú utilicen técnicas de conservación de forraje, como el henificado, para obtener alimento para el ganado durante la época seca (Noli *et al.* 2017).

El desarrollo fenológico de la avena se describe en la Figura 2. La época de siembra para la producción de forraje es entre octubre a diciembre y el momento de cosecha para este mismo fin es en el estadio fenológico de grano lechoso, ya que es ahí donde se obtienen mayores rendimientos (Montoya 2017). Durante este estadio la planta se encuentra iniciando la formación de granos, los cuales al ser presionados eliminan un fluido blanco hacia el exterior (SENAMIH sf).

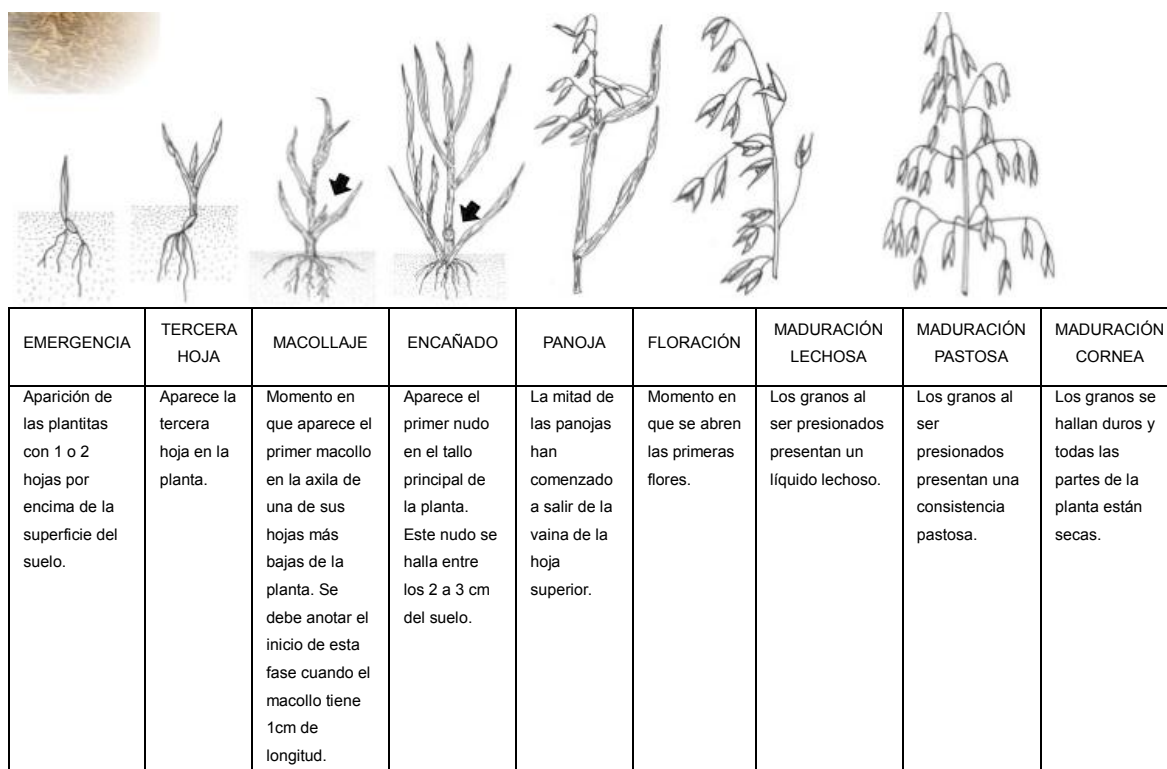


Figura 2: Fases fenológicas de la avena

Fuente: SENAMIH (sf)

La avena se adapta a las condiciones agroclimáticas de la Sierra Central y de la Sierra del Perú en general, a altitudes que varían de 3200 hasta los 4200 m.s.n.m. cuando se cultiva para la producción de forraje verde. En condiciones de secano, requiere una precipitación pluvial anual de 400 a 600 mm y no tolera la sequía (Mamani y Cotacallapa 2018). El suelo favorable debe ser profundo y de textura franco arcilloso o franco arenoso con una preparación del terreno a base de araduras cruzadas y rastras cruzadas con el fin de mullir bien el suelo. La cantidad de semilla recomendada para la producción de forraje es de 70 a 80 kg por hectárea (Noli *et al.* 2017).

La superficie sembrada de avena forrajera en el Perú ha ido aumentando en los últimos cinco años según los reportes del Sistema Integrado de Estadística Agraria (Tabla 1), siendo 77.8 miles de hectáreas en el periodo de los años 2013-2014 y de 98.3 para el periodo 2017-2018 (SIEA 2017). Según el MINAGRI, en la campaña entre agosto del 2015 y julio del 2016 se sembraron 77.9 miles de hectáreas de avena forrajera en el Perú siendo Puno la región de mayor área de siembra con 65.0 miles de hectáreas para este mismo periodo. También se reporta que los meses de mayor siembra son noviembre y diciembre, con 31.6 y 35.9 miles de hectáreas respectivamente. Además, la producción de avena forrajera en el año 2015 fue de 1901.8 miles de toneladas, mayor a los 1441.9 miles de toneladas del año 2012 (MINAGRI 2016). Estos índices evidencian que la avena forrajera es uno de los cultivos de gran importancia en nuestro país, y sumado a ello se considera que es uno de los 27 cultivos más sensibles al cambio climático en el Perú ya que reporta grandes pérdidas durante las últimas doce campañas agrícolas debido a este fenómeno global (MINAGRI sf).

Tabla 1: Superficie sembrada de avena forrajera en el Perú

Año	Miles de hectáreas
2013 - 2014	77.8
2014 - 2015	78.2
2015 - 2016	77.9
2016 - 2017	85.8
2017 - 2018	98.3

Fuente: SIEA (2017)

El rendimiento de la avena forrajera es muy variable, pues depende de varios factores como el clima, terreno, variedad, sistema de cultivo, etc. Los rendimientos promedios para agricultores están alrededor de los 4.5 tm/ha (Palomino 1995). Se han realizado diversos estudios donde se ha cosechado la avena en el estadio fenológico de grano leche y se han obtenido diferentes resultados en cuanto al rendimiento forrajero. El primero obtuvo resultados de 19.1 tm/ha (Enciso 1998), otro estudio realizado con varios genotipos de *Avena sativa* arrojó valores de 30040, 29971 y 27979 kg MS/ha para la *A. sativa* línea promisorio INIA Santa Ana, *A. sativa* línea promisorio INIA 2000 y *A. sativa* “Local” respectivamente (Noli *et al.* 2008). Asimismo, en las comunidades de Chalhuan y

Sallahuanchac, Junín, a una altitud de 3800 m.s.n.m. se reportaron rendimientos forrajeros de 5300, 5700, 6000 kg MS/ha para *A. sativa* local, *A. sativa* línea promisorio INIA 2000, *A. sativa* línea promisorio “INIA Santa Ana” y *A. sativa* INIA 901 Mantaro 15 respectivamente (Bartl *et al.* 2007). Por otro lado, en la sierra central del Perú, a una altitud de 3600 m.s.n.m., se obtuvo un rendimiento para *A. sativa* INIA 901 Mantaro 15 de 19100 kg MS/ha (Enciso 1998). Por último, en un estudio realizado en cinco provincias del departamento de Puno que se encuentran a una altitud entre los 3812 y 4000 m.s.n.m. durante la campaña agrícola de los años 2015 y 2016 (noviembre a mayo), se obtuvo un rendimiento de materia seca promedio de 6.42 ± 1.20 tn/ha (Mamani y Cotacallapa 2018).

2.3 ESTRÉS HÍDRICO EN AVENA

La avena se ha adaptado muy fácil a la sierra del Perú debido a su rusticidad, prosperando aun entre los 3000 y 4000 m.s.n.m. Este cultivo se desarrolla bien en climas templados fríos y relativamente húmedos, por lo que necesita mucha humedad para producir una unidad de materia seca. La avena tiene mayor requerimiento de agua que los demás cereales, como la cebada, con un rango de 400 a 500 mm de precipitación anual (Marshall 1992). Otro autor, menciona que se requiere una precipitación anual de 700 mm o más (Palomino 1995). Se ha demostrado en un estudio llevado a cabo en Suecia con seis variedades de *Avena sativa* cultivadas bajo condiciones controladas y expuestas a cuatro días consecutivos de estrés hídrico que la variedad más resistente a la sequía es la Stormogul II (Bengtson *et al.* 1978).

Las plantas en condiciones de estrés hídrico inhiben su crecimiento y producen una variedad de cambios morfológicos y bioquímicos que aceleran su senescencia (Dhindsa y Cleland 1974). Los procesos de crecimiento, desarrollo y rendimiento de la planta se ven afectados, siendo esta más sensible al estrés hídrico durante sus estadios reproductivos, lo que en su mayoría influencia el número de semillas (Prasad *et al.* 2008).

El estrés hídrico en la avena causa una disminución en el contenido de proteína de sus tejidos. Por un lado, causa cambios cualitativos en el tipo de proteínas producidas por las células del coleoptilo; y por otro lado, produce inhibición de la incorporación de aminoácidos a proteínas. Hay poca evidencia que compruebe que el estrés hídrico causa una disminución general en el ritmo de toda la síntesis proteica o si solo tiene efecto

específico en cierto tipo de proteínas, pero si se ha comprobado que ocurre una reducción cuantitativa en el ritmo de incorporación de la leucina a proteínas (Dhindsa y Cleland 1974).

Otro de los efectos del estrés hídrico, es que impide el transporte de electrones generándose la formación de oxígeno activado. Este oxígeno activado puede acumularse durante el estrés por déficit de agua y dañar el aparato fotosintético. El déficit de agua reduce tanto la fotosíntesis como la transpiración, pero la transpiración se reduce más en relación con la fotosíntesis. En numerosos pastos, las moléculas oxidativas inician su daño en el cloroplasto y causan una cascada de efectos dañinos que incluyen la destrucción de la clorofila, oxidación de grasas y pérdida de proteínas. El estrés hídrico altera el equilibrio entre la producción de radicales libres y las reacciones de defensa enzimática en especies de trigo (Pandey *et al.* 2009).

Dos cultivares de *Avena sativa* (Pendek y Stormogul II) que fueron expuestas a un corto periodo de déficit de agua durante cinco días consecutivos respondieron al estrés disminuyendo en 30% y 47% respectivamente su tasa de transpiración cuticular (Svenningsson y Liljenberg 1986). Otro estudio con seis variedades de *Avena sativa* (Stormogul II, Risto, Sol II, Selma, Sang y Pendek) cultivadas bajo condiciones controladas y expuestas a estrés hídrico durante cuatro días consecutivos disminuyeron su potencial de agua en las hojas entre 7 y 12 bares. Demostrándose que el más resistente a la sequía fue Stormogul II, ya que sin haber sido estresada mostró la tasa cuticular de transpiración más alta, después de haber sido estresada dicha tasa de transpiración fue la que más se redujo y además mostró el mayor incremento en la cera epicuticular (Bengtson *et al.* 1978).

Con la intensidad y duración del estrés, el estrés hídrico y de temperatura no solo influencia la transición de las fases fenológicas sino que también su duración. El desarrollo fenológico es generalmente descrito en función a la temperatura, sugiriendo que es lo que más lo afecta, excepto cuando también lo afecta el fotoperiodo (duración del día). Temperaturas altas estimulan el desarrollo haciendo que el periodo fenológico sea más corto. El estrés hídrico y por calor altera el inicio y la duración de las etapas fenológicas. El estrés hídrico durante la panícula inhibe la conversión de la etapa vegetativa a la etapa reproductiva, haciendo que las plantas se queden en estado vegetativo hasta que el estrés

termine. Una sequia severa inhibe la caída de la panícula y retrasa la floración. Si la sequia ocurre durante la floración puede generar fallas en la fertilización por disminución de polen o función ovárica, ya que el estrés hídrico inhibe el desarrollo del polen causando esterilidad (Hsiao 1973).

El crecimiento se lleva a cabo a través de la división, alargamiento y diferenciación celular, que envuelve eventos genéticos, fisiológicos, ecológicos y morfológicos junto con sus interacciones. La calidad y cantidad de crecimiento de la planta depende de dichos eventos, que son afectados por el déficit de agua. El crecimiento celular es uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit de agua debido a la reducción de la presión de turgencia. Bajo estrés hídrico severo, la elongación celular de plantas altas puede ser inhibida por la interrupción del flujo de agua del xilema a las células en elongación. Muchos de los procesos fisiológicos en las plantas responden al estrés hídrico. El rendimiento integra muchos de estos procesos fisiológicos de una manera compleja. La reducción en el rendimiento a causa de sequia ha sido reportado en varias especies, de las cuales depende de la severidad y de la duración del periodo de estrés (Farooq *et al.* 2009). La habilidad de los cultivos para rendir en ambientes que son secos depende de su habilidad de tolerancia al déficit de agua o al desarrollo de mecanismos que evadan el déficit de agua. Se ha observado que la peor consecuencia de la sequia es la reducción del rendimiento debido a la baja acumulación de potasio y sodio en las células vegetales que son desviadas a la vacuola o fuera de las células (Butt *et al.* 2017).

La sequía produce una disminución en el ratio de germinación y por ende en el porcentaje total de germinación. Un estrés hídrico continuo y prolongado puede acelerar la senescencia de las hojas y producir la muerte del tejido foliar resultando en la caída de las hojas, particularmente de las hojas viejas y maduras. El estrés hídrico generalmente disminuye el crecimiento de tallos y la altura de la planta. El rendimiento es principalmente la función de varios componentes que pueden ser divididos en el número de plantas (germinación), producción de materia seca (crecimiento), y en el tamaño de la semilla. Las fases fenológicas más sensibles al estrés hídrico en cereales son generalmente durante el desarrollo de la panícula y durante la floración. Los cultivos con hojas largas y de larga duración pueden disminuir la evaporación e incrementar el uso del agua a través de la transpiración lo que puede contribuir a no comprometer tanto la reducción del rendimiento.

2.4 VALOR NUTRITIVO DE LA AVENA

El valor nutritivo de una especie forrajera comprende conocer su composición química y su digestibilidad. La composición química nos proporciona información sobre su contenido nutricional como el porcentaje de proteína cruda, fibra, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno, etc y su digestibilidad nos dice que parte de estos va a ser digerido por el animal.

Los porcentajes de proteína cruda de diferentes genotipos de avena forrajera varían entre 7.4 a 16.4 (Pandey *et al.* 2009) y disminuye a mayor edad de la planta. Se reportaron valores de 10.5, 10.4, 10.6 y 9.8 por ciento para la *A. sativa* local, *A. sativa* INIA 2000, *A. sativa* INIA Santa Ana y *A. sativa* INIA 901 Mantaro 15 respectivamente (Bartl *et al.* 2007). La avena en estadio fenológico grano leche tiene 10.5 por ciento de proteína cruda (Enciso 1998). Un estudio en la sierra central del Perú, demuestra la diferencia entre los porcentajes de proteína cruda durante dos estadios fenológicos donde se obtuvo que la *A. sativa* INIA 901 - Mantaro 15 y la *A. sativa* Centenario, poseen 11 y 7.2 por ciento en inicio de floración y luego disminuye a 6.5 y 6.1 por ciento en grano pastoso respectivamente (Montoya 2017). Pasando al departamento de Puno, donde en un estudio realizado en cinco provincias a una altitud entre los 3812 y 4000 m.s.n.m. durante la campaña agrícola de los años 2015 y 2016 (noviembre a mayo) se obtuvo un promedio de proteína cruda de 8.67 ± 0.64 por ciento (Mamani y Cotacallapa 2018).

La fibra detergente neutra (FDN) compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina aumenta conforme a la madurez de la planta. Para *Avena sativa* durante el estadio de grano lechoso se han reportado valores de FDN muy cercanos, de 58.5 (Bartl *et al.* 2007) y de 55.3 por ciento (Ramirez *et al.* 2013). Se demuestra el incremento entre los porcentajes de FDN durante dos estadios fenológicos en un estudio en la sierra central del Perú, donde la *A. sativa* INIA 901 - Mantaro 15 y la *A. sativa* Centenario poseen 63 y 62.3 por ciento en inicio de floración y 65.9 y 73.7 por ciento en grano pastoso respectivamente (Montoya 2017). Y si pasamos al departamento de Puno, en cinco de sus provincias durante la campaña agrícola de los años 2015 y 2016 (noviembre a mayo) se obtuvo un valor promedio de FDN de 46.97 ± 3.59 por ciento para la *Avena sativa* local (Mamani y Cotacallapa 2018).

Se entiende por digestibilidad, a la porción de alimento ingerido que desaparece en el tracto digestivo o en un proceso de laboratorio, como consecuencia de la solubilización y ataque de los microorganismos ruminales. El incubador DAYSI II permite realizar estudios de digestibilidad *in vitro* (verdadera, aparente y enzimática) mediante tecnología de extracción por bolsas filtrantes. El principio de este método es simular la fermentación de los alimentos en el rumen en condiciones *in vitro*, lo que se logra a través de la mezcla de soluciones compuestas por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores que ayudan a mantener la anaerobiosis característica de este proceso, más la adición de líquido ruminal. Esta mezcla se incuba por 48 horas a temperatura constante de $39.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, con agitación circular constante (ANKOM 2005). Los resultados obtenidos en un estudio permitieron confirmar que la técnica *in vitro* para estimar la digestibilidad verdadera utilizando el incubador Daisy II es confiable, rápida, precisa y sencilla, en comparación con el método *in vivo* utilizando la degradabilidad ruminal *in situ* o de la bolsa de nylon (Giraldo *et al.* 2007). En cuanto a la digestibilidad de la avena, se conoce que la digestibilidad de la materia seca se encuentra entre 7.6 a 8.4 por ciento (Pandey *et al.* 2009), siendo estos valores bajos según la clasificación de Vonesch y De Riveros (1968).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El presente estudio se realizó en Apata, distrito de Jauja perteneciente al departamento de Junín, ubicado a una altitud de 3340 m.s.n.m. El experimento tuvo una duración de cinco meses durante la época de lluvia, de febrero a junio del año 2018.

El relieve del área en estudio no presentó pendiente significativa, en el Anexo I se muestran los resultados del Análisis de caracterización de suelo realizado por el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina donde se procesaron dos muestras de suelo. El suelo mostró una textura franco arenoso y un pH de 8.1.

3.2 GENOTIPOS DE AVENA

Se evaluaron ocho genotipos de avena a las cuales se les asignó un código, tuvieron diferente lugar de procedencia y un porcentaje de germinación conocido (Tabla 2). Las semillas correspondientes a los genotipos INIA01, INIA02, INIA03 e INIA06 son genotipos comerciales y fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), las semillas de AC01 por el Programa de cereales y granos nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina y las semillas de los demás genotipos (NB03, NN02 y NN03) corresponden a semillas locales que fueron compradas en su lugar de procedencia.

Tabla 2 : Descripción de los ocho genotipos de avena

Código	Descripción	Procedencia	Germinación (%)
INIA01	Mantaro 15 (INIA901)	Huancayo	98
INIA02	Africana (INIA902)	Puno	68
INIA03	Tayco (INIA903)	Cusco	72
NB03	Junín - Jauja (Blanca)	Junín	22
AC01	Centenario	Junín	100
NN02	Junín – Tarma (Negra)	Junín	76
NN03	Junín – Jauja (Negra)	Junín	82
INIA06	Cayuse	Puno	30

3.3 TRATAMIENTOS

Los tratamientos corresponden a la combinación de los genotipos de avena por la restricción de lluvia. Se consideraron 16 tratamientos utilizando ocho genotipos de avena forrajera que fueron sometidas a dos niveles de restricción de lluvia (0 y 60 por ciento). Cada tratamiento con tres repeticiones, teniendo en total 48 unidades experimentales representadas por parcelas (Figura 3).

- Tratamiento 1: Genotipo INIA01 con 0% de restricción de lluvia
- Tratamiento 2: Genotipo INIA01 con 60% de restricción de lluvia
- Tratamiento 3: Genotipo INIA02 con 0% de restricción de lluvia
- Tratamiento 4: Genotipo INIA02 con 60% de restricción de lluvia
- Tratamiento 5: Genotipo INIA03 con 0% de restricción de lluvia
- Tratamiento 6: Genotipo INIA03 con 60% de restricción de lluvia
- Tratamiento 7: Genotipo NB03 con 0% de restricción de lluvia
- Tratamiento 8: Genotipo NB03 con 60% de restricción de lluvia
- Tratamiento 9: Genotipo AC01 con 0% de restricción de lluvia
- Tratamiento 10: Genotipo AC01 con 60% de restricción de lluvia
- Tratamiento 11: Genotipo NN02 con 0% de restricción de lluvia
- Tratamiento 12: Genotipo NN02 con 60% de restricción de lluvia
- Tratamiento 13: Genotipo NN03 con 0% de restricción de lluvia
- Tratamiento 14: Genotipo NN03 con 60% de restricción de lluvia
- Tratamiento 15: Genotipo INIA06 con 0% de restricción de lluvia
- Tratamiento 16: Genotipo INIA06 con 60% de restricción de lluvia

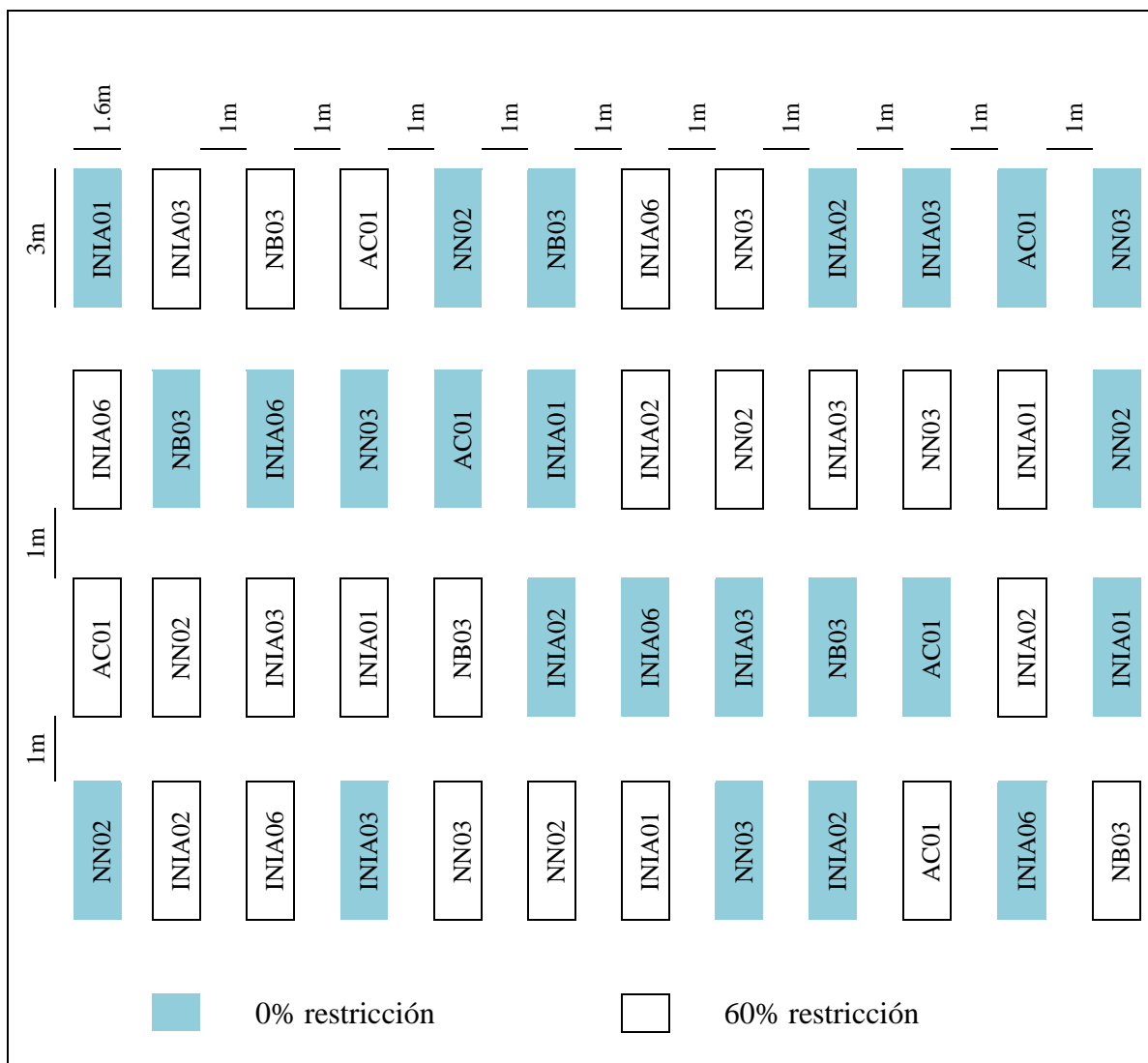


Figura 3: Distribución de las unidades experimentales en el campo

3.4 INSTALACIONES Y MANEJO DEL CULTIVO

El área experimental tuvo una extensión total de 1000 metros cuadrados, donde se delimitaron 48 parcelas, cada una de 4.8 metros cuadrados (3 metros de largo y 1.6 metros de ancho). Entre parcela y parcela se dejó un espacio de un metro para facilitar las evaluaciones. Las 24 parcelas sin restricción de lluvia estuvieron al aire libre y para lograr el 60 por ciento de restricción de lluvia en las otras 24 parcelas se colocaron interceptores de lluvia. Un interceptor de lluvia es una estructura con un techo compuesto por 15 canaletas de acrílico transparente, que recoge el agua de lluvia y la lleva hacia un balde de plástico de 20 litros de capacidad (Figura 4). De esta manera, se logró que el 60 por ciento de lluvia no llegue a las plantas simulándose una sequía pero sin alterar temperatura, viento, y otros factores medio ambientales.

Se realizó una prueba estándar de germinación a los ocho genotipos de avena (Tabla 2) en la ciudad de Lima, la cual no fue bajo condiciones de laboratorio. La preparación del terreno se inició en diciembre, 2017 con las labores de arado y el retiro de las piedras grandes, para luego proceder con la delimitación de las parcelas utilizando cal y finalmente con la colocación e instalación de los 24 interceptores de lluvia en enero, 2018. La siembra de avena se realizó en febrero, 2018 usando la técnica de siembra al voleo donde se aplicó una densidad de siembra de 100 kg/ha, es decir 48 gramos por parcela. No se fertilizó el terreno, pero si se realizaba el deshierbo de manera manual cuando se veía necesario. Con respecto al manejo de los interceptores de lluvia, inicialmente, se retiraba de manera interdiaria el agua de los baldes y luego, la frecuencia fue disminuyendo progresivamente con el cesar de las lluvias hasta hacerse de manera semanal.

La medición de altura de planta y de rendimiento se realizó en junio, 2018 cuando las plantas tenían 120 días. Se identificó el estadio fenológico al momento del corte, y a pesar de que todas las plantas tenían la misma edad el estadio fue diferente para cada tratamiento. Entre las fenologías encontradas al momento del corte fueron: panoja, inicio de floración y grano lechoso. Se definió como panoja cuando las plantas aun no tenían inflorescencia, inicio de floración cuando había hasta un 90 por ciento de semillas y grano lechoso cuando las semillas eliminaban un líquido blanco lechoso al ser presionadas. El corte se realizó en ese momento debido a que la restricción de lluvia estaba ocasionando la senescencia de las hojas en algunos genotipos de avena.

Finalmente, para obtener la muestra destinada a la evaluación nutricional, se retiró aproximadamente 500 gramos de la muestra conjunta de cada parcela y se colocaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas que fueron enviadas a la ciudad de Lima donde fueron evaluadas en los laboratorios de Nutrición de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

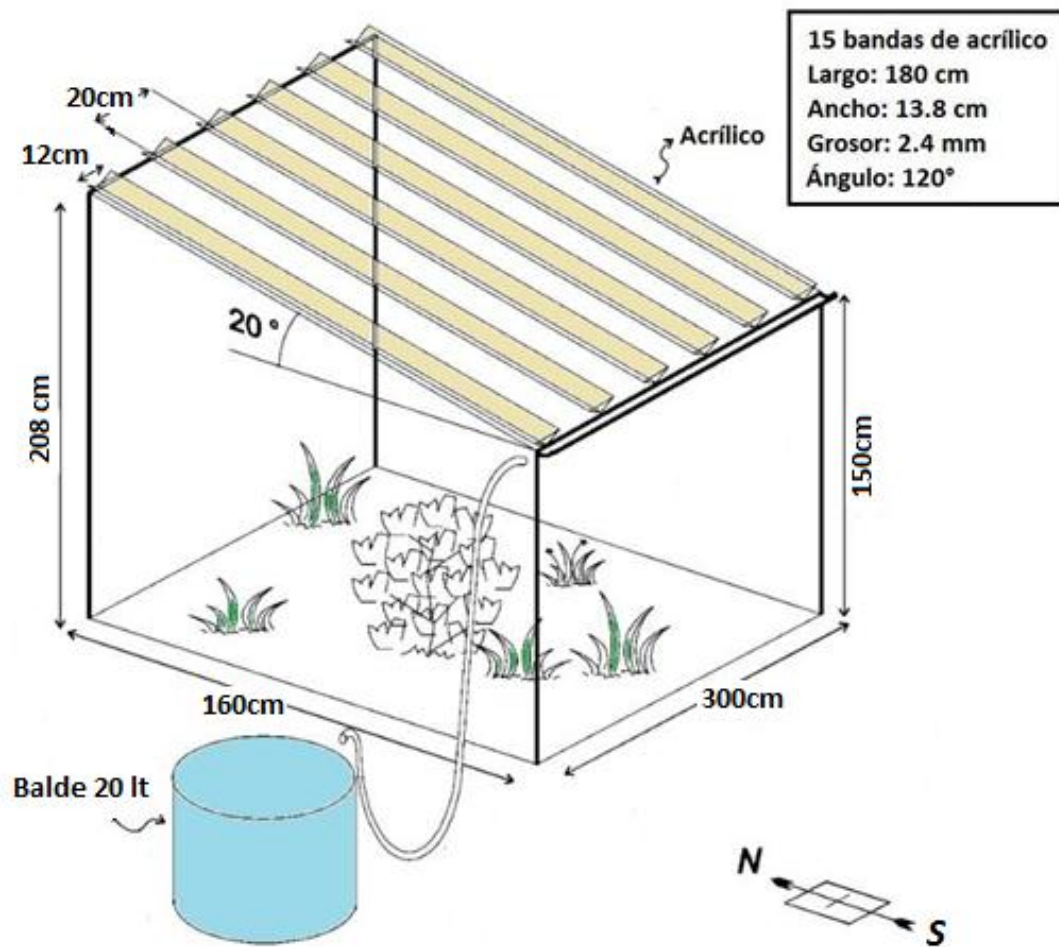


Figura 4: Diseño de interceptores de lluvia

Fuente: Modificado de Yahdjian y Sala (2002)

3.5 VARIABLES EVALUADAS

3.5.1 Características agronómicas

Para evaluar las características agronómicas se tomó en cuenta los siguientes procedimientos para cada parámetro:

- Altura de planta

Se realizó el día 120 para todos los genotipos, midiendo longitudinalmente con una cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más alta. Se consideró 10 plantas al azar por parcela y se halló el promedio de altura de planta en centímetros.

- Rendimiento forrajero

La medición del rendimiento se realizó cuando las plantas tenían 120 días, por el método del cuadrante utilizando una hoz y dos cuadrantes de un metro cuadrado. Se tomó en cuenta el efecto borde eliminando 0.50 metros del alrededor de cada parcela. Se realizó el corte al ras del suelo a todas las plantas que se encontraban dentro de los dos cuadrantes, fueron colocadas en dos bolsas plásticas identificadas y se registró ambos pesos utilizando una balanza gramera. El rendimiento de cada unidad experimental se obtuvo con el promedio de estas dos muestras. Las muestras de forraje fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina donde se determinó el porcentaje de humedad y materia seca (AOAC 2005) para hallar el rendimiento de peso seco. El rendimiento se expresó en términos de toneladas de materia seca por hectárea.

3.5.2 Valor nutritivo

Las muestras colectadas en la cosecha fueron enviadas al Laboratorio de Evaluación Nutricional de alimentos y al Laboratorio de Nutrición de Rumiantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se analizaron:

- Proteína cruda (PC)

Se realizó según el procedimiento de la AOAC (2005).

- Fibra detergente neutro (FDN)

Se realizó según el procedimiento de Van Soest (1965).

- Digestibilidad *in vitro* aparente de la materia orgánica (DIVMO)

Se utilizó el equipo DAISY Incubator siguiendo el procedimiento de ANKOM Technology (ANKOM 2005).

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar el efecto de la restricción de lluvia en los genotipos de avena se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 8x2, con un total de 16 tratamientos. Para el análisis se utilizó el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + L_j + (AL)_{ij} + \varepsilon_{ijk} ; i=1,2,3,4,5,6,7,8 ; j=1,2 ; k=1,2,3$$

Siendo:

Y_{ijk} = Rendimiento obtenido con el i-ésimo genotipo de avena, con el j-ésimo nivel de restricción de lluvia y la k-ésima repetición

μ = Es el efecto de la media general

A_i = Es el efecto del i-ésimo genotipo de avena

L_j = Es el efecto del j-ésimo nivel de restricción de lluvia

$(AL)_{ij}$ = Es el efecto de la interacción del i-ésimo genotipo de avena con el j-ésimo nivel de restricción de lluvia

ε_{ijk} = Es el error experimental obtenido con el i-ésimo genotipo de avena, con el j-ésimo nivel de restricción de lluvia y la k-ésima repetición

Para comparar los promedios de los tratamientos y factores se utilizó una prueba Tukey a un nivel de significancia de 0.05. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Statistic Analysis System- SAS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

4.1.1 Altura de planta

No existe interacción significativa entre el genotipo de avena y la restricción de lluvia en cuanto a altura de planta, pero el genotipo de avena tiene efecto significativo sobre esta variable (Tabla 3). El genotipo INIA01 fue la que obtuvo mayor altura de planta con 94.3 cm y la de menor altura fue el genotipo INIA06 con 64.7 cm.

Tabla 3: Resultados de altura de planta (cm)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0%	60%	
INIA 01	97.5 ± 17.3	91.1 ± 11.6	94.3 ^a ± 15.0
INIA02	95.8 ± 17.0	80.5 ± 14.2	88.1 ^{ab} ± 17.3
INIA03	82.0 ± 10.5	74.4 ± 16.7	78.2 ^{ab} ± 14.3
NB03	77.3 ± 14.5	61.3 ± 8.1	69.3 ^b ± 14.2
AC01	72.9 ± 13.1	83.2 ± 12.7	78.0 ^{ab} ± 13.8
NN02	76.7 ± 12.3	75.6 ± 11.6	76.1 ^{ab} ± 11.8
NN03	79.6 ± 14.8	80.9 ± 16.0	80.3 ^{ab} ± 15.3
INIA06	74.9 ± 16.9	54.5 ± 15.2	64.7 ^b ± 19.0
Promedio	82.1 ± 17.0	75.2 ± 17.4	

^{a,b} Promedios con letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) a la prueba de Tukey.

Todos los tratamientos con restricción de lluvia fueron de menor altura que los tratamientos sin restricción de lluvia; con excepción del genotipo AC01, en donde el tratamiento con restricción de lluvia superó numéricamente a su tratamiento sin restricción. La menor altura que presentaron las plantas con restricción de lluvia coincide tanto con lo reportado por Prasad *et al.* (2008) quienes encontraron que la sequía suele disminuir la altura de las plantas

en respuesta al cambio interno en el status de agua y que el estrés hídrico severo disminuye la altura de las plantas como con lo reportado por Mohd (1986) quien menciona que restringir el agua desde etapas vegetativas muy tempranas retrasa la elongación de los tallos.

El mejor genotipo para altura de planta fue INIA01, conocida como Mantaro 15, de la cual se reportan resultados de altura promedio de 145 cm (Noli y Ricapa 2009), 130 cm (Halanoca y Argote 2007), 126 cm (Montoya 2017) y de 95 cm (Bartl *et al.* 2007). Los autores mencionados presentan alturas de planta mayores a lo encontrado en este estudio que fue de 94.3 cm como promedio para este genotipo, lo que podría atribuirse a que la siembra fue muy tardía. Generalmente, la siembra para avena forrajera se realiza en el mes de diciembre junto con el inicio de las lluvias pero para este estudio se sembró en el mes de febrero del siguiente año desaprovechando más de un mes de lluvias que podían haber contribuido con el crecimiento de las plantas.

Para el genotipo AC01, llamada Centenario, la UNALM (2007) reportó una altura promedio de 195 cm en condiciones de sierra a una edad de 104 días aproximadamente. Además, Montoya (2017) reportó una altura de planta para este mismo genotipo de 97 cm en inicio de floración y de 130 cm en el estadio de grano lechoso. Estos referentes son mayores al resultado de altura de planta de este estudio que fue de 78.0 cm como promedio para ambos tratamientos (sin y con restricción de lluvia) a pesar que la edad de cosecha de las avenas fue a los 120 días y su estadio al momento de corte fue de grano lechoso pero también se le atribuye a lo ya mencionado antes con respecto al mes en que se realizó la siembra.

El genotipo INIA06 mostró una altura de planta de 54.5 cm y 74.9 cm con el 60 por ciento de restricción y sin restricción de lluvia respectivamente. En campo, se apreció de manera evidente que este genotipo fue el más afectado por la falta de agua ya que sus hojas estaban senescentes, marchitas y de color amarillo. Es por ello, que el grupo con el 60 por ciento de restricción de lluvia presenta el valor más bajo de altura de planta.

4.1.2 Rendimiento de materia seca

No existe interacción significativa entre el genotipo de avena y la restricción de lluvia. Sin embargo, la restricción de lluvia tiene efecto significativo sobre la variable rendimiento (Tabla 4). El nivel sin restricción de lluvia tiene estadísticamente un mayor rendimiento de materia seca (tn MS/ha) con un promedio de 4.3 y el nivel con 60 por ciento de restricción de lluvia tiene 3.0, comprobando que las plantas que experimentan estrés hídrico durante su crecimiento van a presentar una reducción en la cantidad total de biomasa. Este resultado también se explica con el porcentaje de emergencia, el de los tratamientos sin restricción de lluvia fue mayor que el de los tratamientos con restricción de lluvia observándose en campo menor cantidad de plantas en éste último grupo, corroborando así que el agua es un factor esencial para todos los estadios fenológicos de la planta desde la germinación hasta la madurez. Asimismo, la reducción del rendimiento debido al estrés hídrico podría deberse en parte a la reducción de la fotosíntesis debido al cierre de estomas en las hojas (Mohd 1986).

Tabla 4: Resultados de rendimiento (tn MS/ha)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0%	60%	
INIA 01	4.4 ± 1.8	3.6 ± 2.0	4.0 ± 1.7
INIA02	5.3 ± 2.0	3.1 ± 1.6	4.2 ± 2.0
INIA03	4.3 ± 1.0	2.6 ± 0.6	3.4 ± 1.2
NB03	2.9 ± 1.6	1.7 ± 0.4	2.3 ± 1.2
AC01	4.1 ± 0.5	4.2 ± 0.6	4.1 ± 0.5
NN02	4.2 ± 1.7	2.9 ± 1.7	3.5 ± 1.7
NN03	4.7 ± 1.3	4.3 ± 0.9	4.5 ± 1.0
INIA06	4.2 ± 0.5	1.7 ± 1.2	3.0 ± 1.6
Promedio	4.3 ^a ± 0.7	3.0 ^b ± 1.0	

^{a,b}Promedios con letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas (P<0.05) a la prueba de Tukey.

Todos los genotipos sin restricción de lluvia, menos la NB03, presentan rendimientos mayores al promedio de avena forrajera en el Perú (MINAGRI 2016) que es de 3.8 tn/ha. Sin embargo, para los genotipos con restricción de lluvia, a excepción del AC01 y el

NN03, los rendimientos estuvieron por debajo de esta cifra dada por el MINAGRI. Por otro lado, solo los genotipos INIA02 y NN03 sin restricción de lluvia tuvieron rendimientos mayores al promedio del departamento de Junín que es de 4.4 tn/ha (MINAGRI 2016). Como promedio, el grupo con restricción de lluvia obtuvo un rendimiento de 3.0 tn MS/ha que se encuentra por debajo tanto del promedio de avena forrajera del Perú como del departamento de Junín y el grupo sin restricción de lluvia con un rendimiento promedio de 4.3 tn MS/ha solo pudo superar el promedio de rendimiento en el Perú mas no el del departamento de Junín.

Para el caso del genotipo AC01, el rendimiento con restricción de lluvia es similar a su tratamiento sin restricción de lluvia con 4.2 y 4.1 respectivamente lo que indicaría que este genotipo soporta muy bien el estrés hídrico aunque dicha diferencia no sea estadísticamente significativa. Sin embargo, el rendimiento promedio de este genotipo que fue de 4.1 resulta ser muy bajo si lo comparamos con lo reportado por Montoya (2017) que obtuvo 7.4 durante el inicio de la etapa de floración. El genotipo NN03 resultó ser, numéricamente, el genotipo de mayor promedio en rendimiento con 4.5 tn MS/ha. Los valores más bajos de rendimiento de materia seca se obtuvieron con los genotipos NB03 e INIA06, ya que como promedio fueron de 2.3 y 3.0 respectivamente. Dichos resultados se explican con el bajo porcentaje de germinación que presentaron sus semillas antes de la siembra (Tabla 2), que fueron de 22 y 30 respectivamente. A pesar de tener tan bajos valores de germinación, se decidió no realizar ningún tipo de ajuste en la densidad de siembra, lo que se vio reflejado después en la emergencia viéndose una menor cantidad de plantas en las parcelas de dichos genotipos.

Para la determinación del rendimiento, el momento de corte fue a los 120 días, encontrándose diferentes estadios fenológicos para cada tratamiento (Tabla 5). Los genotipos más precoces en su desarrollo fenológico fueron INIA01, INIA02, INIA03 y NN03 ya que consiguieron llegar hasta el estadio de grano lechoso; por otro lado, los genotipos que tuvieron un lento desarrollo fueron NB03 e INIA06 llegando tan solo al estadio de panoja. Es por ello que estos dos últimos genotipos son los que, como promedio, tuvieron menores rendimientos con 2.3 y 3.0 tn MS/ha respectivamente.

Tabla 5: Estadio fenológico de la avena al momento de corte

Genotipo	Restricción	
	0%	60%
INIA 01	Grano lechoso	Inicio de floración
INIA02	Grano lechoso	Grano lechoso
INIA03	Grano lechoso	Inicio de floración
NB03	Panoja	Panoja
AC01	Inicio de floración	Inicio de floración
NN02	Inicio de floración	Inicio de floración
NN03	Grano lechoso	Inicio de floración
INIA06	Panoja	Panoja

4.2 VALOR NUTRITIVO

4.2.1 Composición química

4.2.1.a Proteína cruda

No existe interacción significativa entre el genotipo de avena y la restricción de lluvia, pero la restricción de lluvia tiene efecto significativo sobre el porcentaje de proteína (Tabla 6). Los porcentajes de proteína en este estudio estuvieron entre 10.4 y 19.2 que resulta mayor al rango establecido por Pandey *et al.* (2009) que es de 7.4 a 16.4 por ciento.

Para cada genotipo de avena, su tratamiento con restricción de lluvia superó a su tratamiento sin restricción lo mismo que planteó Mohd (1986) indicando que la calidad del forraje en plantas sometidas a estrés hídrico es generalmente mayor que las plantas con buena disposición de agua, debido a la mayor proporción de hoja:tallo en las plantas estresadas. Estadísticamente, la avena forrajera con restricción de lluvia con 17.0 tiene mayor porcentaje de proteína que la avena sin restricción de lluvia con 12.7, lo que discrepa con lo mencionado por Dhindsa y Cleland (1974) que dijeron que el estrés hídrico en la avena causa una disminución en el contenido de proteína de sus tejidos pero coincide con lo dicho por autores como Gifford y Jensen (1967) y Walgenbach *et al.* (1981) que encontraron que el contenido de proteína cruda aumenta cuando la planta sufre estrés hídrico. Mohd (1986) indica que en las gramíneas, como la avena, el estrés ocurrido desde etapas vegetativas tempranas podría tener un efecto positivo en la calidad del forraje

reduciendo tanto la elongación de los tallos como la floración y manteniendo un mayor contenido de nitrógeno en las plantas estresadas que en las plantas con buena disponibilidad de agua que han florecido y madurado rápido, por lo que la proporción hoja:tallo es mayor en las plantas estresadas dando lugar a una mayor cantidad de proteína.

Tabla 6: Resultados de proteína cruda en base seca (%)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0%	60%	
INIA 01	13.3 ± 4.7	17.2 ± 0.7	15.2 ± 3.7
INIA02	10.4 ± 0.5	13.6 ± 5.1	12.0 ± 3.7
INIA03	12.6 ± 0.9	17.8 ± 1.2	15.2 ± 3.0
NB03	15.6 ± 2.4	18.2 ± 2.1	16.9 ± 2.5
AC01	12.4 ± 3.4	14.5 ± 1.9	13.4 ± 2.7
NN02	14.1 ± 3.2	17.3 ± 0.7	15.7 ± 2.8
NN03	11.9 ± 4.7	18.7 ± 1.3	15.3 ± 4.8
INIA06	11.1 ± 3.2	19.2 ± 0.8	15.1 ± 4.9
Promedio	12.7 ^b ± 3.1	17.0 ^a ± 2.7	

^{a,b} Promedios con letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) a la prueba de Tukey.

Para el genotipo INIA01, conocido como Mantaro 15, se reportan porcentajes de proteína de 9.8 (Bartl *et al.* 2009) en estadio de grano lechoso y de 11 en inicio de floración (Montoya 2017) que es menor al promedio obtenido en este estudio que fue de 15.2. Por otro lado, para el genotipo AC01 fue reportado un valor de 11.26 por ciento de proteína cruda en el estadio de panícula (UNALM 2007) que resulta menor al promedio de 13.4 por ciento encontrado en este estudio. Esto se puede explicar ya que al momento de corte la AC01 se encontraba en el estadio fenológico de inicio de floración, siendo normal que en estadios más jóvenes se hallen mayores contenidos de proteína.

4.2.1.b Fibra detergente neutro

La FDN no está significativamente influenciada por la restricción de lluvia ni por los genotipos de avena (Tabla 7). El porcentaje de FDN varía entre los genotipos de avena, donde un máximo de 44.5 fue hallado en el genotipo AC01 sin restricción de lluvia y un mínimo de 35.0 en el genotipo NB03 con restricción de lluvia. Todos los valores de FDN se encontraron por debajo de lo reportado por Bartl *et al.* (2009) y por Ramirez *et al.*

(2013) que fueron de 58.4 y 55.3 por ciento respectivamente, debido a que estos valores fueron determinados cuando las plantas estaban en el estadio fenológico de grano lechoso y para este estudio algunos genotipos de avena fueron cosechados antes de llegar a dicho estadio. Para el genotipo AC01, que fue cosechado en el estadio fenológico de inicio de floración, el porcentaje de FDN para el grupo sin restricción fue de 41.2, con restricción de 44.5 y como promedio de 42.9, todos son menores a lo reportado por Montoya (2017) que fue de 62.3 por ciento para avenas del mismo genotipo en la etapa de inicio de floración y por la UNALM (2007) que fue de 52.63 por ciento en el estadio de panícula. Lo mismo ocurre para el genotipo INIA01, cuyo porcentaje para el grupo sin restricción fue de 41.2, con restricción 38.5 y como promedio de 39.8, donde todos también son menores a lo reportado por Montoya (2017) y que Bartl *et al.* (2007) que fue de 63.0 y 58.4 por ciento respectivamente para avena del mismo genotipo en la etapa de inicio de floración.

En cinco de los genotipos de avena (INIA01, INIA02, INIA03, NB03, NN03) los tratamientos con restricción de lluvia tuvieron menor FDN que los tratamientos sin restricción de lluvia, esto se explica por la mayor proporción de hoja:tallo que hay en las plantas estresadas. Una mayor cantidad de hojas asegura un menor contenido de FDN, ya que las hojas son menos fibrosas que los tallos. Asimismo, esto coincide con un estudio de cuatro legumbres (incluido alfalfa) donde las plantas con menor porcentaje de fibra cruda fueron las que crecieron bajo un mayor estrés hídrico (Mohd 1986)

Tabla 7: Resultados de fibra detergente neutro en base seca (%)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0%	60%	
INIA 01	41.2 ± 4.1	38.5 ± 3.6	39.8 ± 3.8
INIA02	41.8 ± 5.0	41.4 ± 3.1	41.6 ± 3.7
INIA03	43.8 ± 3.4	42.7 ± 3.7	43.2 ± 3.3
NB03	37.4 ± 3.8	35.0 ± 2.9	36.2 ± 3.3
AC01	41.2 ± 2.0	44.5 ± 4.6	42.9 ± 3.6
NN02	40.6 ± 2.1	44.4 ± 5.1	42.5 ± 4.1
NN03	42.1 ± 3.8	41.0 ± 4.3	41.6 ± 3.7
INIA06	40.8 ± 6.1	42.8 ± 7.8	41.8 ± 6.4
Promedio	41.1 ± 1.8	41.3 ± 3.2	

En promedio, el porcentaje de fibra detergente neutro de los tratamientos sin y con restricción de lluvia fue de 41.1 y 41.3 respectivamente, donde no hubo diferencia estadística significativa. Lo que se puede explicar con lo hallado por Mohd (1986) para el caso de alfalfa, donde la concentración de lignina de la pared celular no fue afectada significativamente por el estrés hídrico, y dado que la lignina es uno de los componentes de la FDN (junto con la celulosa y hemicelulosa) es posible que tampoco la FDN se vea afectada. Además, se sabe que sólo se ven diferencias significativas cuando se trata de comparar el contenido de FDN a diferentes edades o estadios fenológicos de la planta y para este estudio todas fueron cosechadas a la misma edad.

4.2.2 Digestibilidad *in vitro* aparente de la materia orgánica

La restricción de lluvia no influye significativamente a la DIVMO de los genotipos de avena (Tabla 8). El porcentaje de DIVMO varía entre los genotipos de avena, donde un máximo de 73.8 fue hallado en el genotipo NB03 y un mínimo de 66.6 en el genotipo AC01. Todos los valores fueron muy cercanos a lo encontrado por Diaz *et al.* (2014) que fue de 71.8 de digestibilidad *in vitro* de la materia seca. A pesar de no haber diferencias significativas, hay una tendencia a que el grupo sin restricción de lluvia tenga mayor DIVMO que el grupo con restricción como se observa en su promedio de 71.5 y 67.8 respectivamente, lo que no concuerda con lo reportado por Snaydon (1972) que menciona que tanto las hojas como los tallos de plantas sometidas a estrés hídrico tienen mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca y que la mayor digestibilidad de las partes de la planta junto con la mayor proporción de fracciones digestibles como las hojas y flores producen un incremento en la digestibilidad general de la planta cuando se le somete a estrés hídrico.

Se obtuvo como promedio que el genotipo AC01 fue el de menor porcentaje de DIVMO con 66.6. Este valor resulta mayor que lo reportado por la UNALM (2007) con una DIVMO de 61.27 para el mismo genotipo pero en el estadio de panícula, lo que nos hace pensar que en este estudio se obtuvo un buen valor de DIVMO.

Tabla 8: Resultados de digestibilidad *in vitro* aparente de la materia orgánica en base seca (%)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0%	60%	
INIA 01	68.5 ± 3.3	67.1 ± 0.6	67.8 ± 2.2
INIA02	73.3 ± 7.6	68.6 ± 5.1	70.9 ± 6.3
INIA03	65.8 ± 5.7	67.5 ± 10.7	66.7 ± 7.7
NB03	73.7 ± 2.1	74.0 ± 7.8	73.8 ± 5.1
AC01	69.9 ± 1.0	63.3 ± 9.4	66.6 ± 7.0
NN02	76.1 ± 8.4	62.4 ± 10.0	69.3 ± 11.2
NN03	70.1 ± 4.8	70.0 ± 4.6	70.1 ± 4.2
INIA06	74.2 ± 7.1	69.6 ± 9.1	71.9 ± 7.7
Promedio	71.5 ± 15.3	67.8 ± 15.4	

V. CONCLUSIONES

En las condiciones del estudio se concluye que:

- 1 La característica agronómica “altura de planta” en ocho genotipos de Avena no se ve afectada por la restricción de lluvia; en cambio, el “rendimiento de materia seca” se ve afectado negativamente cuando hay un 60 por ciento de restricción de lluvia.
- 2 El valor nutritivo de las avenas solo se vio afectado en su porcentaje de proteína cruda, el cual aumentó ($p < 0.05$) cuando fueron sometidas a 60 por ciento de restricción de lluvia.
- 3 Los genotipos que mejor resisten la sequía, tomando en cuenta tanto el rendimiento como su valor nutritivo son el NN03, avena de semilla negra procedente de Junín – Jauja y el AC01, conocida como Centenario.

VI. RECOMENDACIONES

- Para un siguiente estudio, utilizar semillas que tengan un alto porcentaje de germinación (mayor a 80 por ciento).
- Mantener la época de siembra de la avena forrajera que es al inicio de la época de lluvia.
- Valorar y mantener las semillas de genotipos locales ya que, como es el caso de la NN03, podrían demostrar resistencia a la sequía.
- Empezar a utilizar y difundir los genotipos NN03 y AC01 (Centenario) ya que resisten la sequía y probar su comportamiento en otros departamentos del Perú para determinar si mantienen esta característica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDINA. 2016. Heladas y sequía en el valle del Mantaro causan pérdidas por S/55 mllns. Periódico (en línea). Huancayo, Perú. Consultado 10 mayo 2019. Disponible en <https://andina.pe/Agencia/noticia-heladas-y-sequia-el-valle-del-mantaro-causan-perdidas-s-55-mlns-641680.aspx>

ANKOM. 2005. In Vitro True Digestibility using the DAISY II Incubator. USA. ANKOM. p.1-2.

AOAC (Association of Official Analytical Chemist, USA). 2005. Official methods of analysis 13th Edition. Arlington USA.

BARTL, K., GOMEZ, C., GAMARRA, J., y HESS, H. 2007. Potencial de las especies forrajeras locales y mejoradas para la alimentación de ganado. Manual de extensión. Lima, Perú.

BARTL, K., GAMARRA, J., GOMEZ, C., WETTSTEIN, H., KREUZER, M. y HESS, H. 2009. Agronomic performance and nutritive value of common and alternative grass and legume species in the Peruvian highlands. *Grass and forage science*, 64: 109-121.

BENGTSON, C., LARSSON, S. y LILJENBERG, C. 1978. Effects of Water Stress on Cuticular Transpiration Rate and Amount and Composition of Epicuticular Wax in Seedlings of Six Oat Varieties. *Physiologia Plantarum*, 44: 319–324.

BUTT, Y., FATIMA, Q., NASAR, S., IKRAM, J. y AKRAM, S. 2017. Drought tolerance in plants: A review. *Res. Rev. J. Ecol. Environ. Sci.* Vol. 5. Issue 4.

CORREO. 2017. Junín en crisis por sequía, vacas producen menos leche por falta de pasto. Periódico (en línea). Lima, Perú. Consultado 10 de septiembre 2019. Disponible en

<https://diariocorreo.pe/edicion/huancayo/junin-en-crisis-por-sequia-vacas-producen-menos-leche-por-falta-de-pasto-754890/>

CORREO. 2018a. Ganaderos se alistan para evitar mortalidad de animales por heladas. Periódico (en línea). Lima, Perú. Consultado 10 septiembre 2019. Disponible en <https://diariocorreo.pe/edicion/huancayo/ganaderos-se-alistan-para-evitar-mortalidad-de-animales-por-heladas-816310/>

CORREO. 2018b. Piden declarar en emergencia regiones afectadas por sequía. Periódico (en línea). Lima, Perú. Consultado 10 mayo 2019. Disponible en <https://diariocorreo.pe/edicion/huancayo/piden-declarar-en-emergencia-regiones-afectadas-por-sequia-857277/>

DHINDSA, R.S. y CLELAND, R. E. 1974. Water Stress and Protein Synthesis. *Plant Physiology* 55 (4) 778-781.

DIAZ, A., DOLORES, M., PALACIOS, C., MATEOS, I., SARO, C., TEJIDO, M. y RANILLA, M. 2014. Nutritive value for ruminants of winter oats-legume intercrops in organic cultivation. *Animal Production Science*. 54 (10):1791

ENCISO, A. 1998. Valor nutricional de la avena asociada con vicia y sus ensilajes en la zona altoandina del Perú. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

FAROOQ, M., WAHID, A., FUJITA, D. y BASRA, S. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29 (2009) 185-212.

GIRALDO, L.A., GUTIERREZ, L.A. y RÚA, C. 2007. Comparación de dos técnicas: in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Rev Col Cienc. Pec.* 2007; 20: 269-279.

GIFFORD, R. y JENSEN, E. 1967. Some effects of soil moisture regimes and bulk density on forage quality in the greenhouse. *Agronomy Journal*. 59:75-77.

GOBIERNO REGIONAL DE JUNÍN. 2014. Estrategia regional de cambio climático de Junín.

HALANOCA, M. y ARGOTE, G. 2007. Evaluación y selección de gramíneas forrajeras tolerantes a condiciones climáticas del altiplano de Puno. En: XXX Reunión científica anual de la asociación peruana de producción animal. Octubre del 2007. Libro de resúmenes y programa oficial. Cusco, Perú.

HSIAO, T. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24:519-70

KHAN, A., SOVERO, V. y GEMENET, D. 2016. Genome-assisted Breeding For Drought Resistance. *Current Genomics* 17(4): 330-342.

MAMANI, J. y COTACALLAPA, F. 2018. Rendimiento y calidad nutricional de avena forrajera en la región Puno. *Rev. investing. altoandin.* Vol. 20. Nro.4. Puno, Perú.

MARSHALL, H.G. 1992. Breeding oat for resistance to environmental stress. *Oat Science and Technology.* American society of Agronomy. USA: 699-700

METWALI, E., CARLE, R., SCHWEIGGERT, R., KADASA, N. y ALMAGHRABI, O. 2016. Genetic diversity analysis based on molecular marker and quantitative traits of the response of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to drought stress. *Archives of Biological Sciences* 68(2): 427-438.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). 2016. Boletín estadístico de producción agrícola, pecuaria y avícola. Lima, Perú.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). sf. Adapatación al cambio climático para la competitividad agraria. Lima, Perú.

MOHD, H. 1986. Water stress effects on forage quality of alfalfa. Tesis. Iowa State University.

MONTOYA, K. 2017. Características agronómicas y valor nutricional de siete cultivos forrajeros bajo secano en la sierra central. Tesis Ing. zootecnista. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

NOLI, C., ORDOÑEZ, J. y PERALTA, E. 2008. Caracterización agronómica de la producción de forraje de líneas promisorias de avena forrajera en campo de productores en la sierra central. En: XXXI Reunión científica anual de la asociación peruana de producción animal. Libro de resúmenes y programa oficial. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

NOLI, C. y RICAPA, F. 2009. Caracterización agronómica en avena forrajera en líneas promisorias para la producción de semilla en la sierra central del Perú. En: XXXII Reunión científica anual de la asociación peruana de producción animal. Noviembre del 2009. Libro de resúmenes y programa oficial. Tumbes, Perú. Universidad Nacional de Tumbes.

NOLI, C; NESTARES, A. y CORONEL, J. 2017. La avena forrajera INIA 901 – Mantaro 15 M, alternativa de alimentación para la ganadería de la Sierra del Perú. Lima, s.e., p.1-2.

PALOMINO, A. 1995. Caracterización de líneas promisorias del banco de germoplasma de avena de la UNALM. Tesis Ing. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

PANDEY, H., BAIG, M.J., CHANDRA, A. y BHATT, R.K. 2009. Drought stress induced changes in lipid peroxidation and antioxidant system in genus Avena. *Journal of Environmental Biology* 435-440.

PRASAD, P., STAGGENBORG, S., RISTIC, Z., AHUJA, L., REDDY, V., SASEENDRAN, S. y YU, Q. 2008. Impacts of Drought and/or Heat Stress on Physiological, Developmental, Growth, and Yield Processes of Crop Plants. *Advances in Agricultural Systems Modeling* 2008.

RAMIREZ, S., DOMINGUEZ, D., SALMERÓN, J., VILLALOBOS, G. y ORTEGA, J. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(4): 395 - 403.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, PE). S.f. Manual de observaciones fenológicas. MINAM. Lima, Perú.

SIEA (Sistema Integrado de Estadística Agraria, PE). 2017. Boletín estadístico de producción agrícola y ganadera. IV Trimestre 2017.

SOTO, D. y DEL CASTILLO, L. 2013. Informe nacional del Perú. Autoridad nacional del agua.

SNAYDON, R. 1972. The effect of total water supply, and of frequency of application, upon lucerne. *Journal Agriculture Research* 23: 239-252.

SVENNINGSSON, M. y LILJENBERG, C. 1986. Changes in cuticular transpiration rate and cuticular lipids of oat (*Avena sativa*) seedlings induced by water stress. *Physiologia Plantarum*, 66: 9–14.

TELLO, F. 2015. Medidas adaptativas frente al cambio climático valle del Mantaro Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú.

UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina, PE). 2007. Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos. Cultivar de Avena “CENTENARIO”. Folleto de divulgación. Lima, Perú.

VAN SOEST, P. J. 1965. Use of detergents in analysis of fibrous feeds. Study of effects of heating and drying of fiber and lignin in forages. *J. Assn. Official Agr. Chem.* 48:785

VONESCH, E. y DE RIVEROS, M. 1968. Composición y digestibilidad de forrajes de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires*. Tomo 17(1):49-68p.

WALGENBACH, R., MARTEN, G. y BLAKE, G. 1981. Release of soluble protein and nitrogen in alfalfa. Influence of growth temperature and soil moisture. *Crop Science*. 21: 843-849.

YADHDJIAN, L. y SALA, O. 2002. A rainout design for intercepting different amounts of rainfall. *Oecologia*, 133(2), pp.95-101.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de suelo: caracterización



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : SHEYLA ARANGO QUISPE
 Departamento : JUNÍN
 Distrito :
 Referencia : H.R. 61303-151C-17

Provincia : CONCEPCIÓN
 Predio :
 Fecha : 13/11/17

Bolt.: 990

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes Básicas	% Sat. De Básicas	
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺			Al ³⁺ + H ⁺
12984	A	8.08	4.14	0.00	11.31	94.7	6120	57	30	13	Fr.A.	25.92	11.05	3.55	9.90	1.43	0.00	25.92	100
12985	B	8.07	1.67	0.00	6.90	90.6	2280	73	18	9	Fr.A.	19.68	10.42	3.40	4.92	0.94	0.00	19.68	100

A = Arena ; A.Fr. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.A.L. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Sady García Benquezu,
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 2: Datos utilizados para los análisis de variancia

Genotipo	Restricción (%)	Altura (cm)	Rendimiento (tnMS/ha)	Materia seca (%)	Proteína (%)	FDN (%)	DIVMO (%)
INIA01	0	93.71	2.79	19.09	16.19	43.65	66.79
INIA01	0	117.57	6.32	28.66	15.88	43.45	66.48
INIA01	0	81.33	4.00	34.61	7.93	36.45	72.25
INIA01	60	90.39	1.55	27.60	17.40	42.18	66.49
INIA01	60	86.91	3.64	33.43	16.35	38.22	67.77
INIA01	60	95.94	5.48	31.18	17.69	35	67.1
INIA02	0	75.54	3.18	37.22	10.70	36.17	81.99
INIA02	0	103.54	7.05	28.51	10.61	43.36	68.88
INIA02	0	97.34	5.73	26.65	9.75	45.72	68.94
INIA02	60	74.45	1.78	25.15	16.08	43.47	65.7
INIA02	60	79.18	2.70	33.64	7.67	37.89	65.66
INIA02	60	87.98	4.86	27.57	16.98	42.89	74.46
INIA03	0	73.42	3.24	34.78	11.51	40.45	70.56
INIA03	0	89.44	5.19	22.56	13.32	47.26	59.53
INIA03	0	83.07	4.37	31.27	12.80	43.76	67.32
INIA03	60	56.62	2.00	32.36	17.43	38.45	79.62
INIA03	60	90.15	3.19	24.33	16.80	45.55	63.84
INIA03	60	76.30	2.52	33.68	19.07	43.95	59.17
NB03	0	67.30	1.46	31.59	15.39	41.34	72.75
NB03	0	94.75	4.58	22.75	18.06	33.69	76.11
NB03	0	69.98	2.75	26.06	13.19	37.01	72.26
NB03	60	54.72	2.22	41.08	16.55	31.73	80.79
NB03	60	67.18	1.63	29.92	20.52	37.44	65.51
NB03	60	61.95	1.37	38.50	17.48	35.67	75.54
AC01	0	69.88	3.53	34.35	13.62	40.1	71.06
AC01	0	85.07	4.15	29.36	14.99	43.51	69.31

continuación

AC01	0	63.79	4.51	29.68	8.63	40.03	69.39
AC01	60	75.85	3.47	31.46	16.63	40.23	71.89
AC01	60	91.55	4.49	20.62	13.38	49.3	53.36
AC01	60	82.09	4.58	26.67	13.36	43.9	64.75
NN02	0	79.51	4.00	33.02	16.28	38.63	77.9
NN02	0	82.25	5.97	25.87	10.34	42.72	83.46
NN02	0	68.19	2.50	28.40	15.52	40.37	67
NN02	60	73.16	0.92	26.41	17.90	50.2	53.27
NN02	60	78.90	3.87	35.46	16.59	42.16	60.88
NN02	60	74.74	3.94	30.81	17.46	40.77	73.12
NN03	0	95.10	6.17	21.65	16.98	45	66.07
NN03	0	63.63	3.64	36.54	7.68	37.81	75.4
NN03	0	80.19	4.33	26.09	11.14	43.62	68.71
NN03	60	68.33	3.28	49.35	18.79	37.35	75.02
NN03	60	94.32	4.46	23.65	17.37	45.66	69.16
NN03	60	80.05	5.11	31.62	19.89	39.88	65.92
INIA06	0	65.55	4.44	33.65	8.79	34.59	80.78
INIA06	0	93.55	3.65	19.41	9.66	40.85	75.07
INIA06	0	65.44	4.51	32.21	14.74	46.85	66.67
INIA06	60	54.90	1.27	30.39	19.91	37.95	75.84
INIA06	60	66.01	3.10	28.55	18.36	38.62	73.88
INIA06	60	42.60	0.73	35.49	19.33	51.84	59.2

ANEXO 3: Análisis de variancia para la altura de planta

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	Pr>F	Significancia
genotipo	7	3575.357765	510.765395	3.55	0.0062	*
restricción	1	499.681602	499.681602	3.47	0.0717	ns
genotipo* restricción	7	1021.194948	145.884993	1.01	0.4409	ns
error	32	4608.574467	144.017952			
Total	47	9704.808781				

*: Diferencias significativas

ns: Diferencias no significativas

ANEXO 4: Análisis de variancia para rendimiento de materia seca

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	Pr>F	Significancia
genotipo	7	21.867592	3.123942	1.76	0.1300	ns
restricción	1	18.625208	18.625208	10.50	0.0028	*
genotipo* restricción	7	8.117325	1.159618	0.65	0.7087	ns
error	32	56.737	1.773			
Total	47	105.343				

*: Diferencias significativas

ns: Diferencias no significativas

ANEXO 5: Análisis de variancia para proteína cruda

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	Pr>F	Significancia
genotipo	7	93.670999	13.381571	1.76	0.1309	ns
restricción	1	230.958002	230.958002	30.33	<.0001	*
genotipo* restricción	7	47.745848	6.820835	0.90	0.5216	ns
error	32	243.669400	7.6146687			
Total	47	616.0442479				

*: Diferencias significativas

ns: Diferencias no significativas

ANEXO 6: Análisis de variancia para fibra detergente neutro

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	Pr>F	Significancia
genotipo	7	219.093931	31.299133	1.67	0.1510	ns
restricción	1	0.318502	0.318502	0.02	0.8970	ns
genotipo* restricción	7	67.626681	9.660955	0.52	0.8152	ns
error	32	598.353533	18.698548			
Total	47	885.392648				

ns: Diferencias no significativas

ANEXO 7: Análisis de variancia para digestibilidad in vitro aparente de la materia orgánica

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	Pr>F	Significancia
genotipo	7	275.223825	39.317689	0.85	0.5565	ns
restricción	1	156.746408	156.746408	3.38	0.0752	ns
genotipo* restricción	7	260.687692	37.241099	0.80	0.5905	ns
error	32	1483.041067	46.345033			
Total	47	2175.698992				

ns: Diferencias no significativas